

Gestaltung und Evaluation der simulationsbasierten PRISM-Lerneinheit zur Förderung des Verständnisses von Uncertainty im Chemielehramt

Ausgangslage und Zielformulierung

Globale gesellschaftliche Herausforderungen (SSI), wie der Klimawandel oder die Covid-19-Pandemie machen sichtbar, dass wissenschaftliche Erkenntnisse in der öffentlichen Wahrnehmung häufig als objektiv, eindeutig und endgültig angesehen werden (Kampourakis & McCain, 2020). Diese Wahrnehmung steht im Gegensatz zur wissenschaftlichen Praxis, in der Ungewissheit (*Uncertainty*) ein konstitutives und produktives Merkmal wissenschaftlicher Forschung ist, das in Methoden, Kultur und Kommunikation der Wissenschaft verankert ist (Kampourakis & McCain, 2020). Um Schüler*innen eine authentische Interaktion mit den Naturwissenschaften zu ermöglichen, sollte Ungewissheit daher explizit als Teil von *nature of science* (NOS) thematisiert werden (Lübke & Heuckmann, 2024). Im schulischen Kontext wird Ungewissheit jedoch häufig auf die Vorläufigkeit von Wissen reduziert oder im Sinne einer „*ready-made-science*“ (Latour, 1998) ausgeblendet. Besonders für das Verständnis von Computersimulationen, die sich als drittes Standbein der Wissenschaft etablieren, ist ein fundiertes NOS-Verständnis und damit von Ungewissheiten zentral, etwa bei Klimasimulationen (Seoane et al., 2022). Gleichzeitig bieten Computersimulationen Potenziale zur Auseinandersetzung mit Ungewissheit, insbesondere wenn Lernende Computersimulationen in der Herstellungsperspektive aktiv (re-)konstruieren (Heuckmann & Lübke, 2024). Bislang mangelt es an Konzepten, die das Verständnis von Ungewissheit als integralen Bestandteil wissenschaftlicher Erkenntnisprozesse, insbesondere im Umgang mit Simulationen, fördern. Das hier vorgestellte Forschungsprojekt adressiert diese Lücke durch die Konzeption der simulationsbasierten PRISM-Lerneinheit (*promoting reflection through inquiry and simulation-based modelling*). Ziel ist es, (1) eine Lerneinheit zu konzipieren, die das Verständnis von Ungewissheiten im Kontext von Simulationen fördert und (2) deren Wirksamkeit in Hinblick auf eine Stärkung dieses Verständnisses in einer ersten Pilotierung empirisch zu analysieren.

Theoretischer Hintergrund

Ungewissheit kann als ein Noch-Nicht-Wissen bzw. Nicht-Genau-Wissen verstanden werden und ist als solches ein multidimensionales Konstrukt (Heuckmann & Lübke, 2024). In der wissenschaftlichen Praxis finden sich eine Vielzahl verschiedener Arten von Ungewissheiten, wobei Begriffe in unterschiedlichen Disziplinen teils synonym oder uneinheitlich verwendet werden (vgl. Gustafson & Rice, 2020; Oberkramp & Roy, 2013; Petersen, 2012). In Anlehnung an Heuckmann & Lübke (2024) wird für die Thematisierung von Ungewissheit im Unterricht im Rahmen von NOS zwischen sechs verschiedenen Arten von Ungewissheit unterschieden. Insbesondere sind hier die epistemische Ungewissheit aufgrund fehlenden Wissens, aleatorische Ungewissheit infolge von Zufälligkeit sowie die technische Ungewissheit durch die Variabilität und Streuung von Messwerten zu nennen. Je nach Komplexität des untersuchten Phänomens treten unterschiedliche Arten dieser Ungewissheit auf, wobei vor

allem komplexe Themen oft mehrere Dimensionen umfassen (Heuckmann & Lübke, 2024). Diese Unterscheidung dient der Lerneinheit sowohl als didaktische Grundlage als auch als analytischer Rahmen für die Erhebung. In der wissenschaftlichen Praxis eröffnen Simulationen die Möglichkeit, komplexe Phänomene dynamisch unter verschiedenen Annahmen und Szenarien zu modellieren und beinhalten eine Vielzahl an Ungewissheiten, sowie deren Abwägung im Forschungsprozess (Oberkrampf & Roy, 2013). Für den Schulunterricht können Simulationen eingesetzt werden, um naturwissenschaftliche Phänomene zu untersuchen (Lernen mit Simulationen), aber auch, um diese epistemologisch zu reflektieren und so etwas über NOS zu lernen (Lernen über Simulationen) (Seoane et al., 2022). Werden Simulationen zur Förderung und Reflexion des NOS-Verständnisses eingesetzt, können Schüler*innen lernen, Ungewissheiten zu erkennen und zu verstehen sowie verschiedene Arten zu differenzieren (Greca et al., 2014; Seoane et al., 2022). Besonders wirkungsvoll ist dies, wenn Lernende nicht nur bestehende Simulationen nutzen, sondern diese in einer Herstellungsperspektive aktiv (re-)konstruieren und modifizieren (Heuckmann & Lübke, 2024). Diese Konstruktion ähnelt dem Prozess des Modellierens (Gilbert & Justi, 2016) und kann in Anlehnung an die reale wissenschaftliche Praxis in verschiedene Schritte, wie Problemstellung, Auswahl eines konzeptuellen Modells, Mathematisierung oder auch Verifizierung und Validierung gegliedert werden (Birta & Arbez, 2019). Zwischen der Nutzung fertiger *blackbox* Simulationen, in denen das zugrunde liegende Modell nicht einsehbar ist (Landriscina, 2013), und dem freien Erstellen von Computersimulationen lässt sich die Arbeit mit *glassbox*-Simulationen einordnen (Kraska, 2023). Bei diesen erhalten die Lernenden einen Einblick in den Code und können diesen manipulieren (ebd.). Eine angeleitete Rekonstruktion von *glassbox*-Simulationen verbindet Potenziale der Herstellungsperspektive, ohne zu hohe Anforderungen z.B. an die Programmierkenntnisse der Lernenden zu stellen.

Design der Lerneinheit

Gemäß Ziel (1) soll die Lerneinheit das Verständnis von Ungewissheit im Kontext von Simulationen fördern. In Anlehnung an die dargestellten theoretischen Überlegungen wird eine *glassbox*-Simulation entlang des Prozesses der Simulationserstellung rekonstruiert, um eine Reflexion der verschiedenen Arten von Ungewissheiten in den einzelnen Modellierungsschritten zu ermöglichen. Ausgehend vom komplexen Problem der Versauerung der Meere und der Fragestellung, wie sich diese zukünftig entwickeln könnte, rekonstruieren die Lernenden schrittweise eine *glassbox*-Simulation, die das Löslichkeitsgleichgewicht von Kohlenstoffdioxid in Meerwasser modelliert. In zwei Kleingruppen nutzen sie unterschiedliche Modellansätze (Stechheberversuch und stochastisches Brettspiel), die auf Konzepte von Thomas Kraska (2021, 2022) zurückgehen und sich als einfaches Simulationsprogramm in Python umsetzen lassen. Die Struktur der Lerneinheit ist in sechs aufeinanderfolgende Stationen gegliedert:

- **1.Problemstellung:** Kontextorientierter Einstieg in die Versauerung der Meere, Aktivierung des Vorwissens und Einführung in Ungewissheiten in der Wissenschaft.
- **2.Konzeptuelles Modell:** Exploration des Stechheberversuch bzw. eines stochastischen Brettspiels als konzeptuelles Modell des Löslichkeitsgleichgewicht
- **3.Mathematisches Modell:** Mathematisierung des Modells und Beschreibung der Temperaturabhängigkeit des Löslichkeitsgleichgewichts über die Arrhenius-Gleichung
- **4.Simulationsprogramm:** Exploration und Nutzung der *glassbox*-Simulation zur Vorhersage des Gleichgewichtszustands unter verschiedenen IPCC-Szenarien

- **5.Validierung:** Vergleich der Simulationsergebnisse mit experimentellen Messwerten und historischen Daten
- **6.Interpretation:** Berechnung und Diskussion des pH-Werts für die simulierten Szenarien
An allen Stationen werden gezielte Anlässe zur Auseinandersetzung mit Ungewissheiten geschaffen, in denen die Lernenden die verschiedenen Arten und Quellen von Ungewissheit sowie deren Auswirkungen explizit reflektieren.

Erhebungsdesign

Die PRISM-Lerneinheit wurde im Rahmen eines *Design-Based-Research*-Ansatzes (Euler, 2014) entwickelt und in einer ersten Pilotierung mit Masterstudierenden des Lehramt Chemie (N=7) in dem Seminar „Digitalisierung in der Chemiedidaktik“ erprobt. Die Intervention umfasst zwei Sitzungen (à 90 Minuten). Ziel dieser Erprobung war die formative Evaluation des didaktischen Designs gemäß Ziel (2), in Hinblick auf dessen Potenzial zur Förderung des Verständnisses von Ungewissheit im Kontext von Simulationen. Zur Erfassung von Veränderungen im Verständnis wurden problemzentrierte Interviews im Prä-Post-Vergleich durchgeführt (N=4) und methodentriangulativ durch einen qualitativen Fragebogen (N=7) und eine Beobachtung ergänzt. Die Datenanalyse erfolgte qualitativ-inhaltsanalytisch (nach Kuckartz & Rädiger, 2022) mithilfe von f4tanskript. Die Kategorien wurden deduktiv entlang der Arten von Ungewissheiten nach Heuckmann & Lübke (2024) und deren Rolle im wissenschaftlichen Prozess der Simulationserstellung (Oberkrampf & Roy, 2013) abgeleitet sowie induktiv erweitert. Zur weiteren Auswertung wurde ein vierstufiges Niveaustufenmodell entwickelt.

Ergebnisse & Ausblick

Die qualitative Analyse zeigt, dass die Studierenden ein heterogenes Ausgangsverständnis von Ungewissheiten im Kontext von Simulationen besitzen, welches sich durch die Intervention zu einem einheitlichen Verständnis auf einem hohen Niveau entwickelt. Nach der Intervention beschreiben die Studierenden zunehmend verschiedene Arten bzw. Quellen von Ungewissheiten. Sie erkennen, dass Ungewissheiten in unterschiedlichen Phasen der Simulationserstellung entstehen und unterscheiden zwischen reduzierbaren und irreduziblen Formen. Als zentrales Kriterium für ein akzeptables Ausmaß verschiedener Arten von Ungewissheiten wird vor allem der Anwendungszweck der Simulation erwähnt. Zusätzlich wird aber auch auf die Art der Ungewissheit sowie deren Einfluss auf das Ergebnis der Simulation als Akzeptanzkriterien eingegangen. Diese Ergebnisse deuten an, dass Ungewissheit zunehmend nicht als Defizit, sondern als produktives Element wissenschaftlicher Erkenntnisprozesse verstanden wird. Die Kombination aus *glassbox*-Simulationen und expliziten Reflexionsanlässen im Prozess der Simulationserstellung erweist sich als besonders ergiebig, um epistemologische Denkprozesse anzuregen und ein Bewusstsein für die Grenzen und Vorläufigkeit wissenschaftlicher Modelle zu entwickeln. Zugleich wird die Lerneinheit von den Teilnehmenden als interessant und realitätsnah bewertet, jedoch auch ein hoher fachlicher Anspruch als Herausforderung herausgestellt. Insgesamt scheint das simulationsbasierte Modellieren einen vielversprechenden Zugang zur Förderung des Verständnisses von Ungewissheit als Teil von NOS zu bieten. Aufgrund der geringen Fallzahl (N = 7, davon 4 Interviews) und der explorativen Anlage können die Befunde jedoch nur als erste qualitative Hinweise interpretiert werden. Eine Adaption der Lerneinheit für den schulischen Kontext und eine weiterführende Erhebung stehen im Rahmen weiterer Entwicklungsschritte noch aus.

Literatur

- Birta, L. G. & Arbez, G. (2019). *Modelling and simulation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18869-6>
- Euler, D. (2014). Design-research – a paradigm under development. In D. Euler & P. F. Sloane (Hrsg.), *Design-Based Research* (S. 15–44). BiblioScout.
- Gustafson, A. & Rice, R. E. (2020). A review of the effects of uncertainty in public science communication. *Public understanding of science*, 29(6), 614–633. <https://doi.org/10.1177/0963662520942122>
- Gilbert, J. K. & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Models and modeling in science education: Bd. 9. Springer International Publishing.
- Greca, I. M., Seoane, E. & Arriasecq, I. (2014). Epistemological issues concerning computer simulations in science and their implications for science education. *Science & Education*, 23, 897–921. <https://doi.org/10.1007/s11191--013--9673--7>
- Heuckmann, B. & Lübke, B. (2024). Mit Simulationen im Biologieunterricht das Verständnis von Nature of Science reflektieren und fördern. In B. Reinisch, D. Krüger & D. Mahler (Hrsg.), *Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis* (S. 71–83). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_7
- Kampourakis, K. (2020). *Uncertainty: How it makes science advance*. Oxford University Press USA - OSO. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5905183>
- Kraska, T. (2020). Establishing a connection for students between the reacting system and the particle model with games and stochastic simulations of the arrhenius equation. *Journal of Chemical Education*, 97(7), 1951–1959. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00081>
- Kraska, T. (2021). Mathematical modelling in high school chemistry: Chemical kinetics. *CHEMKON*, 28(3), 112–121. <https://doi.org/10.1002/ckon.201900053>
- Kraska, T. (2023). Glass-Box Molekulardynamische Simulationen zur Vermittlung der van der Waals-Wechselwirkung. *CHEMKON*, 30, 341. <https://doi.org/10.1002/ckon.202200058>
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden* (5. Auflage). Grundlagentexte Methoden. Beltz Juventa. <https://www.beltz.de/fileadmin/beltz/leseproben/978-3-7799-6231-1.pdf>
- Latour, B. (1998). From the world of science to the world of research? *Science*, 280(5361), 208–209. <https://doi.org/10.1126/science.280.5361.208>
- Lübke, B. & Heuckmann, B. (2024). Umgang mit Ungewissheit als Charakteristikum von Nature of Science. In B. Reinisch, D. Krüger & D. Mahler (Hrsg.), *Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis* (S. 59–70). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_6
- Oberkampff, W. L. & Roy, C. J. (2013). *Verification and validation in scientific computing*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511760396>
- Petersen, A. C. (2006). *Simulating nature: A philosophical study of computer-simulation uncertainties and their role in climate science and policy advice* [Dissertation, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam]. research.vu.nl. <https://research.vu.nl/en/publications/simulating-nature-a-philosophical-study-of-computer-simulation-un>
- Seoane, M. E., Greca, I. M. & Arriasecq, I. (2022). Epistemological aspects of computational simulations and their approach through educational simulations in high school. Simulation. *Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 98(2), 87–102. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0037549720930084>