

Sebastian Wyrobek¹
Engin Kardaş¹
Marcus Kubsch²
Stefan Sorge³
Tobias Ludwig¹

¹Pädagogische Hochschule Karlsruhe
²Freie Universität Berlin
³IPN Kiel

Review zu verschiedenen Arten von Unsicherheiten beim Experimentieren

Motivation

Naturwissenschaftlicher Unterricht vermittelt häufig ein positivistisches Bild von Naturwissenschaften (McComas, 2004), welches Wissenschaft als „sicher“ und „unveränderlich“ darstellt (z. B. Manz & Suárez, 2018; Rosenberg et al., 2022). Naturwissenschaften sind in ihrem Wesen jedoch diskursiv, vorläufig und unsicher (z. B. Driver et al., 2000; Osborne, 2012). Diese Diskrepanz zeigt die Relevanz eines adäquaten Umgangs mit Unsicherheit beim Lernen von Naturwissenschaften. Dem gegenüber steht, dass der Umgang mit Unsicherheit für Lernende sehr anspruchsvoll sein kann, da sie unerwartet mit Unsicherheit konfrontiert sein können und Unsicherheit im Erkenntnisgewinnungsprozess vielfältig auftreten und bedeutsam sein kann (Ludwig et al. 2024). Vor diesem Hintergrund adressiert eine Reihe von physikdidaktischen Arbeiten den Umgang mit Unsicherheit beim Experimentieren, wobei Aspekte eines adäquaten Umgangs mit Messunsicherheiten (z. B. Heinicke, 2012; Priemer & Hellwig, 2018) ebenso untersucht werden wie Aspekte von Unsicherheit hinsichtlich der Eignung eines Experiments, der eigenen Fähigkeit beim Experimentieren (Ludwig et al., 2021) oder der Eignung des Untersuchungsaufbaus bzw. der dem Versuch zugrunde liegenden Modellannahmen (Rosenberg et al., 2022). Letztere Aspekte werden jedoch selten zur Lerngelegenheit gemacht (z.B. Warren, 2020), obwohl diese unmittelbar Auswirkungen auf die Gültigkeit von Schlussfolgerungen aufweisen können. Aus diesen unterschiedlichen Ansätzen zur Adressierung von Unsicherheit lässt sich folgern, dass es jeweils spezifischer Unterstützungsangebote bedarf. Hierbei ist jedoch unklar, wie diese charakterisiert werden können und inwiefern dabei Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Aspekten von Unsicherheit vorliegen? Diesen Fragen wurde durch ein systematisches Review nachgegangen.

Methode

Ein systematisches Literaturreview identifiziert, evaluiert und synthetisiert den bestehenden Forschungsstand in einem Themenbereich. Bei der Durchführung des systematischen Reviews wurden Empfehlungen des PRISMA 2020 Statement (Page et al., 2021) zu Grunde gelegt. In die Suche wurden deutsch- und englischsprachige Artikel inkludiert, welche über die Datenbank Web of Science abgerufen wurden. Die Suchbegriffe bestanden aus drei Elementen und wurden systematisch in der *topic search* permutiert. Das vorliegende Review untersucht den Forschungsstand fachdidaktischer Arbeiten, die Unsicherheit beim Experimentieren adressieren. Daher wurden auf Grundlage der Arbeit von Pedaste et al. (2015) [Uncertain* OR ambigu*], [science AND (education OR class* OR lab)] und [Theory, question, hypothes*, predict*, plan*, explor*, observ*, experiment*, evidence, data and (analyze* or asses or evaluate or collect* or interpret*), model*, expla*, reasoning, argu*, construct*, conclusion, drawing inference, judgement, discuss*, communicate, justif*, decision, appl* knowledge, inquir* sense and mak*] als Suchbegriffe verwendet. Die Suche ergab insgesamt 12.239 Artikel, von denen 8.436 Duplikate und 3.727 Artikel wegen fehlender inhaltlicher Passung ausgeschlossen

sen wurden. Weiterhin wurden Artikel ausgeschlossen, bei denen kein Fokus auf dem Experimentieren (n=4), Unsicherheiten (n=12) oder der Schüler:innenebene lag. Insgesamt entsprechen somit 55 Artikel den Kriterien, von denen bis zur Abgabe dieses Beitrags 40 Artikel zufällig ausgewählt und analysiert wurden.

Arten von Unsicherheit in fachdidaktischer Forschung

Auf Grundlage des Reviews konnten 15 verschiedene Konzeptionen von Unsicherheit aus den Artikeln identifiziert werden, die nachfolgend kurz präsentiert werden. Eine Reihe von Konzeptionen (statistische Unsicherheit, n=1, Messunsicherheit, n=8) lassen sich als aleatorische Unsicherheit zusammenfassen (Hüllermeier & Wagemann, 2021). Die Unsicherheit resultiert dabei aus der Messung. Bezeichnungen wie Nature-of-Science-basierte oder epistemische Unsicherheit (n=1) beziehen sich beispielsweise auf Wissensgenerierung und Vertrauenswürdigkeit von naturwissenschaftlichem Wissen sowie Auswahl und Verwendung korrekter Methoden und können konzeptuell als epistemische Unsicherheit zusammengefasst werden. Als dritte übergreifende Konzeption konnten ontologische bzw. konzeptuelle Unsicherheiten identifiziert werden. In dieser Konzeption lassen sich die Bezeichnungen disziplinäre (n=1), ontologische (n=1), konzeptuelle (n=6) und inhaltliche Unsicherheiten (n=2) einordnen. Beispiele aus den untersuchten Artikeln sind Unsicherheit bezüglich des eigenen Verständnisses eines Konzepts oder der Verbindung von Alltagswissen mit wissenschaftlichem Wissen sowie Unsicherheit, die aus unvollständigem Wissen resultiert, die Korrektheit eines Modells betrifft oder spezifisch für den Kontext der von Schüler:innen durchgeführten Untersuchung sind. Einige der identifizierten Konzeptionen von Unsicherheiten lässt sich sowohl der ontologischen bzw. konzeptionellen als auch der epistemischen Unsicherheit zuordnen (Unsicherheit im exp. Design, n=1, Ressourcenunsicherheit, n=1, datenbasierte Unsicherheit, n=4, Modellunsicherheit, n=2, Prozessunsicherheit, n=1). Hierunter werden beispielsweise Unsicherheiten von den Autor:innen adressiert, wie ein Experiment gestaltet und ausgewertet wird, wie Ressourcen und Modelle in einer Untersuchung verwendet werden oder bezüglich der Generalisierbarkeit von Trends und Dateninterpretationen. Jenseits der drei Konzepte wurden die Konzeptionen relationale Unsicherheit (n=3), die auf sozialer Interaktion und dem Vergleich mit anderen Experimentierenden hinsichtlich Ziel, Motivation, Datengeneration & -interpretation basiert, sowie wissenschaftliche Unsicherheit (n=5) verwendet. Eine Analyse der identifizierten Unsicherheitskonzeptionen legt offen, dass in 25 von 40 Artikeln lediglich eine Konzeption von Unsicherheit genannt und adressiert wird und eine Gesamtzahl von vier Konzeptionen von Unsicherheit in den Artikeln nicht überstiegen wird.

Charakterisierung von Unsicherheit beim Experimentieren

Auf Grundlage der verschiedenen Aspekte von Unsicherheit bei Lernenden während des Experimentierens, wurde entsprechend des zweiten Forschungsziels des Reviews, Charakteristika der gefundenen Unsicherheiten entwickelt und in Kategorien strukturiert, die sich auf Sinneszusammenhänge der Charakteristika stützen. Die Kategorie *datenbasiert* umfasst, den Zusammenhang der Unsicherheit mit Daten und wird durch die Charakteristika Glaubwürdigkeit der Daten, mathematisch, statistisch oder Datenauswertung beschrieben. *Experimentelles Vorgehen* umfasst die Charakteristika Abhängigkeit der Unsicherheit von Messprozessen, von experimentellen Designs oder von der Durchführung von Experimentieren. Unsicherheit beim Experimentieren kann eine Abhängigkeit vom Wissen von Schüler:innen haben. Diese Abhängigkeit kann unter der Kategorie *wissens-basiert* subsumiert werden, welche die Charakteristika Vorwissen, Sprache, Vertrauen in Erkenntnisse und Aktualisierung des Vorwissens

umfasst. Die Kategorie *Interaktion-basiert* umfasst Charakteristika von Unsicherheit, die von sozialen Strukturen abhängig oder interpersonell bedingt sind. Zudem kann für die Unsicherheit die Abhängigkeit von internalen und externalen Faktoren charakterisierend sein. Dieser Zusammenhang ist in der Kategorie *Ursprung* dargestellt.

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen zunächst, dass naturwissenschaftsdidaktische Arbeiten zum Thema Unsicherheiten beim Experimentieren unter verschiedenen Begriffen adressiert werden. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die unterschiedlichen Unsicherheitskonzeptionen nicht trennscharf voneinander sind (bspw. ontologisch vs. konzeptuelle Unsicherheit, statistische Unsicherheit vs. Messunsicherheit, wissenschaftliche Unsicherheit). Deutlich wird zudem, dass es keinen Konsens in der Verwendung der Konzeptionen gibt. Aspekte wie epistemische Unsicherheit und Messunsicherheit werden zwar in einer Vielzahl von Artikeln verwendet, dem gegenüber steht jedoch eine Reihe von sehr speziellen Unsicherheitskonzeptionen, wie beispielsweise ontologische, disziplinäre oder prozedurale Unsicherheit, die jeweils nur einmal identifiziert werden konnten. Die Verteilung der adressierten Unsicherheitskonzeptionen legt dar, dass eine starke Segregation zwischen den Konzeptionen vorliegt und eine umfassende Betrachtung von verschiedenen Unsicherheitskonzeptionen nicht Forschungsgegenstand ist. Darüber hinaus zeigt die nicht vorhandene Trennschärfe zwischen den Formulierungen entweder die Notwendigkeit einer einheitlichen Kategorisierung, um sprachlich klar zwischen unterschiedlichen Facetten von Unsicherheiten beim Experimentieren differenzieren zu können (z. B. Lübke & Heuckmann, 2024) oder eine alternative Art der Betrachtung, welche keine stringente Kategorisierung der Aspekte bedingt, sondern über Charakteristika die Unsicherheiten beschreibt. Dieser zweite Ansatz ist aus unserer Perspektive vielversprechender, da bisherige Ergebnisse darauf hindeuten, dass bestimmte spezifische Situationen nicht immer trennscharf einer Kategorisierung zugeordnet werden können. Die Charakterisierung ermöglicht es, Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Unsicherheit beim Experimentieren in verschiedenen Situationen präzise vergleichen zu können.

Fazit & Ausblick

Die vorliegende Arbeit konnte aufzeige, dass Unsicherheit im experimentellen Erkenntnisprozess derzeit vielfältig untersucht wird und Befunde zu einem produktiven Umgang mit diesen vorliegen. Es zeigt sich jedoch, dass kein Konsens über Begrifflichkeiten besteht und einige Unsicherheitsformulierungen daher arbiträr wirken. Zudem konnte das Review zeigen, dass derzeit keine Arbeiten vorliegen, die Unsicherheit übergreifend adressieren, indem z.B. mehr als nur ein Aspekt von Unsicherheit während des Experimentierprozesses kohärent aufgegriffen wird. Die entwickelten Charakteristika sollen zunächst in einem Expertenrating validiert werden. Die Verwendung der Charakteristika zur Beschreibung von Unsicherheit beim Experimentieren scheint aus unserer Perspektive vielversprechender als eine isolierte Betrachtung von Unsicherheitskategorien. Die Charakterisierung von Unsicherheit beim Experimentieren unter Berücksichtigung internaler und externaler Faktoren integriert die individuelle Perspektive der Lernenden und schafft dadurch eine Grundlage, die als Ausgangspunkt für die Entwicklung unterstützender Lernmaterialien dienen kann.

Literatur

- Cooper, C., Booth, A., Varley-Campbell, J., Britten, N., & Garside, R. (2018). Defining the process to literature searching in systematic reviews: A literature review of guidance and supporting studies. *BMC Medical Research Methodology*, 18(1), 85. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0545-3>
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Heinicke, S. (2012). Aus Fehlern wird man klug: Eine genetisch-didaktische Rekonstruktion des „Messfehlers“. *Logos*.
- Hüllermeier, Eyke, und Willem Waegeman. „Aleatoric and Epistemic Uncertainty in Machine Learning: An Introduction to Concepts and Methods“. *Machine Learning* 110, Nr. 3: 457–506. <https://doi.org/10.1007/s10994-021-05946-3>.
- 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. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_6
- Ludwig, T., Kubsch, M., Sorge, S., & Kardaş, E. (2024). Quellen von Unsicherheit beim Experimentieren—Welche Rolle spielen verschiedene Arten von Unsicherheit beim Experimentieren? In H. van Vorst (Hrsg.), *GDCP Jahrestagung* (Bd. 44).
- Ludwig, T., Priemer, B., & Lewalter, D. (2021). Assessing Secondary School Students’ Justifications for Supporting or Rejecting a Scientific Hypothesis in the Physics Lab. *Research in Science Education*, 51(3), 819–844. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09862-4>
- Manz, E., & Suárez, E. (2018). Supporting teachers to negotiate uncertainty for science, students, and teaching. *Science Education*, 102(4), 771–795. <https://doi.org/10.1002/sce.21343>
- McComas, W. F. (2004). Keys to teaching the nature of science. *The science teacher*, 71(9), 24.
- Osborne, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328(5977), 463–466. <https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Osborne, J. (2012). The Role of Argument: Learning How to Learn in School Science. In K. Tobin, C. J. McRobbie, & B. J. Fraser (Hrsg.), *Second International Handbook of Science Education* (S. 933–949). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_62
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Polanin, J. R., Maynard, B. R., & Dell, N. A. (2017). Overviews in Education Research: A Systematic Review and Analysis. *Review of Educational Research*, 87(1), 172–203. <https://doi.org/10.3102/0034654316631117>
- Priemer, B., & Hellwig, J. (2018). Learning About Measurement Uncertainties in Secondary Education: A Model of the Subject Matter. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(1), 45–68. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9768-0>
- Rosenberg, J. M., Kubsch, M., Wagenmakers, E.-J., & Dogucu, M. (2022). Making Sense of Uncertainty in the Science Classroom. *Science & Education*, 31(5), 1239–1262. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00341-3>
- Warren, A. R. (2020). Impact of Bayesian updating activities on student epistemologies. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1), 010101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010101>