

Modelle in Österreichs Chemieschulbüchern Eine digitale Vollerhebung

Einführung

Schulbücher sind relevante Medien in Bildungssystemen und ihre Nutzung wird in Österreich aus öffentlichen Mitteln gefördert (Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung, 2021). Dabei sollen diese Medien – je nach Interessensgruppe gewichtet – fachlichen, fachdidaktischen und lehrplanorientierten Standards genügen sowie als praxistaugliche Vorbereitungshilfen für konkrete Unterrichtsplanung dienen (Bölsterli et al., 2015). Alle genannten Aspekte stehen in der Chemie unter dem fachimmanenten Vorbehalt, systematisch Zusammenhänge zwischen der nicht direkt wahrnehmbaren Teilchenebene und ihren jeweiligen Modellen herstellen zu sollen (vgl. Sumfleth & Nakoinz, 2019). Diesbezüglich ist die Nutzung von Repräsentationen in Chemieschulbüchern umfangreich untersucht und dokumentiert (Gkitzia et al., 2011; Nyachwaya & Wood, 2014; Upahi & Ramnarain, 2019). Allerdings ist gleichzeitig ein Verständnis von Modellen als strukturelle Repräsentationen in problematischer Weise undifferenziert (Knuuttila, 2011) und trägt so zu einem unpräzise formulierten Verhältnis zwischen den Zielsystemen und ihren Modellen bei.

Aus diesem Grund wurde für die vorliegende Untersuchung vorläufig unterstellt, dass auch (bspw. Atom-)Modelle in Chemieschulbüchern als zu stark simplifizierte Modell-Ziel-Abbildungen dargestellt werden.

Theorie

Im Gegensatz zu den jeweils untersuchten Zielsystemen, kann bei den entsprechenden Modellen im Allgemeinen weder für die Naturwissenschaften, noch in ihren jeweiligen Didaktiken ein einheitlicher Begriffsrahmen gefunden werden (Krüger et al., 2018). Nichtsdestotrotz existieren orientierende Begriffslinien. Der Werkzeugcharakter von Modellen, d.h. eine Abhängigkeit von Zweck, Person, Ort und Zeit (Gouvea & Passmore, 2017), lässt sich dabei als Konsens formulieren: Zum Zweck einer mechanistischen Erklärung oder einer Vorhersage werden bestimmte Annahmen getroffen, die falsifiziert werden oder, vorbehaltlich weiterer Untersuchungen, aufrecht erhalten werden. Die systematisch aufeinander bezogenen Annahmen können als Modell verstanden und weiterentwickelt werden.

In empirischen Arbeiten wird diese Grundlage mehrheitlich über problemorientierte Rahmungen operationalisiert, in denen die Proband*innen Zielsysteme modellieren und in Revisionszyklen vorgegebene oder selbst erarbeitete Fragen beantworten bzw. Hypothesen prüfen sollen (bspw. Schwarz et al., 2009). Während bei diesen, als *Scientific Inquiry* rezipierten, Ansätzen wiederkehrende Muster für erfolgreichen Kompetenzerwerb bei Lernenden identifiziert werden können (Pedaste et al., 2015), ist die konkrete Rolle von Modellen in diesem Bereich empirisch nur bedingt systematisierbar (Nicolaou & Constantinou, 2014).

Die Gründe dafür können bspw. fachspezifische Vorstellungen des Modellbegriffs sein (Krell et al., 2015). Relevant ist auch der Einfluss erkenntnistheoretischer Grundpositionen von Lehrenden, Lernenden und Forschenden (Rost & Knuuttila, under review). Es werden zwei wesentliche Positionen gefunden: Erstens, eine strukturalistische Grundhaltung, die Modelle

als strukturelle Repräsentationen analysiert, d.h. bspw., dass ein Atommodell mit bestimmten Merkmalen (Kern, Hülle) ausgestattet ist und diese Struktur so auch im real existierenden Atom wiederzufinden ist (vgl. Devitt, 2006). Die differenzierte Darstellung dieser Position hat einen festen Platz in der Wissenschaftstheorie, kann aber als Ursache für Lernhindernisse im Fach Chemie identifiziert werden (vgl. Reid, 2021).

Zweitens kann ein epistemologisch-pragmatischer (Giere, 2010), d.h. notwendig an eine Person gebundener Ansatz gefunden werden. Dieser versteht die repräsentative Dimension von Modellen und ihre Zweckorientierung als gegenseitig bedingte Bestandteile und ist anschlussfähig an den oben beschriebenen, hypothese- und fragebezogenen Rahmen von *Scientific Inquiry*.

Für die fachdidaktische Bearbeitung wird eine Auffassung von Modellen als Werkzeuge (vgl. Knuuttila, 2011) gewählt, die zum Zweck der Erkenntnisgewinnung und unter dem expliziten Vorbehalt des „Was wäre, wenn?“, Zusammenhänge eines Zielsystems repräsentieren.

Nicht nur in Österreich, sondern auch in weiteren, internationalen Bildungsstandards bzw. Lehrplänen (Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg, 2016; National Research Council, 2012) soll das Nutzen von Modellen und das Modellieren von Sachverhalten für hypothesenorientierte Erkenntnisgewinnung in der Schule erlernt werden. Dadurch und im Zusammenspiel mit der Relevanz von Schulbüchern ergibt sich die folgende Fragestellung im Sinne einer explorativen Bestandsaufnahme:

Welches erkenntnistheoretische Modellverständnis liegt in österreichischen Schulbüchern für das Unterrichtsfach Chemie vor?

Methode

Für die vorliegende Untersuchung wurde eine automatisierte Textanalyse in Anlehnung an die Computational Grounded Theory (Nelson, 2020) vorgenommen. Dieser Zugang erlaubt es, die Vorteile einer ökonomischen Textverarbeitung durch einen Computer mit der Interpretationstiefe einer menschlichen Codierung zu kombinieren (Nelson et al., 2021) und ggf. Biases zu vermeiden (Cheuk, 2021) oder wenigstens explizit zu machen.

Der hier vorgestellte, quantitative Teil erfolgte mit einer deduktiv-formalen Kategorie aus einer Bachelorarbeit. Dabei wurde nach dem erstmaligen Auftreten des Begriffs *Modell* im Sinne eines Bezugs zur submikroskopischen Ebene gesucht und – falls gegeben – die Modelldefinition bezüglich der theoriebasierten Definition untersucht.

Sofern in einem Textabschnitt der Begriff entsprechend auftauchte (*Kompetenzmodell* zählte bspw. nicht), wurde der gesamte jeweilige Textabschnitt zur Analyse an den Computer übergeben. In der Folge wurden Worthäufungsheuristiken und das Topic Modeling für die Suche nach Mustern eingesetzt. Das hier präsentierte Topic Modeling beantwortet die Frage nach der Wahrscheinlichkeit für das Erscheinen eines Wortes durch ein Topic, d.h. wie sicher ist ein Wort einem bestimmten Topic zuzuordnen. Die Wahl für die Anzahl der Topics ist dabei a priori festzulegen und insofern üblicherweise theoriegeleitet. Für explorative Vorhaben kann die Anzahl systematisch variiert und, als sinnvoll erscheinende, Topics a posteriori gedeutet werden (Blei, 2012). Insgesamt wurden 17 Schulbücher recherchiert und in die Analyse einbezogen.

Ergebnisse

Die Wahrscheinlichkeit für bestimmte Begriffe variiert nicht bedeutsam über verschiedene Topicschätzungen (Abb. 1). Dies gilt unabhängig von der zugeordneten Schulstufe oder dem strukturellen Aufbau des Buches. In qualitativer Ergänzung behaupten die Textpassagen darüber hinaus, mit Verweisen auf bspw. das Bohrsche Atommodell, durchgehend eine Strukturgleichheit zwischen der Modelldarstellung und dem zu modellierenden Zielsystem. Gelegentlich wurden zwar Hinweise gefunden, dass Modelle nicht die Realität abbilden würden, diese Kommentare wurden aber über alle Texte weder direkt mit den Darstellungen in Beziehung gesetzt, noch weiterführend theoretisch expliziert.

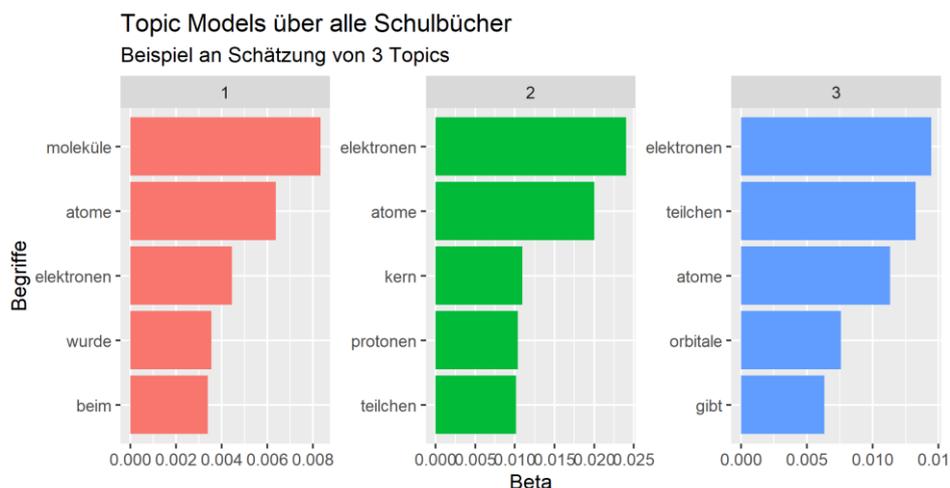


Abb. 1: Unabhängig von der Anzahl der *a priori* vorgegebenen Topics (in der vorgestellten Studie: 1-5), werden die dargestellten Begriffe gefunden. Wenn es um Modelle geht, geht es in Chemieschulbüchern stets um Atombau und chemische Bindung.

Insofern kann, in der Gesamtschau der untersuchten Texte, die Annahme, dass Modelle in Chemieschulbüchern als eher naiv-realistische Abbildungen behandelt werden, nicht zurückgewiesen werden. Es liegt keine nachvollziehbare Verknüpfung zwischen Modellen und einem frage- bzw. hypothesenorientierten Vorgehen im Sinne des im Theorieteil skizzierten *Scientific Inquiry* vor.

Diskussion

Einerseits besteht Forschungsbedarf bei der Ausarbeitung des Modellbegriffs in fachdidaktischen Zusammenhängen und andererseits sollten – im Sinne der Standardorientierung – die dabei gewonnenen Erkenntnisse auf relevante Bausteine chemischer Lehr-/Lernumgebungen (hier: Schulbücher) übertragen werden.

Darüber hinaus ist es angezeigt, dass die Zusammenarbeit zwischen fachdidaktischen Ausarbeitungen und schulalltagsorientierten Texten stärker zusammengeführt wird (Bergqvist & Chang Rundgren, 2017). Dabei sollte auch kritisch untersucht werden, in welchem Maß eine derart explizite Auseinandersetzung mit modelltheoretischen Aspekten für Schulbücher überhaupt fachdidaktisch sinnvoll ist.

Literatur

- Bergqvist, A., & Chang Rundgren, S.-N. (2017). The influence of textbooks on teachers' knowledge of chemical bonding representations relative to students' difficulties understanding. *Research in Science & Technological Education*, 35(2), 215–237. <https://doi.org/10.1080/02635143.2017.1295934>
- Blei, D. M. (2012). Probabilistic Topic Models. *Communications of the ACM*, 55(4), 77–84. <https://doi.org/10.1145/2133806.2133826>
- Bölsterli, K., Wilhelm, M., & Rehm, M. (2015). Standards kompetenzorientierter Schulbücher für die Naturwissenschaften. *CHEMKON*, 22(1), 23–28. <https://doi.org/10.1002/ckon.201410238>
- Cheuk, T. (2021). Can AI be racist? Color-evasiveness in the application of machine learning to science assessments. *Science Education*, 1–12. <https://doi.org/10.1002/sce.21671>
- Devitt, M. (2006). Scientific Realism. In P. Greenough & M. P. Lynch (Hrsg.), *Truth and realism* (S. 100–124). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199288878.003.0006>
- Giere, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172(2), 269–281. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9506-z>
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 12(1), 5–14. <https://doi.org/10.1039/C1RP90003J>
- Gouvea, J., & Passmore, C. (2017). 'Models of' versus 'Models for'. *Science & Education*, 26(1), 49–63. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9884-4>
- Knuuttila, T. (2011). Modelling and representing: An artefactual approach to model-based representation. *Studies in History and Philosophy of Science*, 42, 262–271.
- Krell, M., Reinisch, B., & Krüger, D. (2015). Analyzing students' understanding of models and modeling referring to the disciplines biology, chemistry, and physics. *Research in Science Education*, 45(3), 367–393. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9427-9>
- Krüger, D., Kauertz, A., & Upmeyer zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 141–157). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_9
- Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg (Hrsg.). (2016). *Rahmenlehrplan Chemie online*. <http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/rlp-online/startseite/>
- National Research Council (Hrsg.). (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press.
- Nelson, L. K. (2020). Computational Grounded Theory: A Methodological Framework. *Sociological Methods & Research*, 49(1), 3–42. <https://doi.org/10.1177/0049124117729703>
- Nelson, L. K., Burk, D., Knudsen, M., & McCall, L. (2021). The Future of Coding: A Comparison of Hand-Coding and Three Types of Computer-Assisted Text Analysis Methods. *Sociological Methods & Research*, 50(1), 202–237. <https://doi.org/10.1177/0049124118769114>
- Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Nyachwaya, J. M., & Wood, N. B. (2014). Evaluation of chemical representations in physical chemistry textbooks. *Chemical Education Research and Practice*, 15(4), 720–728. <https://doi.org/10.1039/c4rp00113c>
- 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.
- Reid, N. (2021). Johnstone's Triangle: Why Chemistry Is Difficult. In *The Johnstone Triangle: The Key to Understanding Chemistry* (S. 48–71). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781839163661-00048>
- Rost, M., Knuuttila, T. (under review). Understanding Models as Epistemic Artifacts for Scientific Reasoning: Reinforcing Mutual Terms by Using Insights from Philosophy of Science. *Education Sciences*.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Sumfleth, E., & Nakoinz, S. (2019). Chemie verstehen – beobachtbare makroskopische Phänomene auf submikroskopischer Ebene modellbasiert interpretieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 231–243. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00101-x>
- Upahi, J. E., & Ramnarain, U. (2019). Representations of chemical phenomena in secondary school chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1), 146–159. <https://doi.org/10.1039/C8RP00191J>