

Marvin Rost¹
Rüdiger Tiemann¹

¹Humboldt-Universität zu Berlin

Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht Entwicklung und quantitative Dimensionsanalyse eines Testinstruments

Problemstellung

Modellnutzung ist ein konstituierender Teil der Naturwissenschaften und deren Didaktiken. Dies gilt für das fachliche Selbstverständnis der akademischen Disziplinen insgesamt (Aduriz-Bravo, 2019) und auch speziell in der Chemie (Niaz, 2016; Sachsse, 1969). In der Folge wurde das Erlernen und Einüben der Modellnutzung in den korrespondierenden Schulfächern in nationalen Bildungsstandards (Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg, 2016) als Bildungsziel im Sinne der hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnung vorgeschrieben. Mit der Motivation durch die fachimmanente Relevanz und die entsprechenden normativen Vorgaben, wird eine Aufgabe der empirischen Bildungsforschung darin gesehen, entsprechende Frameworks und Erfassungsmethoden für das Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften zu entwickeln und zu validieren. Für die Chemie können Nehring, Stiller, Nowak, Upmeier zu Belzen, and Tiemann (2016) den grundsätzlichen Zusammenhang von Modellnutzung und hypothetisch-deduktivem Denken nachweisen, jedoch ohne dass eine operationalisierte Feinstruktur der Modellnutzung expliziert wird. In der Biologie legen Upmeier zu Belzen and Krüger (2010) ein entsprechendes Kompetenzmodell vor, das empirisch geprüft (Terzer, 2012) und kreuzvalidiert (Krell & Krüger, 2015) eingesetzt werden kann. Eine unmittelbare Übertragung auf die Chemie und ihre Didaktik wird aber als schwierig bewertet, denn es existieren gleichzeitig Befunde nach denen Modellverständnis als disziplinabhängig einzuordnen ist (Krell, Reinisch, & Krüger, 2015; Leisner-Bodenthin, 2006). Dabei wäre es wünschenswert, wenn die verwendeten begrifflichen Rahmungen stärker vereinheitlicht würden (Nicolaou & Constantinou, 2014), weil, anders als bei Mittelstraß (2005) konstatiert, „[...] selbst innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktiken unterschiedliche Klassifikationen von Modellen vorgeschlagen werden [...]“ (Krüger, Kauertz, & Upmeier zu Belzen, 2018). In der Chemie kann das auf verschiedene epistemologische Vorannahmen (Rost & Tiemann, 2017) oder auch Bezugsebenen (Jong & Taber, 2014) zurückgeführt werden. Wenn das Chemieverstehen außerdem mindestens in der Sekundarstufe sehr spezifisch an die Deutung von Phänomenen auf der Teilchenebene gebunden ist (Sumfleth & Nakoinz, 2019) und Lernende sowie Lehrende dabei notwendigerweise auf Modellnutzung angewiesen sind, dann sind begriffliche Diskussionen und darauf aufbauende, empirische Fundierungen in der Chemiedidaktik nach wie vor geboten.

Theoretische Rahmung

Um das Nutzen von Modellen beschreiben zu können, schlagen wir für die systematische Aufbereitung von Modellen ein aus vier *Komponenten* (Lesh, Doerr, Carmona, & Hjalmarson, 2003) bestehendes Framework vor. Es wurde bereits in chemiedidaktischen Arbeiten erprobt und diskutiert (Bodner & Briggs, 2005). Eine quantitative Untersuchung ihrer Zusammenhänge wurde bisher allerdings nicht vorgenommen. Die Komponentenbezeichnungen sind in den Originalpublikationen *a) Elements*, *b) Relations*, *c) Operations* und *d) Rules*. Die Elements bezeichnen die deklarative Grundlage bei der

Modellnutzung und stellen die kleinsten Sinneinheiten dar. Ein Beispiel sind Elektronen und/oder Kreisbahnen im Bohr'schen Atommodell. Die Relations bezeichnen die Beziehungen zwischen den notwendig vorher zu identifizierenden kleinsten Sinneinheiten, bspw. eine Energiedifferenz zwischen den Kreisbahnen im o. g. Atommodell. Die dritte Komponente, die Operations, beschreibt die Veränderung von Relations, oder auch einen Zustandswechsel. Das Springen eines Elektrons auf ein höheres Energieniveau kann als

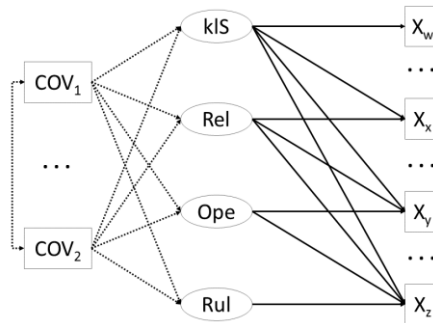


Abb. 1: Ein Hintergrundmodell mit Kovariablen beeinflusst die Fähigkeit zur Aufgabenlösung durch vier Dimensionen, die ineinander geschachtelt sind.

Operation klassifiziert werden. Die Rules fassen die Modellbeschreibung über formallogische Sätze zusammen: *Wenn* ein Elektron von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau springt, *dann* wird elektromagnetische Strahlung abgegeben. Insofern diese hierarchische Struktur theoretisch plausibel ist, ergibt sich Forschungsbedarf zu ihrer empirischen Reproduzierbarkeit in chemiespezifischen Umgebungen zur Modellnutzung in hypothetisch-deduktiv gerahmten, problemorientierten Leistungsaufgaben. Abbildung 1 zeigt einen schematischen Strukturvorschlag mit Hintergrundmodell für die vorgeschlagene Struktur, deren theoriegeleitete Schachtelung eine Within-Item-Dimensionalität impliziert (Hartig & Höhler, 2010). Das Hintergrundmodell setzt sich dabei aus kognitiven Fähigkeiten, Leseverständnis und aufgabenspezifischem Fachwissen zusammen. Die leitende Forschungsfrage und die wesentliche Forschungshypothese lauteten:

F: Entspricht die empirische Struktur von Aufgabenbearbeitungen der theoretisch angenommenen Struktur hypothetisch-deduktiver Modellnutzung im Fach Chemie?

H: Ein mehrdimensionales Modell im Sinne der theoretischen Strukturierung erklärt die Erhebungsdaten besser als andere Strukturmodelle.

Design & Methoden

Nach einem Expertenrating zur Zuordnung der Modellkomponenten in Beispielen und der qualitativen Vorprüfung durch offene Aufgaben bei SchülerInnen (SuS), wurden mit Hilfe eines iterativ überarbeiteten Manuals insgesamt 60 Multiple-Choice-Aufgaben konstruiert. Qualitative Vorarbeiten (z. B. lautes Denken) und eine quantitative Vorstudie mit anschließender Aufgabenüberarbeitung trugen zur Validitätssicherung und Reliabilitätserhöhung bei. Ein modifiziertes Multi-Matrix-Design (Frey, Hartig, & Rupp, 2009) maximierte die Anzahl bearbeiteter Aufgaben in Vor- und Haupterhebung und eine

Dimensionalitätseinschätzung per explorativer DETECT-Statistik (Bonifay, Reise, Scheines, & Meijer, 2015) bereitete die konfirmatorische IRT-Skalierung der Hauptstudientdaten vor.

Ergebnisse

Eine grundsätzliche Messproduktivität der Aufgaben wurde durch die zufriedenstellenden Kennwerte einer 2-PL-IRT-Skalierung ($.98 < wMNSQ < 1.01$, $EAP-PV = .71$) in der quantitativen Vorerhebung ($N = 269$) sichergestellt. Empirische Hinweise auf Mehrdimensionalität wurden über die Steigungsparameter (Wu, Tam, & Jen, 2016) und $DETECT_{max} = .88$ gefunden. Die Hauptstudie ($N = 524$) lieferte beim Modellvergleich von 1-, 3-, 4- und 7-dimensionaler Schätzung das 4-dimensionale Modell als plausible Lösung und setzte sich unter Vergleich mit Zufallsmodellen über das Informationskriterium AICc (Burnham & Anderson, 2004) gegen das 3-dimensionale Modell durch. Tabelle 1 zeigt den direkten Modellvergleich, bei dem der 1-dimensionale, d. h. nicht weiter differenzierte Fall als Basis dient und bei dem 7 Dimensionen aufgrund des deutlich größeren AICc ausgeschlossen wurden.

Tab.1: Relative Modellvergleiche zwischen den verschiedenen Strukturmodellen inkl. Hintergrundmodell und Skalierung mit Within-Item-Dimensionalität.
 : $p < .01$, *: $p < .001$.

Modell	logLik (df)	AICc	LR-Test
1-Dim	-4394.16 (390)	9113	--
3-Dim	-4341.17 (324)	9283	$\Delta\chi^2(66) = 105.9^{**}$
4-Dim	-4304.89 (291)	9390	$\Delta\chi^2(99) = 183.4^{***}$
7-Dim	-4100.31 (162)	10437	$\Delta\chi^2(228) = 587.7^{***}$

Interpretation und Ausblick

Die theoretische Strukturierung der Modellkomponenten in den Aufgaben musste in Folge der statistischen Modellvergleiche nicht zurückgewiesen werden. Sie können somit als Ausgangspunkt für Anschlussuntersuchungen eingesetzt werden, indem sie bspw. im Sinne metakognitiver Prompts (Andersen & Garcia-Mila, 2017) in Interventionsdesigns auf Lernwirksamkeit für die Nutzung von Modellen im Chemieunterricht geprüft werden.

Literaturverzeichnis

- Aduriz-Bravo, A. (2019). Semantic Views on Models: An Appraisal for Science Education. In A. Upmeyer zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education* (Vol. 12, pp. 21–37). Cham: Springer International Publishing.
- Andersen, C., & Garcia-Mila, M. (2017). Scientific Reasoning During Inquiry: Teaching for Metacognition. In K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *New directions in mathematics and science education. Science education. An international course companion* (pp. 105–117). Rotterdam: Sense publishers.
- Bodner, G. M., & Briggs, M. W. (2005). A Model of Molecular Visualization. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 61–72). Dordrecht: Springer.
- Bonifay, W. E., Reise, S. P., Scheines, R., & Meijer, R. R. (2015). When Are Multidimensional Data Unidimensional Enough for Structural Equation Modeling?: An Evaluation of the DETECT Multidimensionality Index. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 22(4), pp. 504–516.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research*, 33(2), pp. 261–304.

- Frey, A., Hartig, J., & Rupp, A. A. (2009). An NCME Instructional Module on Booklet Designs in Large-Scale Assessments of Student Achievement: Theory and Practice. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 28(3), pp. 39–53.
- Hartig, J., & Höhler, J. (2010). Projekt MIRT: Modellierung von Kompetenzen mit mehrdimensionalen IRT-Modellen. In E. Klieme, D. Leutner, & M. Kenk (Eds.), *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes. Beiheft d. ZfP(56)* (pp. 189–198). Weinheim, Basel: Beltz.
- Jong, O. de, & Taber, K. S. (2014). The Many Faces of High School Chemistry. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education. Volume II* (pp. 457–480). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Krell, M., & Krüger, D. (2015). Testing Models: A Key Aspect to Promote Teaching Activities Related to Models and Modelling in Biology Lessons? *Journal of Biological Education*, pp. 1–14.
- 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), pp. 367–393.
- Krüger, D., Kauertz, A., & Upmeier zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellierung in den Naturwissenschaften. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Eds.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 141–157). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg (LISUM). (2016). *Rahmenlehrplan Online: Teil C, Chemie, Jahrgangsstufen 7-10*. Retrieved from <http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/rlo-online/startseite/>
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, pp. 91–109.
- Lesh, R. A., Doerr, H. M., Carmona, G., & Hjalmarson, M. (2003). Beyond Constructivism. *Mathematical Thinking and Learning*, 5(2-3), pp. 211–233.
- Mittelstraß, J. (2005). Anmerkungen zum Modellbegriff. In Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Ed.), *Debatte: Vol. 2. Modelle des Denkens. Streitgespräch in der Wissenschaftlichen Sitzung der Versammlung der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften am 12. Dezember 2003* (pp. 65–67).
- Nehring, A., Stiller, J., Nowak, K. H., Upmeier zu Belzen, A., & Tiemann, R. (2016). Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Chemieunterricht: Eine modellbasierte Videostudie zu Lerngelegenheiten für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. (22), pp. 77–96.
- Niaz, M. (2016). Understanding Atomic Models in Chemistry: Why Do Models Change? In M. Niaz (Ed.), *Science: Philosophy, History and Education. Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science* (pp. 91–123). Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer International Publishing.
- Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, pp. 52–73.
- Rost, M., & Tiemann, R. (2017). Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht: Ein systematischer Überblick ausgewählter empirischer Studien. In J. Stiller & C. Laschke (Eds.), *Berlin-Brandenburger Beiträge zur Bildungsforschung. Herausforderungen, Befunde und Perspektiven interdisziplinärer Bildungsforschung* (pp. 283–303). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Sachsse, H. (1969). Philosophie fuer Chemiker? *Chemie in unserer Zeit*, 3(2), pp. 33–39.
- Sumfleth, E., & Nakoinz, S. (2019). Chemie verstehen – beobachtbare makroskopische Phänomene auf submikroskopischer Ebene modellbasiert interpretieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), pp. 231–243.
- Terzer, E. (2012). *Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht. Empirische Beschreibung von Modellkompetenz mithilfe von Multiple-Choice Items* (Dissertation). Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, pp. 41–57.
- Wu, M., Tam, H. P., & Jen, T.-H. (2016). *Educational Measurement for Applied Researchers: Theory into Practice*. Singapore: Springer Singapore.