

Aufgabenentwicklung zur Erhebung der Modellnutzung für den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht

Relevanz & Problemstellung

Das Nutzen von Modellen ist ein dominantes Merkmal für Erkenntnisgewinnung, sowohl in den Naturwissenschaften, als auch in den korrespondierenden Fachdidaktiken. Einen Überblick gibt Taber (2017), der beispielsweise chemische Reaktionsgleichungen als Modelle für Stoffmengenverhältnisse und deren Veränderungen interpretiert (ders., S. 265). Die Gleichungen erlauben dabei sowohl Beschreibungen als auch Vorhersagen. Gerade durch das Merkmal der Vorhersage würden sie sich als Modelle qualifizieren. Bezüglich der Didaktik betont Taber, dass Lernende stets mentale Modelle von denjenigen Sachverhalten bilden würden, mit denen sie sich jeweils beschäftigen (ders., S. 273). Unter Berücksichtigung solch einer Subjektivität, benennen Gilbert und Justi (2016) das Nutzen von Modellen als Kernkompetenz einer „Scientific Literacy for All“ (ders., S. 11ff.). Diese sei so wichtig, weil die Autoren aus einer grundlegenden naturwissenschaftlichen Bildung sogar das Potential für ethisch-gesellschaftliche Handlungsabwägungen ableiten (ders. S. 12). Solche Überlegungen finden sich auch in deutschen Bildungsstandards (LISUM, 2015, S. 3). Dazu sei die Fähigkeit zur Modellnutzung auszubilden. In diesem Sinne sollen Modelle zum Durchlaufen des hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgangs in problemhaltigen Situationen verwendet werden. Für die vorliegende Arbeit wird dieses Denken als Dreischritt (Fragestellung/Hypothese, Planung/Durchführung, Auswertung/Reflexion) verstanden und angewendet (Nehring, 2016). Dabei ist allerdings ein erkenntnistheoretisches Problem, sowie zwei empirische Befunde zu beachten. Erstens, ist der Modellbegriff abhängig von der jeweiligen erkenntnistheoretischen Perspektive. Davon ausgehend, bevorzugt Knuuttila (2005) eine Begriffsinterpretation von Modellen als erkenntnistheoretischer Artefakte, die *aktiv benutzt* werden, um einen Sachverhalt zu bearbeiten. Diese subjektive Prozesshaftigkeit steht im Gegensatz zu einer Auffassung, bei der Modelle als statische Repräsentationen eines objektiv wahren Sachverhalts verstanden werden. Beide Auffassungen haben jeweils andere Konsequenzen für die Modellnutzung in naturwissenschaftlichen Kontexten und können nicht zur Deckung gebracht werden. Eine weiterführende Diskussion erlaubt die Kontrastierung von Devitt (2006) und van Fraassen (1980). Die aktive Nutzung und Veränderung von Modellen überschneiden sich strukturell stark zwischen den Anforderungen in den Bildungsstandards und den theoretischen Zusammenfassungen von Knuuttila. Ihre Definition kann daher als theoretische Grundlage genutzt werden. Empirisch ist die Nutzung von Modellen im Sinne der genannten Realitätsabbildung bei Lehrerinnen und Lehrern dominant (Bindernagel & Eilks, 2008). Darüber hinaus konnte Modellnutzung zum Durchlaufen des hypothetisch-deduktiven Denkens in einer Videostudie in weniger als 5% der Beobachtungszeit als Lerngelegenheit identifiziert werden (Nehring et al., 2016). Obwohl es zahlreiche Forschungsarbeiten gibt, die sich mit diesem Thema beschäftigen, mangelt es doch an einem zielgerichteten Rahmen, um Modellnutzung kohärent beschreiben und messen zu können (Constantinou & Nicolaou, 2014). Zusammenfassend ergibt sich eine Forschungslücke, die eine domänenspezifische Beschreibung von Modellen und deren Nutzung für die Lösung problemhaltiger Kontexte notwendig macht.

Theoretischer Hintergrund & Forschungsfrage

Wenn das wichtigste Merkmal von Modellen ist, dass sie in einer problemhaltigen Situation genutzt und gegebenenfalls konstruiert und umstrukturiert werden können, dann bedarf es der Formulierung von Modellkomponenten, die entsprechend dynamisch verwendet werden können. Sie müssen allgemein genug gehalten sein, um auf verschiedene Kontexte anwendbar zu sein. Gleichzeitig benötigen sie genug Spezifität, um sinnvoll auf chemische Kontexte zu übertragen sind. Ein mathematikdidaktischer Ansatz beschreibt vier solcher Komponenten (Lesh et al., 2000), die gerade das Prozesshafte der Modellnutzung beschreibbar machen. Sie werden folgend benannt und ihre Rolle in der Beschreibung eines Modells an einem Beispiel konkretisiert.

- Die *Propositionen* beschreiben die kleinstmöglichen Sinneinheiten eines Modells. Sie bilden die begriffliche Basis für die Arbeit mit dem jeweiligen Modell und repräsentieren einzelne physikalisch-chemische Entitäten mit deren spezifischen Eigenschaften. Beispiel: Elektronen in einem Atommodell.
- Die *Relationen* beschreiben das Verhältnis der Propositionen des Modells zueinander. Das können hierarchische oder sequenzielle Gliederungen sein. Möglich ist auch die Repräsentation von Verhältnissen physikalischer Eigenschaften (Geschwindigkeit, Volumen, Masse, etc.). Beispiel: Die Energiedifferenz eines Elektrons, das sich auf unterschiedlichen Energieniveaus in einem Atommodell befinden kann.
- Die *Operationen* beschreiben Wechselwirkungen zwischen den Propositionen eines Modells oder Zustandsänderungen einzelner Propositionen. Sie sind abhängig von den Relationen und repräsentieren Prozesse, die wesentlich für die Aussagekraft eines Modells sind. Beispiel: Die Lichtemission eines Elektrons beim Wechsel seines Energieniveaus.
- Die *Regeln* eines Modells sind die grundlegenden, logischen Verknüpfungen der Modellaussagen. Die Zuweisung von Konditionalsätzen und Wahrheitswerten – beispielsweise zu funktionalen Zusammenhängen – in einem Modell ist bei diesem Bestandteil wesentlich. Beispiel: Zuweisung einer Wenn-Dann-Beziehung. Wenn ein Elektron (Proposition) Strahlung (Proposition) emittiert (Operation), dann ist es auf ein niedrigeres (Relation) Energieniveau (Proposition) gefallen (Operation).

Aus dieser Beschreibung und der Problemstellung wird folgende Forschungsfrage abgeleitet: Können problemhaltige Aufgaben in schulrelevanten Kontexten konstruiert werden, in denen unter Nutzung des Modells und seiner Komponenten die drei Teilschritte des hypothetisch-deduktiven Denkens durchlaufen werden? Die für diesen Beitrag ausgewählten Teilfragen lauten:

- Können die Modellkomponenten in unterschiedlichen Modellkontexten reproduzierbar identifiziert und zugeordnet werden?
- Unterscheiden sich die Aufgabenschwierigkeiten in Abhängigkeit der Kontexte?

Beschreibung der Aufgabenkonstruktion

Es wurde ein geschlossenes Format (multiple-choice, single-select) für die Aufgaben gewählt. Sie wurden mit Hilfe eines selbst verfassten Konstruktionsmanuals (Scherer, 2014; Terzer, 2013) erstellt. Die iterative Erarbeitung der Aufgaben erfolgte in vier Hauptschritten und das Manual wurde begleitend überarbeitet. Zu Beginn wurden unter Berücksichtigung Rahmenlehrplans (LISUM, 2015) sechs Kontexte generiert, in denen Modelle mit den vier Modellkomponenten beschrieben wurden. Zur Validierung der Zuordnung wurde ein Expertenrating durchgeführt. In den Modellen sollten, nach einer einführenden Beschreibung, die genannten Komponenten zugeordnet werden. Außerdem war auch eine Entscheidung für „keine Option wählbar“ und „mehrere Optionen wählbar“ möglich. Nach Rücksprache mit 3 Ratern wurden die Modelle angepasst und ein Kontext ausgeschlossen.

Mit diesen Informationen wurden offene Aufgaben (Version 1) erstellt, in denen SuS der 10. Jahrgangsstufe dazu aufgefordert waren, den gegebenen Modellen frei formulierend Bestandteile zuzuordnen (N=42). Für weiteren Informationsgewinn wurden bereits vorhandene Multiple-Choice-Aufgaben für Modellnutzung zur Erkenntnisgewinnung (Nehring, 2014) begleitend eingesetzt. Die SuS sollten dort zusätzlich freie Begründungen für die Antworten geben. Aus den Resultaten dieser Erhebung wurden 60 (5 Kontexte x 4 Modellkomponenten x 3 Teilschritte) MC-Aufgaben konzipiert (Version 2) und an SuS in zwei Gymnasien und einer Sekundarschule (N=245) ausgegeben. Neben linearen Zusammenhängen mit Kovariablen, sowie einer Distraktorenanalyse, wurden die Schwierigkeiten berechnet und die Aufgaben entsprechend überarbeitet (Version 3). In einem letzten Schritt wurden Aufgabenmerkmale (bspw. Anzahl Fachbegriffe, Verhältnis Hauptsatz/Nebensatz) quantitativ mit dem Konstruktionsmanual abgeglichen und damit für die Hauptstudie finalisiert (Version 4).

Ausgewählte Ergebnisse

Die hier dargestellten deskriptiven Ergebnisse sind auf die oben beschriebenen zwei Teilfragen bezogen. Im Expertenrating betrug die Reliabilität (Fleiss' Kappa) über alle Kontexte $\kappa=,54$ (Schwankung nach Kontexten: .43-.82. Trotz einer als zufällig beurteilten Auswahlwahrscheinlichkeit von „keine Option“ ($p=,87$) sowie „mehrere Optionen“ ($p=,13$), wurden sie in der Rücksprache auch als Gesprächsanlässe verwendet. Mit Aufgabenversion 4 konnte bereits ein Teildatensatz (N=290) für die Hauptstudie gewonnen werden. Einen ersten Überblick der Aufgabenschwierigkeiten zeigt der Violinenplot (Wickham, 2016, S. 23f.) in Abbildung 1. Mit einer Ausnahme, scheinen die Kontexte auf deskriptiver Ebene keinen starken Einfluss auf die Schwierigkeit zu haben.

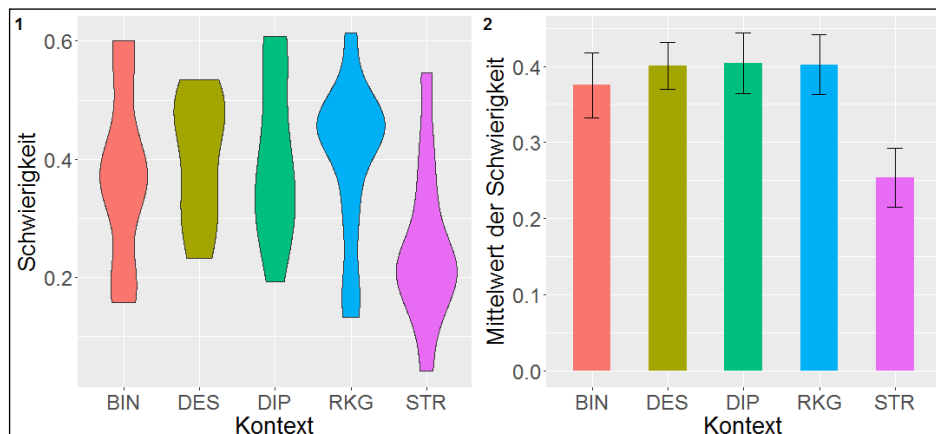


Abb. 1: Grafik 1 zeigt die Schwierigkeitsdichte der Aufgaben in Abhängigkeit des Kontextes. Grafik 2 zeigt die mittlere Aufgabenschwierigkeit inkl. Fehlerbalken. Kontext „STR“ fällt durch eine Schwierigkeit in Höhe der Ratewahrscheinlichkeit auf.

Ausblick

Die Hauptstudie, mit einer antizipierten Gesamtprobandenzahl von ca. 450 SuS, soll vertiefende Analysen zur Dimensionalität der Aufgaben ermöglichen. Eine IRT-basierte Auswertung, sowie die Untersuchung der Daten mit Strukturgleichungsmodellen werden Hinweise auf die Eignung der Aufgaben für die Messung von Erkenntnisgewinnungsprozessen mit Modellen liefern.

Literatur

- Constantinou, C. P. & Nicolaou, C. T. (2014): Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, S. 52-73.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016): *Modelling-based Teaching in Science Education*. Schweiz: Springer Nature.
- Landesinstitut für Schule und Medien Berlin-Brandenburg (2015): *Rahmenlehrplan der Länder Berlin & Brandenburg für das Fach Chemie der Sekundarstufe I*. (URL: <http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/rlp-online/c-faecher/chemie/kompetenzentwicklung/>)
- Lesh, R.; Hoover, M.; Hole, B.; Kelly, A. & Post, T. (2000). Principles for Developing Thought-Revealing Activities for Students and Teachers. In A. Kelly & R. A. Lesh (Hg.), *Research Design in Mathematics and Science Education* (S. 591–646). Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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. *ZfDN*, 22(1), S. 77-96.
- Nehring, A. (2014): *Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie. Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung*. Berlin: Logos.
- Scherer, R.; Meßinger-Koppelt, J. & Tiemann, R. (2014): Developing a computer-based assessment of complex problem solving in Chemistry. *International Journal of STEM Education*, 1:2.
- Taber, K. S. (2017): Models and Modelling in Science and Science Education. In K. S. Taber & B. Akpan (Hg.), *Science Education. An International Course Companion* (S. 262-278). Rotterdam, Boston, Taipei: Sense Publishers.
- Terzer, E.; Hartig, J & Upmeier zu Belzen, A. (2013): Systematische Konstruktion eines Tests zu Modellkompetenz im Biologieunterricht unter Berücksichtigung von Gütekriterien. *ZfDN*, 19, S. 51-76.
- Wickham, H. (2016): *ggplot2. Elegant Graphics for Data Analysis*. Cham, Schweiz: Springer.