

Charakterisierung situativer mentaler Modelle in der Chemie und die Bildung von Hypothesen

Problemstellung

Schüler:innen sollen im Rahmen der Kompetenzorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Lage sein, Hypothesen zu bilden, die sich auf eine Fragestellung oder Phänomen beziehen. Dies wurde für alle naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer im Sinne eines hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgewinnungsprozess festgelegt (KMK, 2005). Um eine Hypothese bilden zu können, muss zuerst die Problemsituation (Frage, Phänomen) verstanden werden. Allerdings deuten empirische Befunde hier auf deutliche Defizite hin (Scherer, Koppelt, & Tiemann, 2014) und als Folge auch auf Schwierigkeiten beim Aufstellen von Hypothesen (Baur, 2015, 2018; Hammann, Phan, Ehmer, & Bayrhuber, 2006). In dieser Arbeit wurde somit der Frage nachgegangen, mit welchen mentalen Prozessen das Verstehen beschrieben werden kann. Hierzu liefert die Chemiedidaktik bislang kaum Befunde. Darüber hinaus fehlen daher ebenso Maßnahmen, welche die Lernende aus dieser Perspektive beim Verstehen und bei der Hypothesenbildung unterstützen. Diesbezüglich wird in diesem Promotionsvorhaben auf übergeordnete Befunde der Kognitionspsychologie zurückgegriffen (Johnson-Laird, 1983, 2006, 2010; Seel, 1991, 2003) die davon ausgehen, dass Lernende mentale Modelle einer Problemsituation bilden und diese zum Verstehen heranziehen. Mentale Modelle können nach dieser Theorie als Mittel des Verstehens und Erklärens aufgefasst werden und dienen zur Erklärung von Informationsverarbeitung sowie dem logischen Schließen (Johnson-Laird, 1983, 2006, 2010; Knauff & Knoblich, 2017; Seel, 1991, 2003). Mit Übertragung auf die Didaktik der Naturwissenschaften könnten sie folglich als Voraussetzung für Erkenntnisgewinnung gesehen werden. Somit besteht das Ziel des Promotionsvorhaben darin, eine domänenspezifische Operationalisierung mentaler Modelle vorzunehmen und geeignete Maßnahmen abzuleiten, die Lernende beim Bilden mentaler Modelle und damit auch bei der Hypothesenbildung unterstützen.

Theorie

Für die Beschreibung eines mentalen Modells dient in dieser Arbeit ein mathematikdidaktischer Modellbegriff, der ein Modell anhand von vier Komponenten (*Elements, Relations, Operations* und *Rules*) beschreibt (Lesh, Hoover, Hole, Kelly, & Post, 2000). Dieses Modellverständnis wurde um kognitionspsychologische Erkenntnisse erweitert (Dörner, 1987, 1989; Ifenthaler, 2006; Johnson-Laird, 1983, 2006, 2010; Knauff & Knoblich, 2017; Seel, 1991, 2003, 2006, 2017) z.B.:

- mentale Modelle dienen als Mittel des Verstehens und Erklärens
- sie erklären Informationsverarbeitung
- sind notwendige Bestandteile von Problemlösen und Erkenntnisgewinnung
- sind situationspezifisch (externale Einflüsse)
- sind personenspezifisch (internale Einflüsse)

Zudem konnte quantitativ gezeigt werden, dass sich der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnungsprozess anhand des Modellbegriffes von Lesh et al. (2000) prinzipiell beschreiben lässt (Rost, 2021). Jedoch wurde auch deutlich, dass eine stärkere konzeptuelle Verankerung in der Kognitionspsychologie und der Naturwissenschaftsdidaktik notwendig ist

(Nave & Tiemann, 2018). Diese Überlegungen werden in einem **situativen Modellbildungsansatz (SIMBA)** zusammengeführt (siehe Abb. 1).

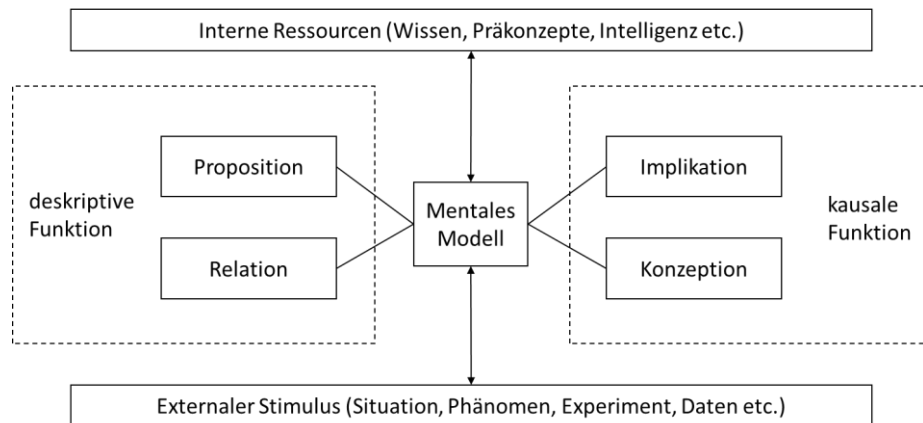


Abbildung 1 Situativer mentaler Modellbildungsansatz (SIMBA) (Tiemann, unpublished).

In dem hier beschriebenen Promotionsvorhaben wurden die SIMBA-Komponenten weiter ausdifferenziert und anhand der Betrachtung einer makroskopischen, submikroskopischen und symbolischen Ebene konkretisiert (Johnstone, 1991).

Forschungsfragen

Zunächst müssen chemische Phänomene ausgewählt werden, die ein mentales Modell bei Proband:innen initiieren (FF1). Für die Untersuchbarkeit des SIMBA-Modells müssen ferner konkrete Operatoren formuliert und anhand chemischer Fachinhalte die Reliabilität des Konstrukts überprüft werden (FF2). Im Hinblick auf den externen Stimulus stellt sich zudem die Frage, ob sich ein mentales Modell je nach chemischen Fachinhalt unterscheidet, oder ob die SIMBA-Komponenten dennoch für eine übergeordnete Beschreibung geeignet sind (FF3). Zudem ist zu klären, inwieweit Lernende die SIMBA-Komponenten zum Aufbau einer Hypothese heranziehen (FF4).

Design & Methoden

Die Umsetzung erfolgte in mehreren Teilschritten, die sich an qualitativen, deskriptiven Methoden orientieren. Der erste Schritt ist gekennzeichnet durch die Entwicklung von Testinstrumenten (interaktive Videos zur Initiierung eines mentalen Modells für drei Themengebiete, Hypothesentraining, Interviewleitfaden und weiteres) und deren Validierung sowie die Durchführung von Vorstudien und Anpassung der Instrumente. In einem zweiten Schritt wurden im Rahmen der Hauptstudie 18 Schüler:innen der Jahrgangsstufe 11 an drei Berliner Gymnasien befragt. Den Proband:innen wurden zuerst die Videos gezeigt und daraufhin eine Fragestellung gegeben. Sie erstellten eine Concept Map, als externalisierte und verkürzte Form eines mentalen Modells, die sie wiederum zur Generierung einer Hypothese heranzogen. Im Anschluss wurden sie in Form eines Leitfadengestützten Interviews nach ihren individuellen Vorgehensweisen befragt. In einem dritten Schritt erfolgte die Datenaufbereitung und Auswertung nach allgemeinen Richtlinien und Gütekriterien qualitativer Forschung (Döring & Bortz, 2016; Flick, 2010; Kuckartz, 2018; Mayring, 2015, 2016; Rädiker & Kuckartz, 2019).

Ergebnisse

In dem Promotionsvorhaben wurden drei interaktive Videos (Nowack, 2019) zu drei verschiedenen Themengebieten (saurer Regen, Zünd- und Explosionsgrenzen, Louche-Effekt) entwickelt (FF1) und die SIMBA-Komponenten anhand eines ausführlichen, deduktiv entwickelten Kategoriensystems konkret und valide operationalisiert. Hierfür wurden zum einen die Concept Maps ($k_n=.73$) herangezogen und zum anderen die Interviews, in denen die SIMBA-Komponenten in unterschiedlichen Teilbereichen des Kategoriensystems zur Anwendung kamen (I. Chronologisches Vorgehen zum Aufstellen der Concept Maps $k_n=.80$, II. Besonders wichtige Informationen zum Verstehen $k_n=.57$, II. Vorgehen zum Aufstellen einer Hypothese $k_n=.75$). Auch zur Auswertung der Hypothesen wurden die SIMBA-Komponenten in einem weiteren Kategoriensystem herangezogen (Nutzen der SIMBA-Komponenten zum Aufstellen einer Hypothese $k_n=.83$). Somit lässt sich eine Anwendbarkeit des Kategoriensystems zur Operationalisierung der SIMBA-Komponenten auf drei unterschiedliche Datentypen feststellen, was neben den guten Intercoderreliabilitäten für eine starke externe Validität des Manuals spricht (Döring & Bortz, 2016) (FF2). Analysiert man mithilfe des Kategoriensystems den Einbezug der SIMBA-Komponenten in die Concept Maps hinsichtlich des Themengebietes so fällt auf, dass es zwar innerhalb eines Themengebietes vereinzelt ähnliche Nutzungsmuster zwischen den Proband:innen gibt, zwischen den Themengebieten unterscheidet sich die Nutzung der SIMBA-Komponenten jedoch stark. Diese Befunde konnten anhand von Ähnlichkeitsmatrixen visualisiert werden (Rädiker & Kuckartz, 2019). Werden die Concept Maps als verkürzte und externalisierte Form mentaler Modelle aufgefasst, so stützen die Ergebnisse eine Personen- und Situationspezifität (FF3). Darüber hinaus konnte die Architektur einer Hypothese mithilfe der SIMBA-Komponenten beschrieben werden. Hiermit kann nachvollzogen werden, welche Komponenten das Verständnis bei den Proband:innen bestimmen und welche davon in der konkreten Formulierung einer Hypothese münden (FF4). Auffällig ist, dass die Proband:innen vor allem die SIMBA-Komponente Proposition in der Differenzierung makroskopisch in die Bildung einer Hypothese einbezogen. Dies konnte für alle drei Themenbereiche festgestellt werden. Die weitere Nutzung der SIMBA-Komponenten scheint allerdings abhängig vom Themengebiet zu sein. Eine Triangulierung der Daten (Ergebnisse der Concept Maps, Interviews und Hypothesen) zeigt, welche SIMBA-Komponenten bei der Bildung eines mentalen Modells genutzt wurden, welche dann als besonders wichtig erachtet wurden, um das Phänomen zu verstehen und welche folglich in die Formulierung einer Hypothese einfließen. Hierbei zeichnet sich für alle drei Themenbereiche ein heterogenes Bild. So wurden die SIMBA-Komponenten, die zum Aufbau eines mentalen Modells genutzt wurden, nicht ausschließlich als besonders wichtig von den Proband:innen bezeichnet, um das Phänomen zu verstehen. Auch unterschieden sich diese von den SIMBA-Komponenten, die zur Formulierung der Hypothese genutzt wurden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass in diesem Promotionsvorhaben eine übergeordnete und reliable Operationalisierung eines mentalen Modells erarbeitet werden konnte. Darüber hinaus konnten erste Implikationen gesammelt werden, die Lernende beim Verstehen einer chemischen Problemsituation unterstützen könnten. Beispielsweise gab ein Großteil der Proband:innen an, dass die Concept Map half, weil hierdurch Informationen geordnet und visualisiert wurden. Somit könnte durch die Nutzung von Concept Maps und geeigneten Prompts, die zur Identifizierung der SIMBA-Komponenten führen, ein Training erstellt werden, das Schüler:innen beim Verstehen von chemischen Phänomenen und Fragestellungen unterstützt.

Literatur

- Baur, A. (2015). Problembereiche von Schüler/innen bei der experimentellen Methode. In U. Gebhard, M. Hammann, & B. Knäulmann (Eds.), *Abstractband: Bildung durch Biologieunterricht* (pp. 32-33).
- Baur, A. (2018). Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von Schülerinnen und Schülern beim Experimentieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften ZfDN*, 24(1), 115-129.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (Vol. 5). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Dörner, D. (1987). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (Vol. 3). Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Hamburg: Rowohlt Verlag.
- Flick, U. (2010). Gütekriterien qualitativer Forschung. In G. Mey & K. Mruck (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (Vol. 1). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hammann, M., Phan, T. T. H., Ehmer, M., & Bayrhuber, H. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht MNU*, 59(5), 292-299.
- Ifenthaler, D. (2006). *Diagnose lernabhängiger Veränderung mentaler Modelle - Entwicklung der SMD-Technologie als methodologisches Verfahren zur relationalen, strukturellen und semantischen Analyse individueller Modellkonstruktionen*. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, Deutschland.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2006). Mental Models, Sentential Reasoning, and Illusory Inferences. In C. Held, H. Knauff, & G. Vosgerau (Eds.), *Mental Models and the Mind* (pp. 27-51). Amsterdam, Boston: Elsevier.
- Johnson-Laird, P. N. (2010). Mental models and human reasoning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS*, 107(43), 18243-18250.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is Science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- KMK. (2005). Bildungsstandards im Fach Chemie für den mittleren Schulabschluss. from Luchterhand
- Knauff, M., & Knoblich, G. (2017). Denken und Problemlösen. In J. Müssler & M. Rieger (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (Vol. 3). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (Vol. 4). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Lesh, R., Hoover, M., Hole, B., Kelly, H., & Post, T. (2000). Principles for developing thought-revealing activities for students and teachers. In A. Kelly & R. Lesh (Eds.), *Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse* (Vol. 12). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Mayring, P. (2016). *Einführung in die qualitative Sozialforschung* (Vol. 6). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Nave, K., & Tiemann, R. (2018). *Mentale Modellbildung: Verstehen und charakterisieren von Problemlöseprozessen in der Chemie*. Paper presented at the Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik GDGP, Kiel. https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tagungsbaende/GDGP_Band39.pdf
- Nowack, T. (2019). *Erstellung eines Erhebungsinstruments zur Bestimmung eines situativen Mentalen Modells anhand von Videoversuchen*. (Masterarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- Rädiker, S., & Kuckartz, U. (2019). *Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA*. Wiesbaden: Springer VS.
- Rost, M. (2021). *Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I: Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines Testinstruments aus epistemologischer Perspektive*. (Doktorarbeit). Humboldt Universität zu Berlin, Berlin.
- Scherer, R., Koppelt, J., & Tiemann, R. (2014). Developing a computer-based assessment of complex problem solving in Chemistry. *International Journal of STEM Education*, 1(2).
- Seel, N. (1991). *Weltwissen und mentale Modelle*. Göttingen, Toronto, Zürich: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Seel, N. (2003). *Psychologie des Lernens: Lehrbuch für Pädagogen und Psychologen* (Vol. 2). München, Basel: Ernst Reinhardt Verlag.
- Seel, N. (2006). Mental Models in Learning Situations. *Advances in Psychology*, 138(1), 85-107.
- Seel, N. (2017). Model-based learning: a synthesis of theory and research. *Educational Technology Research and Development*, 65, 931-966.