

Yannik Peperkorn<sup>1</sup>  
Stefanie Schwedler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Bielefeld

## Simulationen im Chemieunterricht: Aufbau mentaler Modelle zu Energie

### Ausgangslage

Der Energiebegriff ist ein zentrales Element zahlreicher gesellschaftlicher, technischer und politischer Diskussionen. In der naturwissenschaftlichen Schulbildung ist das Konzept der Energie als Schnittstelle zwischen den einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen verortet. Eine Vermittlung von fachlich angemessenen Vorstellungen ist demnach für ein ganzheitliches Verständnis des Konzeptes und im Sinne der Erziehung zu demokratiefähigen Bürger\*innen in einer technologisierten Gesellschaft essentiell (KMK Bildungsstandards, 2005). Allerdings erweist sich das Erreichen dieser Ziele im Unterrichtsfach Chemie oftmals als problematisch, da es sich bei dem Energiebegriff um ein sehr abstraktes und wenig intuitives Konzept handelt. Dies zeigt sich auch in zahlreichen unangemessenen Vorstellungen der Schüler\*innen (vgl. u.a. Bain & Towns, 2016). Besonders solche, die durch Alltagserfahrungen gestärkt werden, wie z.B. das „Verbrauchen“ von Energie sind weit verbreitet. Diese persistenten Vorstellungen erschweren die Vermittlung eines angemessenen, wissenschaftlichen Konzeptes (vgl. Schmidkunz & Parchmann, 2011).

Für das Verständnis des Energiebegriffs ist die Fähigkeit einer mentalen Modellierung essentiell (vgl. Chittleborough & Treagust, 2007). Mentale Modelle werden nach dem *instructional approach* als vereinfachte Analogie eines komplexen Phänomens im Langzeitgedächtnis gespeichert, wodurch sie stellenweise als fehlerhafte Vorstellungen über eine Resistenz gegenüber Veränderungen durch neue Lerninhalte verfügen. Besonders in der Antizipation von Lösungen für unbekannte Phänomene werden die gespeicherten Modelle für eine mentale Simulation herangezogen. In dieser wird über einen konzeptuellen inneren Vergleich versucht, bestehende Erklärungsstrukturen auf die Phänomene anzuwenden, um neue mentale Modelle zu bilden oder bestehende zu verändern (vgl. Nitz & Fechner, 2018). Ein fachlich angemessenes mentales Modell beinhaltet dabei sowohl das Verständnis des Teilchenverhaltens als auch äquivalente Charakteristiken auf der symbolischen und makroskopischen Repräsentationsebene. Die Verknüpfung der drei Ebenen des chemischen Dreiecks nach Johnstone (2000) ist für das Lernen und Verstehen von chemischen Phänomene besonders entscheidend. Erst durch die Fähigkeit, alle Ebenen miteinander in Beziehung setzen und fluide zwischen ihnen wechseln zu können, entsteht ein Konzeptverständnis (vgl. Santos & Arroio, 2016). Angesichts der mangelnden sensuellen Erfahrbarkeit submikroskopischer Prozesse und der geringen Modellierungsfähigkeit von Lernanfänger\*innen (vgl. Kozma & Russel, 1997) fehlen Schüler\*innen geeignete Erklärungsstrukturen zur Deutung des Teilchenverhaltens und zur Wissensverknüpfung im chemischen Dreieck.

Eine Simulation der Teilchenebene ermöglicht die fehlende Einsicht in entsprechende Prozesse und erlaubt zudem eine direkte Überprüfung mentaler Modelle. Aus didaktischer Perspektive ist das Lernen mit Simulationen für die progressive Veränderung von mentalen Modellen eine besonders effektive Methode (vgl. Landriscina, 2009). Denn anhand der Erkenntnisse aus den Simulationen können resistente Vorstellungen aus dem Langzeitgedächtnis durch die Interaktion des inneren Modells mit dem Simulationsmodell verändert werden (vgl. Suits & Sanger, 2013). Für eine ausreichende Lernwirksamkeit muss die Simulation allerdings in ein geeignetes didaktisches Konzept eingebettet werden, welches zum einen Schüler\*innen

zu einer mentalen Simulation auf submikroskopischer Ebene veranlasst und zum anderen eine Internalisierung und einen verknüpfenden Transfer der Erkenntnisse beinhaltet (vgl. Tasker & Dalton, 2006; Stieff & Wilensky, 2003). Insbesondere bei dem kombinierten Einsatz einer Zeichenaufgabe mit einer Simulation und der verbundenen Nutzung von statischen und dynamischen Repräsentationen deuten sich Synergieeffekte in Bezug auf die Stärkung von Vorstellungen an (vgl. Stieff, 2017).

### Das Konzept von SIMMS

Das Ziel des Konzeptes SIMMS (*simulation-based instruction for mental modeling in school*) ist es, Schüler\*innen über die Auseinandersetzung mit simulationsbasierten Online-Lerneinheiten zu ausgewählten Themen der Energetik zu einer mentalen Simulation anzuregen, verbesserte mentale Modelle aufzubauen und damit das Konzeptverständnis zu verbessern. Die Online-Lerneinheiten gliedern sich in vier Phasen.

#### Phase 1: Zeichnung

Nach der kontextbasierten Einführung in das jeweilige Thema erfolgt die Aktivierung mentaler Modelle über eine Zeichenaufgabe (vgl. Abb. 1). Dabei werden gemäß der *cognitive theory of drawing construction* (van Meter & Firetto, 2013) Aufgabeninformationen mit bestehenden Erklärungsstrukturen über den *imagination effect* (Leahy & Sweller, 2004) abgeglichen, um ein mentales Modell zu bilden. Als Resultat des iterativen Prozesses wird das mentale Modell schließlich als Zeichnung externalisiert und beschrieben (vgl. Ryan & Stieff, 2019). Die Zeichenaufgabe enthält zur Reduzierung des *cognitive load* (Sweller, 1994) und zur Fokussierung bereits dieselben Elemente und Darstellungsformen wie in der Simulation.

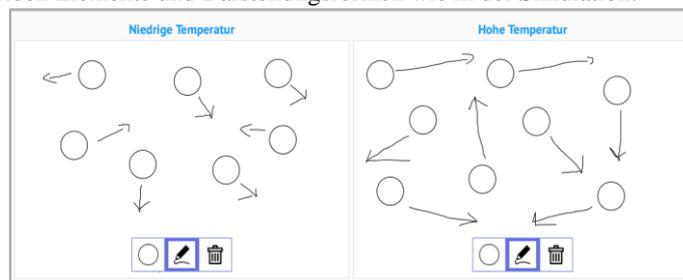


Abb. 1: Beispielhafte Zeichnung aus der Einheit „Maxwell“.

#### Phase 2: Simulation

In der zweiten Phase bearbeiten die Schüler\*innen die entsprechende Simulation (*molecular workbench* (Tinker & Xie, 2006), Concord Consortium). Die Simulationen wurden für das jeweilige Thema der Lerneinheit maßgeschneidert und aus der *java* basierten Umgebung in die technisch aktuelle Version *molecular workbench next generation* auf Basis von *javascript* konvertiert. In zwei Schritten überprüfen die Schüler\*innen ihre mentalen Modelle bzw. antizipativen Vorstellungen, indem sie das Verhalten der Teilchen beobachten und auf die symbolische Repräsentationsebene transferieren.

#### Phase 3: Überprüfung

Durch eine Überprüfung und Überarbeitung der eigenen Zeichnungen aus der ersten Phase (vgl. Abb. 2) reflektieren die Schüler\*innen sowohl über ihre Zeichnung selbst als auch über die Erkenntnisse aus der Simulation (vgl. Stieff & DeSutter, 2020). Erneut wird die Zeichnung

mit einer Beschreibung kombiniert (vgl. Phase 1). Der selbstgesteuerte Lernprozess des Vergleichens, der Rekonstruktion und des erneuten Beschreibens ermöglicht die vertiefte Auseinandersetzung der externalisierten Vorstellungen mit dem wissenschaftlichen Simulationsmodell, sodass unvollständige oder konkurrierende mentale Modelle als vervollständigt oder verändert internalisiert werden können (vgl. Wu & Rau, 2019).

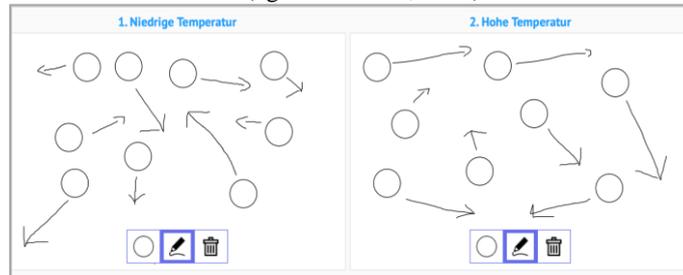


Abb. 2: Überarbeitete Zeichnung aus der Einheit „Maxwell“.

#### Phase 4: Anwendung

Besonders die Schnittstelle zwischen der nicht sichtbaren, submikroskopischen und der abstrakten, symbolischen Ebene stellt eine Herausforderung dar, sodass zugrundeliegende Konzepte der Teilchenebene häufig nicht zur Interpretation von Diagrammen genutzt werden (vgl. Hernandez et al., 2014). Deswegen sollen die Schüler\*innen in einer Transferaufgabe Diagramme hinsichtlich des Teilchenverhaltens interpretieren und damit eine Verknüpfung des Teilchenverhaltens mit der symbolischen Repräsentationsebene herstellen.

#### Explorative Vorerprobung und laufende Untersuchungen

Die konzipierten Lerneinheiten wurden im WS 19/20 und SS 20 in einer explorativen Vorerprobung in unterschiedlichen Schulen in der Sekundarstufe II getestet. Über teilnehmende Beobachtungen und retrospektive Interviews mit Schüler\*innen (N=18) wurden erste Lerneffekte, Benutzerfreundlichkeit und Problemstellen der Einheiten erhoben. Basierend auf den Ergebnissen wurden die Einheiten optimiert. In der laufenden zweiten Phase werden die Lerneffekte mittels *think-aloud*-Erhebung über die Verbalisierung von Vorstellungen und Gedanken während der Bearbeitung der Lerneinheiten sowie ergänzenden leitfadengestützten Interviews qualitativ vertieft (vgl. van Someren et al., 1994) (N=15). Für eine Verallgemeinerung der qualitativen Daten werden zudem die Zeichnungen aus den Lerneinheiten im Klassenverbund auf ihre inhaltlichen Veränderungen analysiert.

#### Erste Ergebnisse und Ausblick

Erste Ergebnisse der laufenden *think-aloud* Erhebungen indizieren eine Aktivierung und Veränderung der mentalen Modelle durch die reflexive Zeichenaufgabe und insbesondere durch die Auseinandersetzung mit den Simulationen. Die Visualisierung des Teilchenverhaltens unterstützt Schüler\*innen zudem bei der Verbindung zur symbolischen Ebene. Im Einzelfall können einzelne Simulationen aber auch hausgemachte, unangemessene Vorstellungen hervorrufen. Dies erforderte eine Anpassung der jeweiligen Lerneinheiten.

Insgesamt zeigt sich, dass das Konzept SIMMS den Aufbau mentaler Modelle und die Verbindung zur symbolischen Ebene fördert. In Zukunft soll der Einfluss der Zeichenaufgabe auf den Aufbau der mentalen Modelle und des Konzeptverständnisses in den unterschiedlichen Einheiten weiter untersucht werden.

## Literatur

- Bain, K. & Towns, M. H. (2016). A review of research on the teaching and learning of chemical kinetics. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 17, 246-262.
- Chittleborough, G. & Treagust, D. F. (2007). The modeling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8 (3), 274-292.
- Hernández, G.E., Criswell, B.A., Kirk, N.J., Sauder, D.G. & Rushton G.T. (2014). Pushing for particular level models of adiabatic and isothermal processes in upper-level chemistry courses: a qualitative study. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15, 354-365.
- Johnstone, A.H. (2000). Teaching of chemistry: logical or psychological? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 1 (1), 9-15.
- Kozma, R. B. & Russel, J. (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (9), 949-968.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2005). Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. München, Neuwied: Luchterhand.
- Landriscina, F. (2009). Simulation and learning: the role of mental models. *Journal of e-learning and Knowledge Society*, 5 (2), 23-32.
- Leahy, W. & Sweller, J. (2004). Cognitive Load and the Imagination Effect. *Appl. Cognit. Psychol.*, 18, 857-875.
- Nitz, S. & Fechner, S. (2018). Mentale Modelle. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Eds.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung (Lehrbuch)*. Berlin: Springer-Verlag, 69-86.
- Santos, V. C. & Arroio, A. (2016). The representational levels: Influences and contributions to research in chemical education. *Journal of Turkish Science Education*, 13 (1), 3-18.
- Schmidkunz, H. & Parchmann, I. (2011). Basiskonzept Energie. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 22 (121), 2-7.
- Stieff, M. & Wilensky, U. (2003). Connected Chemistry – Incorporating Interactive Simulations into the Chemistry Classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 12 (3), 285-302.
- Stieff, M. (2017). Drawing for Promoting Learning and Engagement with Dynamic Visualizations. In R. Lowe & R. Ploetzner (Eds.), *Learning from Dynamic Visualization*. New York: Springer, 333-355.
- Stieff, M. & DeSutter, D. (2020). Sketching, not representational competence, predicts improved science learning. *J. Res. Sci. Teach.*, 1-29.
- Suits, J. P. & Sanger, M. J. (2013). Dynamic Visualizations in Chemistry Courses. In J. P. Suits & M. J. Sangers (Eds.), *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses*. Washington D.C.: ACS American Chemical Society, 1-13.
- Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. *Learning and Instruction*, 4, 295-312.
- Tasker, R. & Dalton, R. (2006). Research into practice: visualization of the molecular world using animations. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 7 (2), 141-159.
- Tinker, R. & Xie, Q. (2006). Molecular Dynamics Simulations of Chemical Reactions for Use in Education. *Journal of Chem. Ed.*, 83 (1), 77-83.
- Van Meter, P. & Firetto, C. M. (2013). Cognitive Model of Drawing Construction: Learning Through the Construction of Drawings. In G. Schraw, M. McCrudden & D. Robinson (Eds.), *Learning through visual displays*. Scottsdale: Information Age Publishing, 247-280.
- Van Someren, M.W., Barnard, Y.F. & Sandberg, J.A.C. (1994). *The Think Aloud Method: A practical guide to modelling cognitive processes*. London: Academic Press.
- Wu, S. P. W. & Rau, M. A. (2019). How Students Learn Content in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Through Drawing Activities. *Educational Psychology Review*, 31, 87-120.