Andreas Jackowski Universität Duisburg-Essen
Stefan Rumann

Zum konzeptuellen Verständnis der Struktur der Materie

Theoretischer Hintergrund

Die Genese eines konzeptuellen Verständnisses des Aufbaus der Materie stellt eine der zentralen Anforderungen der Studieneingangsphase im Chemiestudium dar. Dieses wird beispielsweise für die Kenntnis über die VSEPR- oder MO-Theorie benötigt. Fachinformationen, welche sich mit der Entstehung, der Zusammensetzung und den Charakteristiken der Materie beschäftigen, werden dem Basiskonzept „*Struktur der Materie*“ zugeordnet (MSW NRW, 2008). Da im Nachfolgenden ein grundlegendes Verständnis von Fachinhalten untersucht und von einer vergleichbaren Konzeptualisierung der Fachstruktur ausgegangen werden kann, wird der Begriff der Struktur der Materie auch für das universitäre Niveau verwendet.

Bei der Bearbeitung von Fachinformationen wird von Lernenden nicht nur die Durchführung von formallogischen kognitiven Operationen verlangt, sondern auch der Umgang mit unterschiedlichen Repräsentationstypen. Allgemein ist eine Vermittlung von Fachinformationen ohne die Nutzung von Abbildungen in der Chemie nicht realisierbar (Gilbert, 2007). Diese Aussage gilt aufgrund der Art der zu vermittelnden Inhalte besonderes für das Konzept der Struktur der Materie.

Ein Problem beim Umgang mit Abbildungen ist, dass chemische Fachinhalte auf verschiedenen Ebenen vermittelt werden. So gibt die makroskopische Ebene Auskunft über erfahrbare Eigenschaften und wahrnehmbare Veränderungen. Die submikroskopische Ebene gibt Erklärungen über die Geschehnisse auf atomarer Ebene. Allerdings ist ein Wechsel zwischen den beiden Ebenen nicht direkt möglich. So werden beide Ebenen durch die Repräsentationsebene verbunden. Diese erlaubt es beschreibende und erklärende Informationen in Abbildungsform aufzuzeigen (Johnstone, 2000).

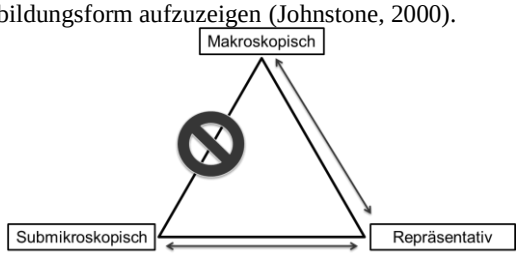

Abbildung 1: Das chemische Dreieck (nach Johnstone, 2000)

Lerninhalte im Bereich der Struktur der Materie werden durch eine Vielzahl unterschiedlicher Repräsentationsformen vermittelt. Für jede dieser Repräsentationstypen muss den Lernenden die enthaltende spezifische Bildsprache bekannt sein. Die Art der Abbildung variiert dabei nach angestrebtem Lernziel. Nur durch die Kenntnis der jeweiligen Bildsprache können die enthaltenen Inhalte richtig entnommen werden. Andernfalls kann es zu Missinterpretationen und Fehlschlüssen bei der Dekodierung der Bildinformationen kommen (Weidenmann, 1994).

Die unterschiedlichen Arten der Repräsentationen können anhand ihres jeweiligen Abstraktionsgrades in symbolische und ikonische Abbildungen klassifiziert werden. (Schnotz, 2005).

Symbolische Abbildungen werden deskriptiv genannt und besitzen keine räumliche Gemeinsamkeit mit dem repräsentierten Realobjekt. Sie geben die enthaltenden

Informationen in einer kondensierten Zeichenform wieder. Ikonische Repräsentationen weisen räumliche Ähnlichkeit mit dem darzustellenden Objekt auf und werden auch als depiktiv bezeichnet (Schnotz, 2005).

Allerdings eignet sich nicht jede Repräsentationsart im gleichen Umfang für jeden Lernenden. Dies begründet sich darin, dass sich unterschiedliche Lernereigenschaften direkt auf die Lernwirksamkeit von verschiedenen Repräsentationen auswirken. (Höffler, Schmeck & Opfermann, 2013).

Forschungsfragen

Im Rahmen des Projektes wird untersucht, wie sich spezifische Lernereigenschaften auf den Umgang mit Repräsentationen unterschiedlichen Abstraktionsgrades auswirken. Es wird evaluiert, ob sich das mathematische Vorwissen auf das konzeptuelle Verständnis der Struktur der Materie im symbolischen Bereich auswirkt. Dies wird vermutet, da symbolische Repräsentationen im chemischen Kontext zumeist in Aufgaben mit mathematisierten Inhalten vorkommen. Des Weiteren wird untersucht, welchen Einfluss das räumliche Vorstellungsvermögen auf das konzeptuelle Verständnis der Struktur der Materie im ikonischen Bereich hat. Diese wird als Arbeitshypothese formuliert, da ikonische Repräsentationen im chemischen Kontext oft in Aufgabenbereichen eingesetzt werden, in denen gedankliche Objektrotationen durchgeführt werden sollen.

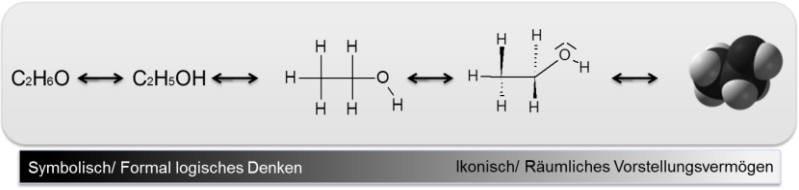

Abbildung 2: Angenommener Zusammenhang zwischen individuellen Fähigkeiten und verschiedenen Repräsentationstypen

Methoden

Die Studie wurde in einem Prä-Post-Testdesign an der Universität Duisburg-Essen durchgeführt. An der Untersuchung nahmen N=85 Erstsemester-Bachelor-Lehramtsstudierende mit Studienfach Chemie teil. Die Daten wurden zu zwei Messzeitpunkten erhoben: Vor Beginn der ersten Fachvorlesung und nach Beendigung des ersten Vorlesungszeitraums, sodass die Entwicklung innerhalb des ersten Fachsemesters aufgezeigt werden konnte. Zu den Messterminen wurde das konzeptuelle Verständnis der Struktur der Materie in den symbolischen und ikonischen Teilbereichen erhoben. Zusätzlich wurden die mathematische Fähigkeit und das räumliche Vorstellungsvermögen erfasst. Diese individuellen Lernereigenschaften wurden untersucht, da davon ausgegangen wurde, dass diese unterschiedlich mit den Leistungen in den jeweiligen Bereichen der Struktur der Materie zusammenhängen. Auch sollte mittels einer Dimensionsanalyse untersucht werden, ob sich das konzeptuelle Verständnis der Struktur der Materie als Gesamtkonstrukt darstellt oder in symbolische und ikonische Unterkategorien unterteilt werden kann.

Außerdem wurden weitergehende Informationen über das chemische Vor- und Fachwissen, kognitive Fähigkeiten und personenbezogene Hintergrundinformationen, wie der Bildungshintergrund oder das Kurswahlverhalten im Abitur, erfasst.

Ergebnisse

Die Analyse der Dimensionalität ergab eine signifikant bessere Passung für das zweidimensionale Modell ($p < .05$). Es kann daraus gefolgert werden, dass sich das Konzept der Struktur der Materie in einen symbolischen und einen ikonischen Teilbereich trennen lässt.

Die Analyse der Testdaten ergab, dass sich das konzeptuelle Verständnis der Struktur der Materie im ersten Semester signifikant verbessert. Dies gilt sowohl für den symbolischen ($p < .05$) als auch für den ikonischen ($p < .05$) Bereich. Die Effektstärken zeigten einen großen Effekt ($d = 0.64$) für den symbolischen und einen mittleren Effekt ($d = 0.37$) für den ikonischen Teilbereich auf.

Weitergehend wurde untersucht, ob sich die Bereiche unterschiedlich über die Zeit entwickeln. Hierzu wurde eine ANOVA mit Messwiederholung gerechnet ($F[1, 166] = 5.6$, $p < .05$). Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Interaktion zwischen den einzelnen Bereichen und der Zeit auf ($\eta^2 = 0.032$). Die Studierenden lernen im symbolischen Teilbereich signifikant mehr im Verlauf des ersten Semesters hinzu als im Ikonischen.
Für die beiden Unterkategorien, das symbolische und ikonische konzeptuelle Verständnis, wurde mittels bivariater Korrelationsanalyse der Zusammenhang zu weiteren Kontrollvariablen identifiziert. Die Ergebnisse sind nachfolgend in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Korrelation der Lernerfähigkeiten auf die unterschiedlichen Teilbereiche der Struktur der Materie zum Postzeitpunkt

	Symbolisches Verständnis der Struktur der Materie		Ikonisches Verständnis der Struktur der Materie	
Kontrollvariable	Pearson-Korrelation (r)	p	Pearson-Korrelation (r)	p
Prätestleistung	**.469**	<.05	**.564**	<.05
Mathematische Fähigkeit	**.374**	<.05	.20	n.s.
Räumliches Vorstellungsvermögen	.185	.n.s.	**.260**	<.05

Zusammenfassung und Ausblick

Individuelle Lernereigenschaften wie die mathematische Fähigkeit und das räumliche Vorstellungsvermögen zeigen unterschiedliche Zusammenhänge auf die Arbeit mit Repräsentationen im symbolischen und ikonischen Teilbereich der Struktur der Materie auf. Erwartungskonform werden hierbei nur die Zusammenhänge zwischen der mathematischen Fähigkeit und dem symbolischen Verständnis sowie zwischen dem räumlichen Vorstellungsvermögen und dem ikonischen Verständnis signifikant. Diese Zusammenhänge werden zurzeit noch weiter analysiert.
Für einen tiefergehenden Einblick in die kognitiven Bearbeitungsprozesse beim Umgang mit Abbildungen variierenden Abstraktionsgrades wurden Extremgruppen in den zu untersuchenden Lernereigenschaften identifiziert. Mit diesen Extremgruppen wurden qualitative Ergänzungsstudien durchgeführt. Zum einen wurde eine Smartpen Thinking-Aloud-Untersuchung zur Erfassung der genauen Bearbeitungsweise der verschiedenen Repräsentationen realisiert. Zum anderen wurde eine Eye-Tracking Studie durchgeführt, welche Aufschluss darüber geben soll, wie sich die individuellen Lernereigenschaften auf die Betrachtungsweise von Abbildungen auswirken. Aus den gewonnenen Gesamtergebnissen soll eine Trainingseinheit für Studierende generiert werden. Diese soll dazu dienen, den Umgang mit Abbildungen variierenden Abstraktionsgrades zu schulen.

Literatur

Dickmann, T., Opfermann, M., Rumann, S., Dammann, E., Lang, M. & Schmuck, C. (2016). Prädiktoren von visuellem Modellverständnis in der Chemie. In C. Maurer (Hrsg.), Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015. (S. 392 - 394). Universität Regensburg.

Ekstrom, R. B., French, J. & Harman, H. (1976). Factor-Referenced Cognitive Tests. Priceton, New Jersey: Educational Testing Service.

Freyer, K. (2013) Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie. Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 156. Berlin: Logos Berlin.

Gilbert, J.K., Boulter, C.J. & Elmer, R. (2007). Developing models in science education. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Gilbert, J. K., Reiner, M. & Nakhleh, M. (2008). Visualization: Theory and practice in Science Education. Volume 3. Berlin: Springer Verlag.

Gilbert, J. K. & Treagust, D. (2009). Multiple Representations in Chemical Education. Volume 4. Berlin: Springer Verlag.

Hoeffler, T., Opfermann, M., & Schmeck, A. (2013). Static and dynamic visualizations: Individual differences in processing. In G. Schraw, M. T. Mccrudden, & D. Robinson (Hrsg.), Learning through visual displays (S.133 - 163). Carolina: Information Age Publishing.

Johnstone, A.H. (2000). Teaching of Chemistry – Logical or Psychological? Chemistry Education research and Practice,1 (1), 9.

Kimpel, L. & Sumfleth, E. (2015). Chemieaufgaben - Mathematisierung als schwierigkeitserzeugender Faktor. In: C. Maurer (Hrsg.), Authentizität und Lernen - das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015. (S. 521 - 523). Universität Regensburg

Leutner, D., Opfermann, M. & Schmeck, A. (2015). Lernen mit Medien. In Seidel, T. & Krapp, A. (Hrsg.), Pädagogische Psychologie. Weinheim/Basel: Beltz Verlag.

Mayer, R. E. (2009). Multimedia Learning. Second Edition. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

McTigue, E., & Flowers, A. (2011). Visual literacy in science texts: Elementary students' perceptions and understandings of common diagrams. The Reading Teacher, 64 (8), 578-589.

Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., Hein, a., Hupfer, M., & Zobel, A. (2008). Kompendium multimediales Lernen. Berlin/Heidelberg: Springer Verlag.

Schnotz, W., Baadte, C., Müller, A. & Rasch, R. (2010). Creative Thinking and Problem Solving with Depictive and Descriptive Representations. In Verschaffel, L., de Corte, E., de Jong, T. & Routledge, J. (Hrsg.), Use of Representations in Reasoning and Problem Solving - Analysis and Improvement (S.11-35). London/New York: Routledge.

Schnotz, W. (2005). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In Mayer, R. E. (Hrsg). The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge: Cambridge University Press.

Weidenmann, B. (1994) Lernen mit Bildmedien: psychologische und didaktische Grundlagen. (2. Aufl.). Weinheim/Basel: Beltz Verlag.