

### Generierung und Nutzung von Analogien beim Umgang mit Modellexperimenten

Duit, Roth, Komorek und Wilbers (2001) haben aufgezeigt, dass aus einer konstruktivistischen Perspektive jeder Lernprozess eine Suche nach Ähnlichkeiten zwischen dem bekannten Wissen und dem neu zu erlernenden Wissen ist.

Im Chemieunterricht werden häufig Experimente eingesetzt, um den Lernenden das Verständnis neuer chemischer Prozesse zu erleichtern (Schulz, 2010). Dabei sind aus Gründen von u.a. Komplexität und Zugänglichkeit nicht alle neuen chemischen Prozesse direkt greifbar, weshalb häufig Modellexperimente eingesetzt werden. Damit der unterrichtliche Einsatz von diesen Modellexperimenten bedeutsam ist, müssen auch hier die Ähnlichkeiten zwischen zwei Bereichen – dem chemischen Prozess (Original) und dem Modellexperiment – von den Lernenden erschlossen werden. Dieser mentale Vergleich von Ähnlichkeiten zwischen zwei Bereichen wird auch als Analogie definiert. Analogien sind „Relationen zwischen den Strukturen zweier Bereiche, von denen einer zur Erklärung eines anderen herangezogen wird“ (Duit et al., 1990). Prinzipiell ist diese Relation zunächst eine festgesetzte Ähnlichkeitsbeziehung (Paatz, 2002). Es wird in der Literatur zwischen (tiefen-)strukturellen Ähnlichkeiten, welche die Struktur des jeweiligen Bereiches bilden, und Oberflächenähnlichkeiten unterschieden (Holyoak & Koh, 1987; Gentner, 1989; Kircher, 1995). Strukturelle Ähnlichkeiten basieren auf den Merkmalen, welche eine kausale Beziehung zwischen zwei Bereichen knüpfen (Holyoak & Koh, 1987). Oberflächenmerkmale sind Attribute (einstellige Prädikate) sowie Relationen (mehrstellige Prädikate), die keinen kausalen Zusammenhang zwischen verschiedenen Elementen der Analogiebereiche herstellen.

Das Nutzen einer Analogie zur Erklärung eines unbekanntes Sachverhaltes, welches als Analogienutzungsprozess (Falkenhaier, Forbus & Gentner, 1986; Holyoak & Thagard, 1989; Kologerakis, 2010; Schwering et al., 2009) bezeichnet wird, rückt den Prozess des Vergleichens in den Blickpunkt und ist wiederum als von dem jeweiligen Individuum abhängig zu betrachten. Dieser Prozess wird in der Literatur in (mindestens) drei Phasen modelliert (Vosniadou & Ortony, 1989): *accessing*, *mapping* und *generalization*. Dabei muss in der ersten Phase (*accessing*) ausgehend von einem erklärungsbedürftigen Original (Zielbereich) ein Zugang zu einem potentiellen Analogiebereich gefunden werden, welcher in seinen hochrangigen und abstrakten Relationen einen hohen Übereinstimmungsgrad zu dem Original aufweist (Gentner, 1989). Dieser wird vornehmlich durch Oberflächenähnlichkeiten vermittelt (Holyoak & Koh, 1987; Gentner, Rattermann & Forbus, 1993; Wharton et al., 1994). In der *mapping*-Phase werden die beiden Bereiche miteinander verglichen, Ähnlichkeiten identifiziert und die Merkmale des Analogiebereiches auf den Zielbereich übertragen und somit die Analogiebeziehung charakterisiert. Die *generalization*-Phase führt zur Einführung neuer Konzepte, Erklärungen und allgemeinen Regeln. Diese beiden Phasen werden besonders von strukturellen Ähnlichkeiten geleitet (Holyoak & Koh, 1987; Wharton et al., 1994).

Im Chemieunterricht werden meistens bereits konzipierte Modellexperimente eingesetzt. Bei diesen ist der Schritt des *accessing* abgeschlossen, da durch Dritte (z.B. Lehrpersonen) bereits ein Analogiebereich identifiziert wurde. Zugleich sind der zugehörige Zielbereich sowie die intendierten Analogien (Clement, 1978; Duit, 1995) festgelegt. Von den Lernenden wird erwartet, dass sie das Modellexperiment nutzen, um ein Original zu erklären. Dazu führen auch sie einen Ähnlichkeitsvergleich zwischen Modellexperiment und

Original durch. Übertragen auf das Feld der Modellexperimente basieren die strukturellen Ähnlichkeiten einer festgesetzten Ähnlichkeitsbeziehung auf funktionellen Merkmalen, z.B. die (physikalischen und/oder chemischen) Eigenschaften einer Substanz sowie deren chemische Struktur. Strukturmerkmale sind Merkmale, die gegeben sein müssen, damit die im Modellexperiment zu modellierende chemische Reaktion ausgelöst wird. Davon abzugrenzen sind Oberflächenmerkmale. Sie sind sichtbare Merkmale (Kircher, 1995), z.B. die wörtliche Bezeichnung der Substanz und die äußere Erscheinungsform (z.B. Farbe), die jedoch keinen Einfluss auf die im Modellexperiment zu modellierende chemische Reaktion haben. Strukturmerkmale sind – im Gegensatz zu Oberflächenmerkmalen – relevant für das Verständnis des zugrundeliegenden fachlichen Konzeptes (Beller & Bender, 2010; Kircher, 1995). Empirisch ist nicht geprüft, in welcher Art und Weise die konkrete Auseinandersetzung mit Modellexperiment und Original im Detail von den Schülerinnen und Schülern erfolgt. Um die Struktur und Qualität des Analogiebildungsprozesses beim Umgang mit Modellexperimenten am Beispiel der Mehlstaubexplosion zu untersuchen, wurde folgende Frage gestellt:

Welche Mikrostrukturen des Analogienutzungsprozesses von Lernenden können beim Umgang mit Modellexperimenten identifiziert werden?

An der Pilotierung des Studiendesigns und der Testinstrumente nahmen  $N = 95$  Schülerinnen und Schüler (Alter (MEAN) = 12,8 Jahre) der 7. Jahrgangsstufe von drei Gymnasien des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen teil. Sie wurde am Ende des zweiten Schulhalbjahres 2017 während eines eigens dafür entwickelten Schülerlaborprojektes „Feuer(löschen) im Schülerlabor“ im Alfried-Krupp Schülerlabor der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt. Dabei wurden das Design und die Instrumente in verschiedenen Projekttagen während der Pilotierung weiterentwickelt. Die Festlegung auf die Jahrgangsstufe 7 ist auf den fachlichen Kontext „Brände und Brandbekämpfung“ zurückzuführen, der im aktuellen Kernlehrplan in dieser Jahrgangsstufe verortet ist (KLP NRW, 2008). Im Mittelpunkt des Projektes stehen fünf Experimente, die dem Themenfeld „Brände und Brandbekämpfung“ zuzuordnen sind und als Stationenlernen arrangiert sind.

Die Datenerhebung erfolgte im Pre- und Posttest mit schriftlichen und mündlichen Befragungsinstrumenten. Die Methode „Lautes Denken“ (Van Someren et al., 1994) wurde ausgewählt und eingesetzt, um die Denkprozesse beim Umgang mit dem Modellexperiment zur Staubexplosion und dem intendierten Original – Mehlstaubexplosion der Bremer Rolandmühle 1979 – zu identifizieren. Zunächst wurde an dieser Station ein Modellexperiment zur Staubexplosion durchgeführt und protokolliert. Im Anschluss daran wurde eine Musterlösung vorgelesen, sodass alle Schülerinnen und Schüler dieselbe Beobachtung als Grundlage hatten. Danach sollten sie einen Text lesen, in dem die Explosion der Bremer Rolandmühle rudimentär beschrieben wurde. Die Lernenden erhielten nachfolgend eine Aufgabe, in der sie Modellexperiment und Original vergleichen sollten und wurden aufgefordert, ihre Gedanken unmittelbar im Zuge der Aufgabenbearbeitung in Worte zu fassen („Introspektion“, Konrad, 2010). Ihre Antworten wurden audiographiert. Die Introspektion wurde durch ein direkt anknüpfendes leitfadengestütztes Interview ergänzt, welches ermöglichen sollte, nicht artikulierte Vergleichsprozesse zu identifizieren. Von  $N_K = 76$  Schülerinnen und Schülern, für welche jeweils ein kompletter Datensatz vorliegt, konnten  $N_L = 63$  Laut-Denk-Protokolle (50 Einzelprotokolle und 13 Partnerprotokolle) erhalten werden. Bei der Betrachtung dieses Forschungsvorhabens wird deutlich, dass die Auswertung des Datenmaterials nicht losgelöst von dem Kontext „Explosion“ erfolgen kann. Daher können zwei Auswertungsdimensionen festgelegt werden: eine inhaltliche und eine prozesshafte Dimension. Die inhaltliche Dimension bezieht sich auf die Elemente des Explosionskonzeptes und deren Niveau. Die prozessbezogene Dimension bezieht sich auf

die Subprozesse, welche Elemente des Analogiedenkprozesses sind. Zur Entwicklung des Auswertungsinstruments wurde sich für das deduktiv-induktive Vorgehen mittels qualitativer Inhaltsanalyse entschieden (Mayring, 2010).

Die in Abbildung 1 aufgeführten Prozesse beim Analogiedenken wurden theoriegeleitet entwickelt und sollen auf Grundlage der durchgeführten Studie induktiv ergänzt und ausdifferenziert werden. Zum momentanen Zeitpunkt befindet sich der Kodierleitfaden in der Entwicklung – konkret in dem Schritt, in dem die konkreten Definitionen, Ankerbeispiele und Kodierregeln zu den einzelnen Kategorien trennscharf anhand der transkribierten Audiodateien (Dresing & Pehl, 2011) formuliert werden.

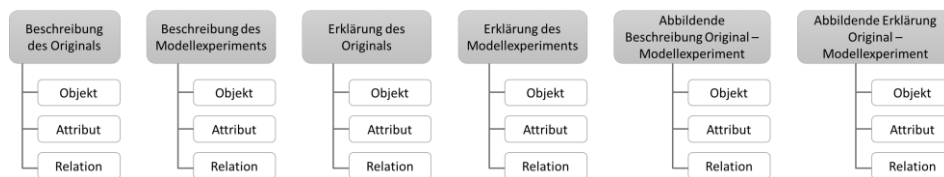


Abb. 1: Prozesse beim Analogiedenken (nach Gentner 1989; Klein, Piacente-Cimini & Williams, 2007), bisher kein Anspruch auf Vollständigkeit

Des Weiteren wurden folgende Kontrollvariablen erhoben: soziodemographische Variablen (Alter, Geschlecht, Muttersprache und Schulleistung), Interesse am Fach Chemie (verändert nach Baumert et al., 1986), Kognitive Fähigkeits-Test (KFT) mit der Subskala figurale Analogien (Heller & Perleth, 2000) sowie fachliches Vorwissen zum Konzept der Explosion (verändert nach Steff, 2015).

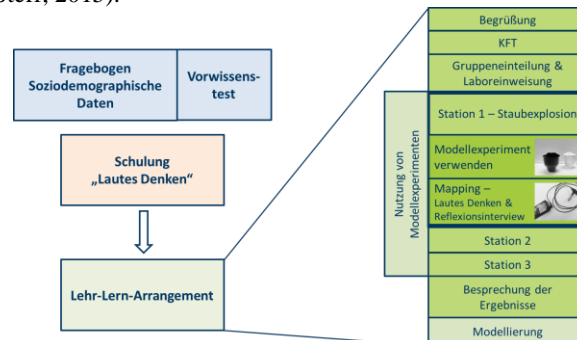


Abb. 2: Forschungsdesign

Nach der Fertigstellung des Kodierleitfadens wird dieser pilotiert und in der Hauptstudie auf die Daten, die im ersten Schulhalbjahr 2017/2018 erhoben werden, angewendet.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass die Methode Lauten Denkens wichtige Hinweise auf die Denkprozesse ermöglicht. Dabei geben die Schülerinnen und Schüler Aussagen in beide Dimensionen – inhaltliche und prozesshafte – wieder. Jedoch ist die Methode für eine vollständige Aufdeckung von Denkmustern nicht ausreichend. Bei der Entwicklung des Auswertungsinstrumentes ist zu beobachten, dass nicht alles, was im Kurzzeitgedächtnis vorhanden ist, von den Schülerinnen und Schülern auch versprachlicht wird. Deswegen wurde ein Leitfaden für ein an die Introspektion anknüpfendes Interview entwickelt, durchgeführt und als unerlässlich erachtet.

Zusätzlich wird deutlich, dass eine Auseinandersetzung mit den Analogiedenkprozessen beim Umgang mit Modellexperimenten förderlich ist, um Aussagen über konkrete Einflüsse durch die Konstitution von Modellexperimenten auf den Denkprozess treffen zu können.

### Literatur

- Baumert, J., Roeder, P.M., Sang, F., & Schmitz, B. (1986). Leistungsentwicklung und Ausgleich von Leistungsunterschieden in Gymnasialklassen. *Zeitschrift für Pädagogik* 32, 639-660.
- Beller, S., & Bender, A. (2010). *Allgemeine Psychologie – Denken und Sprache*. Reihe: Bachelorstudium Psychologie - Band 3, Göttingen: Hogrefe.
- Clement, J. (1978). The role of analogy in scientific thinking: Examples from a problem solving interview. University of Massachusetts, Department of Physics and Astronomy. (online: <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED287702.pdf>)
- Dresing, T., & Pehl, T. (2011). *Praxisbuch Transkription. Regelsysteme, Software und praktische Anleitungen für qualitative ForscherInnen*, 1. Auflage. Eigenverlag Marburg, S.15ff.
- Duit, R. (1990). Trends der Forschung zum naturwissenschaftlichen Denken – von Alltagsvorstellungen zur konstruktivistischen Sichtweise. In: *Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven*. Hrsg. Von der GDGP, Kiel. Alsbach/Bergstraße: Leuchtturm-Verlag, 112-131.
- Duit, R. (1995). Analogien unter der Lupe. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* 27, 11-14.
- Duit, R., Roth, W.-M., Komorek, M., & Wilbers, J. (2001). Fostering conceptual change by analogies – between Scylla and Charaybdis. *Learning and Instruction*, 11, 283-303.
- Falkenhainer, B., Forbus, K. D., & Gentner, D. (1989). The structure-mapping engine: Algorithm and examples. *Artificial Intelligence* 41 (1), 1-63.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (S. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gentner, D., Rattermann, M. J., & Forbus, K. D. (1993). The role of similarity in transfer: Separating retrievability from inferential soundness. *Cognitive Psychology*, 25, 524-575.
- Heller, K. A., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision*. Göttingen: Beltz.
- Holyoak, K. J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, 15, 332-240.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical Mapping by Constraint Satisfaction. *Cognitive science* 13 (3), 295-355.
- Kircher, E. (1995). *Studien zur Physikdidaktik. Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen*. Kiel: IPN.
- Klein, P. D., Piacente-Cimini, S., & Williams, L. A. (2007). The role of writing in learning from analogies, *Learning and Instruction* 17, 595-611.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2008). *Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen: Chemie (1st ed.)*. Frechen: Ritterbach Verlag.
- Kalogerakis, K. (2010). *Innovative Analogien in der Praxis der Produktentwicklung*, Wiesbaden: Gabler.
- Konrad, K. (2010). *Lautes Denken*. In: G. Mey, K. Mruck (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag für Sozialwissenschaften
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Paatz, R. (2002). *Charakteristika analogiebasierten Denkens – Vergleich von Lernprozessen in Basis- und Zielbereich*. Berlin: Logos Verlag.
- Schulz, A. (2011). Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht: Eine Videostudie. In: H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.). *Studien zum Physik und Chemielernen*. Band 113. Berlin: Logos Verlag.
- Schwering, A., Krumnack, U., Kühnberger, K. U., & Gust, H. (2009). Syntactic Principles of Heuristic-Driven Theory Projection. *Journal of Cognitive Systems Research* 10 (3), 251-269.
- Steff, H. (2015). *Untersuchungen über Modellexperimente des Chemieunterrichts – dargestellt am Beispiel der Mehlstaubexplosion*. Dissertation. Ruhr-Universität Bochum.
- Vosniadou, S., & Ortony, A. (1989). Similarity and analogical reasoning. A synthesis. In: S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (S. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Wharton, C. M., Holyoak, K. J., Downing, P. E., Lange, T. E., Wickens, T. D., & Melz, E. R. (1994). Below the surface: Analogical similarity and retrieval competition in reminding. *Cognitive Psychology*, 26, 64-101.