

Wie nutzen Studierende Repräsentationen zur Komplexchemie?

Theorie & Problemlage

Beim Lernen chemischer Fachkonzepte (Rau, 2017) und bei Problemlöseprozessen (Kozma, Chin, Russell, & Marx, 2000) spielen Repräsentationen eine zentrale Rolle. Chemiker:innen nutzen eine große Bandbreite an zwei- und drei-dimensionalen Repräsentationen, wie Diagramme, Graphen, Strukturformeln oder Reaktionsgleichungen, um nicht sichtbare chemische Phänomene zu verstehen und darzustellen (Harle & Towns, 2011; Rau, 2017). Unter Repräsentationen verstehen wir in diesem Projekt externe visuell-graphische (z. B. Kugel-Stab-Modelle) und symbolische (z. B. Reaktionsgleichungen) Visualisierungen, sowie hybride Formen daraus (z. B. Keilstrichformeln). Daher werden verbal-textliche Repräsentationen (gesprochener und geschriebener Text) hier ausgeklammert (Schnotz & Bannert, 2003; Nitz, 2012; Dickmann, 2019). Das Lernen mit Repräsentationen geht dabei mit einem Problem einher, das Rau (2018) als Repräsentationsdilemma bezeichnet: Lernende müssen chemische Inhalte, die sie noch nicht verstehen mit Repräsentationen lernen, die sie ebenfalls noch nicht verstehen. Um dieses Dilemma zu überwinden, müssen Lernende Repräsentationskompetenzen entwickeln, die einen erfolgreichen Umgang mit Repräsentationen ermöglichen (Rau, 2018).

In diesem Projekt werden die Lower-Level Skills *Interpretation*, *Translation* und *Konstruktion* (Abb. 1) von Kozma und Russell (2007) zugrunde gelegt (Nitz, 2012; Gurung, Jacob, Bunch, Thompson, & Popova, 2022). Diese Fähigkeiten stellen die Grundlage für das Arbeiten mit Repräsentationen dar (Kozma & Russell, 2007) und korrespondieren mit den drei Kriterien für den erfolgreichen Umgang mit Repräsentationen von Gilbert (2008). Des Weiteren stellen sie die Basis für die drei Higher-Level Skills *Kritik*, *Epistemologie* und *Argumentation* dar (Gurung et al., 2022).

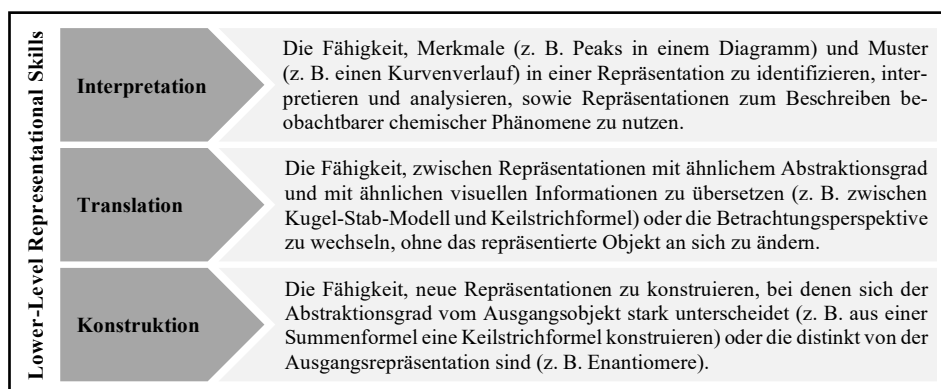


Abb. 1: Lower-Level Representational Skills mit Definitionen (Kozma & Russell, 2007; Nitz, 2012; Gurung et al., 2022).

Selbst mit elaborierten Repräsentationskompetenzen können chemische Repräsentationen eine Herausforderung darstellen. Besonders Darstellungen chemischer Verbindungen und

ihres räumlichen Aufbaus sind herausfordernd, da sie einen hohen Grad an räumlicher Abstraktion erfordern (Rau, 2017). Dementsprechend werden neben Fachwissen und Repräsentationskompetenzen noch räumliche Fähigkeiten benötigt, also die Fähigkeiten, mental abstrakte visuelle Bilder zu erzeugen, zu manipulieren und abzuspeichern (Lohman, 1979, S. 126). Die räumlichen Fähigkeiten können mithilfe der Cattell-Horn-Carroll-Theorie in verschiedene Faktoren differenziert werden, wie beispielsweise die Fähigkeit, Objekte mental drei-dimensional zu rotieren (*Spatial Relation*) oder die Fähigkeit, Muster in einem ablenkenden Umfeld zu erkennen (*Flexibility of Closure*) (Ekstrom et al., 1976; Schneider & McGrew, 2012). Zwar gibt es bereits Forschung über den Zusammenhang von Repräsentationen, Repräsentationskompetenzen, Fachwissen und räumlichen Fähigkeiten, allerdings berücksichtigen diese lediglich einige dieser Faktoren. Diese Faktoren sind stark miteinander verknüpft und spielen beim Arbeiten mit chemischen Repräsentationen eine besondere Rolle. Daher soll in der ersten Teilstudie dieses Projekts näher beleuchtet werden, wie Studierende mit Repräsentationen arbeiten, welche kognitiven Prozesse dabei ablaufen und welche Hindernisse sich dabei ergeben.

Forschungsfragen

Aus der Theorie und der skizzierten Forschungslücke lassen sich für die erste Teilstudie folgende Forschungsfragen ableiten:

FF1 Welche kognitiven Prozesse externalisieren Studierende bei der *Interpretation, Translation* und *Konstruktion* von Keilstrichformeln und Kugel-Stab-Modellen im Bereich der Komplexchemie?

FF2 Welche Hindernisse externalisieren Studierende bei der *Interpretation, Translation* und *Konstruktion* von Keilstrichformeln und Kugel-Stab-Modellen im Bereich der Komplexchemie?

Methodik

Zur Untersuchung der Forschungsfragen haben wir einen qualitativen Ansatz mit der Methode des *Lauten Denkens* gewählt. Chemiestudierende haben repräsentationsbasierte Chemieaufgaben bearbeitet und dabei ihre Gedanken verbalisiert, wobei sie videographiert wurden. Die Videos spielen hier eine wichtige Rolle, um Gesten und Handbewegungen zu erfassen, die beispielsweise die Rotation eines Objekts gestisch nachbilden sollen. Diese wurden mit MAXQDA 2022 transkribiert und durch eine qualitative Inhaltsanalyse ausgewertet: Für FF1 wurde ein deduktiv festgelegtes und für FF2 ein induktiv entwickeltes Kategoriensystem angewendet (Mayring & Fenzl, 2019). In Tabelle 1 sind die (Ober)Kategorien dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der Kategorien bzw. Selektionskriterien für die Kodierung.

Kategorien für die Externalisierung kognitiver Prozesse (FF1)

Verbalisieren von Fakten- & Konzeptwissen

Explizite Verbalisierungen von Fakten- und Konzeptwissen, das nicht aus der Repräsentation abgeleitet werden kann, wie Definitionen, die Benennung von Stoffen, oder Fachwissen über Repräsentationen.

Verbalisieren von Repräsentationsmerkmalen

Verbalisierung von Merkmalen und Mustern einer Repräsentation, der Vergleich multipler externer Repräsentationen oder die Externalisierung von internen in externe Repräsentationen (z. B. Skizzen).

Externalisieren von räumlichen Operationen

Verbalisierungen zum räumlichen Bau eines Komplexes, Beschreibungen von mentalen Manipulationen, wie der Rotation oder Spiegelung eines Komplexes, und Gesten, die diese Strukturen/Prozesse simulieren.

Selektionskriterien für die Identifikation von Hindernissen (FF2)

Explizit verbalisierte Hindernisse

Eine Person verbalisiert, dass sie Aufgaben als schwierig empfindet, dass sie nicht weiterweiß oder ratlos ist (Dörner, 1976; Göhner & Krell, 2021).

Implizite Hindernisse

(1) Eine Person macht längere Pausen beim lauten Denken, (2) bearbeitet eine Aufgabe unsicher, (3) bringt fehlerhafte Informationen ein, die das erfolgreiche Lösen einer Aufgabe verhindern oder (4) tätigt Aussagen, die distinkt zu selbst gestalteten Repräsentationen sind (Dörner, 1976; Göhner & Krell, 2021).

Datenerhebung

Zunächst wurde ein Testheft mit repräsentationsbasierten Chemieaufgaben für die Datenerhebung entwickelt. Für jede der drei Lower-Level Representational Skills (Abb. 1) wurde ein Aufgabenblock entwickelt. Alle Aufgaben fokussieren Inhalte aus der Komplexchemie, da diese einen hohen Bezug zu räumlichen Fähigkeiten bieten. Dies spiegelt sich in den zwei für die Aufgaben gewählten Repräsentationsformen wider: Kugel-Stab-Modelle als drei-dimensionale und Keilstrichformeln als zwei-dimensionale Visualisierungen für Komplexe (Stieff, et al., 2018). Diese Repräsentationsformen sind aus der Sichtung von 15 Standardlehrwerken an deutschen Hochschulen für anorganische Chemie als gängig für die Visualisierung von Komplexen hervorgegangen.

Die Aufgaben wurden so formuliert, dass diese ohne Unterbrechung bearbeitet werden konnten. Zusätzlich wurde unterstützendes Material in Form von Tipp-Kärtchen mit relevantem Fachwissen bereitgelegt, das für das Lösen der Aufgaben benötigt wurde.

An der Studie haben 25 Lehramtsstudierende ($n_{\text{♀}} = 17$, $n_{\text{♂}} = 8$) im Alter zwischen 20 und 26 Jahren ($M = 22.04$, $SD = 1.73$) im Sommer 2023 teilgenommen. Alle Studierenden hatten bereits Vorwissen zur Komplexchemie.

Erste Ergebnisse

Für die Kodierung der externalisierten kognitiven Prozesse zeigt sich eine substantielle Übereinstimmung (Landis & Koch, 1977) zwischen den Codern von $\kappa = .65$ (Brennan & Prediger, 1981) beim Vergleich von drei Transkripten mit einer Codeüberlappung von 90 %. Die Übereinstimmung für *Verbalisieren von Fakten- & Konzeptwissen* (Tab. 1) ist am geringsten und bedarf einer Anpassung und Erweiterung mit Beispielen und Gegenbeispielen.

Erste Eindrücke deuten darauf hin, dass die Studierenden für die *Interpretation* neben den Repräsentationsmerkmalen auf Fakten- und Konzeptwissen zurückgreifen, nicht aber auf räumliche Fähigkeiten. Bei der *Translation* und *Konstruktion* scheint es genau umgekehrt zu sein. Hier scheinen lediglich die Repräsentationsmerkmale und räumliche Fähigkeiten für die Bearbeitung relevant zu sein. Weitere Analysen hierzu stehen aus.

Ausblick

Aktuell gibt es keine empirische Bestätigung des Modells in Abbildung 1. Ebenso gibt es kein dafür geeignetes Testinstrument. Daher soll im zweiten Teil des Projekts ein Instrument zur Messung der drei Lower-Level Representational Skills konstruiert werden, mit dem sich das Modell empirisch prüfen lässt. Dieser Test soll anschließend gemeinsam mit psychometrischen Tests zu verschiedenen Faktoren räumlicher Fähigkeiten eingesetzt werden, um den Zusammenhang zwischen den beiden Konstrukten detaillierter zu beleuchten.

Literatur

- Brennan, R. L., & Prediger, D. J. (1981). Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), S. 687-699. doi:10.1177/001316448104100307
- Dickmann, T. (2019). Visuelles Modellverständnis und Studienerfolg in der Chemie - Zwei Seiten einer Medaille. In H. Niedderer, H. Fischler, & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Bd. 286). Berlin: Logos.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Derman, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton (NJ): Education Testing Service.
- Göhner, M., & Krell, M. (2021). Was ist schwierig am Modellieren? Identifikation und Beschreibung von Hindernissen in Modellierungsprozessen von Lehramtsstudierenden naturwissenschaftlicher Fächer. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, S. 155-180. doi:10.1007/s40573-021-00131-4
- Gurung, E., Jacob, R., Bunch, Z., Thompson, B., & Popova, M. (2022). Evaluating the Effectiveness of Organic Chemistry Textbooks for Promoting Representational Competence. *Journal of Chemical Education*, 99(5), S. 2044-2054. doi:10.1021/acs.jchemed.1c01054
- Harle, M., & Towns, M. (2011). A Review of Spatial Ability Literature, Its Connection to Chemistry, and Implications for Instruction. *Journal of Chemical Education*, 88(3), S. 351-360. doi:10.1021/ed900003n
- Kozma, R., & Russell, J. (2007). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Hrsg.), *Visualization in Science Education* (S. 121-146). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/1-4020-3613-2_15
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The Roles of Representations and Tools in the Chemistry Laboratory and Their Implications for Chemistry Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 9(2), S. 105-143. doi:10.1207/s15327809jls0902_1
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), S. 159-174. doi:10.2307/2529310
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial Ability: A Review and Reanalysis of the Correlational Literature*. Stanford: Aptitude Research Project, School of Education, Stanford University.
- Mayring, P., & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur, & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 633-648). Wiesbaden: Springer.
- Nitz, S. (2012). *Fachsprache im Biologieunterricht : Eine Untersuchung zu Bedingungsfaktoren und Auswirkungen*. Kiel: Christian-Albrechts-Universität.
- Rau, M. A. (2017). Do Knowledge-Component Models Need to Incorporate Representational Competencies? *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27(2), S. 298-319. doi:10.1007/s40593-016-0134-8
- Rau, M. A. (2018). Making connections among multiple visual representations: how do sense-making skills and perceptual fluency relate to learning of chemistry knowledge? *Instructional Science*, 46(2), S. 209-243. doi:10.1007/s11251-017-9431-3
- Schneider, J., & McGrew, K. (2012). The Cattell-Horn-Carroll (CHC) Model of Intelligence. In D. P. Flanagan, & E. M. McDonough (Hrsg.), *Contemporary Intellectual Assessment - Theories, Tests, and Issues* (S. 99-144). New York: Guilford Publications.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), S. 141-156. doi:10.1016/S0959-4752(02)00017-8
- Stieff, M., Origenes, A., DeSutter, D., Lira, M., Banevicius, L., Tabang, D., & Cabel, G. (2018). Operational Constraints on the Mental Rotation of STEM Representations. *Journal of Educational Psychology*, 110(8), S. 1160-1174. doi:10.1037/edu0000258