

Untersuchung von Repräsentationskompetenzen & Fachwissen in der Chemie

Problemlage & Theorie

Chemiker:innen sind zur Kommunikation über chemische Phänomene auf Repräsentationen angewiesen, da sie diese Phänomene mit einer nicht beobachtbaren Welt beschreiben und erklären (Bucat & Mocerino, 2009; Chiu & Wu, 2009). Um mit Repräsentationen zu arbeiten und zu lernen, bedarf es jedoch eines fundierten chemischen Fachwissens, was ein Repräsentationsdilemma impliziert: Lernende müssen unbekannte Fachinhalte mit zunächst nicht verständlichen Repräsentationen erarbeiten. Um dieses Repräsentationsdilemma zu überwinden, ist der Erwerb von Repräsentationskompetenzen (RK) notwendig (Rau, 2018). In diesem Projekt stützen wir uns auf die von Kozma und Russell (1997, 2005) postulierten RK, die sie aus Novizen-Experten-Vergleichen abgeleitet haben, die durch Nitz (2012) und Gurung et al. (2022) weiter kategorisiert wurden (Tab. 1). Die lower-level Skills *Interpretation*, *Translation* und *Konstruktion* stellen grundlegende Fähigkeiten zur Arbeit mit Repräsentationen dar und bilden das Fundament zur Entwicklung der higher-level Skills *Vergleich & Kritik*, *Epistemologie* und *Argumentation* (Gilbert, 2008; Gurung et al., 2022). Aus diesem Grund werden letztere in diesem Projekt ausgeklammert, auch da diese strukturell unterschiedliche Anforderungen an ihre Operationalisierung stellen.

Aufgrund der konzeptionellen Nähe der Fähigkeiten *Translation* und *Konstruktion* wurden die lower-level Skills mit der in dieser Arbeit zugrunde gelegten Kategorisierung von Repräsentationen für eine eindeutige Operationalisierung verknüpft (Tab. 1). Unter Repräsentationen verstehen wir symbolisch-mathematische (z. B. Summenformeln und Gleichungen) und visuell-graphische (realistische und logische Bilder, z. B. Kugel-Stab-Modelle) Repräsentationen (Tsui, 2003; Wu & Puntambekar, 2012), sowie hybride Formen (z. B. Keilstrichformeln) daraus (Talanquer, 2022). Diese können anhand des Abstraktionsgrads charakterisiert werden, wobei mit zunehmendem symbolisch-mathematischen Anteil einer Repräsentation auch der Abstraktionsgrad zunimmt (Talanquer, 2022).

Tab. 1: Verknüpfung der lower-level Skills der RK (Kozma & Russell, 1997, 2005) mit der Konzeptualisierung von Repräsentationen und des Abstraktionsgrads.

Skill	Beschreibung: Die Fähigkeit, ...
<i>Interpretation</i>	Merkmale und Muster in einer Repräsentation zu identifizieren, interpretieren und analysieren, sowie Repräsentationen zum Beschreiben beobachtbarer chemischer Phänomene zu nutzen.
<i>Translation</i>	zwischen Repräsentationen mit ähnlichem Abstraktionsgrad und ähnlichen visuellen Informationen zu übersetzen und die Betrachtungsperspektive zu wechseln, ohne das repräsentierte Objekt zu ändern.
<i>Konstruktion</i>	neue Repräsentationen zu konstruieren, bei denen sich der Abstraktionsgrad vom Ausgangsobjekt stark unterscheidet oder die distinkt von der Ausgangsrepräsentation sind.

Forschungsfragen

Das von Kozma und Russell (1997, 2005) postulierte Modell wird in der chemiebezogenen Bildungsforschung häufig genutzt. Bis jetzt liegt jedoch keine empirische Evidenz vor, die dieses Modell bestätigt. Des Weiteren gibt es aktuell kein adäquates Instrument, um das Modell empirisch zu untersuchen. Instrumente wie das *Chemical Representation Inventory* (Taskin et al., 2015) und der *Test of Representational Competence* (Sim & Daniel, 2014) erheben zwar RK, differenzieren dabei jedoch nicht zwischen einzelnen Fähigkeiten (Tab. 1) und messen mit einzelnen Items potenziell eher das chemische Fachwissen als RK. Aus den dargestellten Forschungslücken lassen sich folgende Forschungsfragen ableiten:

FF1 Inwieweit lassen sich die drei lower-level Skills der RK *Interpretation*, *Translation* und *Konstruktion* in der Chemie empirisch trennen?

FF2 Inwieweit hängen die drei lower-level Skills der RK *Interpretation*, *Translation* und *Konstruktion* mit dem deklarativen Fachwissen in Chemie zusammen?

Methodik & Design

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurde ein Testheft zur Messung der RK und des allgemeinen Fachwissens entwickelt (s. u.). Dieses wurde mithilfe multidimensionaler Rasch Analysen evaluiert, durch die metrisch skalierte Itemschwierigkeiten und Personenfähigkeiten generiert wurden. Anschließend wurden ergänzend Korrelationsanalysen zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Konstrukten und Fähigkeiten genutzt.

Datenerhebung

Zur Messung der lower-level Skills der RK wurde das *Chemical Representation Inventory: Translation, Interpretation, Construction* (CRI:TIC) entwickelt. Dazu wurden 17 repräsentationsbasierte Items im geschlossenen und halboffenen Format adaptiert (Averbeck, 2021; Sim & Daniel, 2014; Taskin et al., 2015) und 21 Items neu entwickelt. Die theoretisch begründete Zuordnung der Items zu den jeweiligen Skills wurde durch ein Rating dreier Expert:innen bestätigt ($\kappa_{\text{Fleiss}} = .87$): 14 Items für Interpretation, 11 Items für Translation und 13 Items für Konstruktion. Inhaltlich decken die Items verschiedenen Bereiche der Chemie ab. Zur Messung des Fachwissens wurden 18 rein verbal-textliche (Tsui, 2003; Wu & Puntambekar, 2012) Items im geschlossenen Format adaptiert (Averbeck, 2021), die sich inhaltlich mit den Items des CRI:TIC überschneiden.

Der CRI:TIC wurde gemeinsam mit den Fachwissensitems in einem Chemie-Vorkurs für Studieneinsteiger:innen vor Start des Wintersemesters 2023/24 eingesetzt. Insgesamt haben $N = 185$ Studierende ($n_{\text{♀}} = 130$, $n_{\text{♂}} = 53$, $M_{\text{Alter}} = 19.34$, $SD_{\text{Alter}} = 1.90$) teilgenommen.

Ergebnisse

FF1 - Zur Evaluation des CRI:TIC und zur Untersuchung der Struktur des Modells von Kozma und Russell (1997, 2005) wurden theoriebasiert drei Modelle abgeleitet: ① eindimensional (Int+Trans+Konst), ② zweidimensional (Int; Trans+Konst), ③ drei-dimensional (Int; Trans; Konst). Für diese Modelle wurden zunächst Item- und Modell-Fit Statistiken betrachtet und auf dieser Basis insgesamt 5 der 38 Items aussortiert, da diese inhaltliche Diskrepanzen zeigten, einen schlechten Item-Fit aufwiesen oder zu schwierig waren. Die verbleibenden 33 Items zeigen für alle drei Modelle ①-③ einen guten Item- und Modell-Fit (Tab. 2, mittlere Spalte, oben). Im Modellvergleich zeigt sich jedoch ein ambivalentes Bild, sodass keines der Modelle eindeutig bestätigt werden kann (Tab. 2, mittlere Spalte, unten). Aus diesem Grund wird das einfachste Modell (das eindimensionale Modell ①), angenommen.

Tab. 2: Item- und Modell-Fit zur Evaluation der eingesetzten Items mit Modellvergleich zur Untersuchung der Dimensionalität der RK (FF1) bzw. zur Trennung von RK und FW (FF2).

	FF1: Evaluation CRI:TIC			FF2: Trennung RK & FW	
Item-Fit Statistiken	Modelle ①-③			Modelle ④-⑤	
<i>outfit</i> ¹	0.63 ≤ <i>outfit</i> ≤ 1.39			0.73 ≤ <i>outfit</i> ≤ 1.51	
<i>infit</i> ²	0.80 ≤ <i>infit</i> ≤ 1.21			0.86 ≤ <i>infit</i> ≤ 1.25	
Reliabilität der Messung der Personenfähigkeit					
<i>WLE-Reliabilität</i>	0.53 ≤ <i>Rel</i> _{WLE} ≤ 0.86			0.61 ≤ <i>Rel</i> _{WLE} ≤ 0.88	
Modell-Fit Statistiken					
<i>SRMR</i> ³	0.087			0.098 ≤ <i>SRMR</i> ≤ 0.100	
<i>aQ3-Statistik</i> ⁴	-0.28 ≤ <i>aQ3</i> ≤ 0.35			-0.56 ≤ <i>aQ3</i> ≤ 0.35	
<i>MADaQ3</i> ⁵	0.07			0.07	
Modellvergleich	①	②	③	④	⑤
<i>AICc</i> ⁶	7713	7716	7726	10949	10923
<i>saBIC</i> ⁷	7635	7631	7633	10795	10759

¹outlier- & ²inlier-sensitive Modellpassung; ³globaler Modell-Fit; ⁴lokale & ⁵globale Unabhängigkeit; ^{6,7}Modellgüte (stichprobenadjustiert)

FF2 - Zur Untersuchung der Trennbarkeit von chemischem Fachwissen (FW) und RK in dieser Studie wurde ein analoges Vorgehen wie für FF1 verwendet. Zwei Modelle wurden verglichen: ④ eindimensional (FW+RK) und ⑤ zweidimensional (FW; RK). Die RK entsprechen dabei dem Modell ① aus FF1. Die 18 Items zur Messung des FW wurden ebenfalls evaluiert und 2 Items aufgrund zu hoher Schwierigkeit ausgeschlossen. Beide Modelle zeigen vergleichbare und gute Item- und Modell-Fit Statistiken (Tab. 2, rechte Spalte, oben). Der Modellvergleich zeigt hier ein eindeutiges Bild, das für die Trennung der beiden Konstrukte spricht (Tab. 2, rechte Spalte, unten).

Die Korrelationsanalysen zeigen eine hohe Korrelation zwischen RK und FW ($r = 0.51$). Obwohl sich die dreidimensionale Struktur der lower-level Skills in dieser Studie empirisch nicht bestätigen lässt, ist eine getrennt Betrachtung aus chemiedidaktischer Perspektive aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen sinnvoll. Die drei lower-level Skills der RK korrelieren erwartet hoch miteinander ($0.56 \leq r \leq 0.65$).

Diskussion & Ausblick

FF1 - Die Evaluation des CRI:TIC zeigt einen guten Item- und Modell-Fit, was ihn als Instrument zur Messung der RK legitimiert. Die Dimensionsanalysen zeigen ein ambivalentes Bild, weshalb aus empirischer Sicht das einfachste Modell, das eindimensionale Modell ①, angenommen wird. Aus chemiedidaktisch-inhaltlicher Perspektive ist eine getrennte Betrachtung jedoch sinnvoll, was auch durch die eindeutige Zuordnung der Items zu den Fähigkeiten unterstrichen wird ($\kappa_{\text{Fleiss}} = .87$). Auch die hohe, aber nicht sehr hohe Korrelation zwischen den lower-level Skills legt dies nahe. Weitere quantitative Untersuchungen mit Berücksichtigung der räumlichen Fähigkeiten (z. B. Stieff et al., 2018), sowie qualitative Untersuchungen der RK sind daher sinnvoll und bereits in Vorbereitung.

FF2 - Die Studie liefert tragfähige Evidenz zur Trennbarkeit von RK und FW. Dies deckt sich mit Ergebnissen anderer Studien (z. B. Sim & Daniel, 2014) und hebt hervor, dass die Entwicklung von RK neben der Vermittlung von Fachwissen ein zentrales Ziel im Chemieunterricht und der Hochschullehre sein sollte, da Repräsentationen für Chemiker:innen unerlässlich sind.

Literatur

- Averbeck, D. (2021). Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums: Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen. Logos Verlag.
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the Sub-micro Level: Structural Representations. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Hrsg.), *Multiple Representations in Chemical Education* (Bd. 4, S. 11–29). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_2
- Chiu, M.-H., & Wu, H.-K. (2009). The Roles of Multimedia in the Teaching and Learning of the Triplet Relationship in Chemistry. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Hrsg.), *Multiple Representations in Chemical Education* (Bd. 4, S. 251–283). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_12
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Hrsg.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (S. 3–24). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5267-5_1
- 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), 2044–2054. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01054>
- Kozma, R., & Russell, 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. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199711\)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U)
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Hrsg.), *Visualization in Science Education* (S. 121–145). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8
- Nitz, S. (2012). Fachsprache im Biologieunterricht: Eine Untersuchung zu Bedingungsfaktoren und Auswirkungen. Christian-Albrechts-Universität.
- Rau, M. A. (2018). Supporting Representational Competences Through Adaptive Educational Technologies. In K. L. Daniel (Hrsg.), *Towards a Framework for Representational Competence in Science Education* (Bd. 11, S. 103–132). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-89945-9_6
- Sim, J. H., & Daniel, E. G. S. (2014). Representational competence in chemistry: A comparison between students with different levels of understanding of basic chemical concepts and chemical representations. *Cogent Education*, 1(1), 991180. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2014.991180>
- 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), 1160–1174. <https://doi.org/10.1037/edu0000258>
- Talanquer, V. (2022). The Complexity of Reasoning about and with Chemical Representations. *JACS Au*, 2(12), 2658–2669. <https://doi.org/10.1021/jacsau.2c00498>
- Taskin, V., Bernholt, S., & Parchmann, I. (2015). An inventory for measuring student teachers' knowledge of chemical representations: Design, validation, and psychometric analysis. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 460–477. <https://doi.org/10.1039/C4RP00214H>
- Tsui, C.-Y. (2003). Teaching and Learning Genetics with Multiple Representations [Unveröffentlichte Dissertation, Curtin University of Technology]. https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/1614/14027_Tsui_combined%20aha.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Wu, H.-K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical Affordances of Multiple External Representations in Scientific Processes. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 754–767. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9363-7>