

Tina Grottke<sup>1</sup>  
Rüdiger Tiemann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Humboldt-Universität zu Berlin

## Repräsentationswechsel zwischen molekularen Darstellungen

### Theoretischer Hintergrund

Externe Repräsentationen stellen in der Chemie für das Verständnis und die Kommunikation chemischer Phänomene und Inhalte einen essenziellen Bestandteil dar (Dickmann et al., 2019; Kozma & Russell, 1997; Taskin, Bernholt & Parchmann, 2015; Wu & Shah, 2004). Dabei kann unter anderem die molekulare Ebene durch verschiedene Darstellungsformen wie Summen- und Strukturformeln oder Kugel-Stab-Modelle repräsentiert werden, welche vielfach in bestehendem Lehr- und Lernmaterial Verwendung finden, um den Zugang zu nicht sichtbaren Prozessen zu ermöglichen (Dickmann et al., 2019; Hoffmann & Laszlo, 1991; Wu & Shah 2004). Zahlreiche Studien stellen jedoch heraus, dass Lernende Schwierigkeiten im Umgang mit eben diesen Darstellungen zeigen (Taskin & Bernholt, 2014; H.-K. Wu, Krajcik & Soloway, 2001; H.-K. Wu & Shah, 2004). Ein Schwierigkeitsbereich stellt die Translationsfähigkeit dar, welche das in Beziehung setzen von externen Repräsentationen und deren Überführung ineinander umfasst (Kozma & Russell, 1997, 2005; Keig & Rubba, 1993) und in der Repräsentationskompetenz verankert ist (Kozma & Russell, 1997, 2005). Bereits näher untersucht wurde die Strukturaufklärung der Translationsfähigkeit bei Studierenden mit Fokus auf die Übersetzung von bildhaft in symbolische Repräsentationen (Fleischer, 2017) sowie das Übersetzen zwischen chemischen Formeln, Elektronenkonfigurationen und Kugel-Stab-Modellen bei Lernenden ab der zehnten Jahrgangsstufe (Keig & Rubba, 1993). Dabei zeigten Lernende, wie bereits erwähnt, Defizite.

### Forschungsinteresse und Forschungsfragen

Für die Gestaltung von Lehr- und Lernmaterial sowie für die Vermittlung von chemischen Inhalten, welche in Zusammenspiel mit der Verwendung von chemischen Repräsentationen steht, besteht ein notwendiges Interesse in der Identifikation von anspruchsvolleren Übersetzungen zwischen Darstellungsformen der molekularen Ebene sowie von Prädiktoren. Dies bildet bislang ein Forschungsdesiderat, welches zum Forschungsinteresse hinsichtlich der Untersuchung der Translationsfähigkeit bezüglich repräsentationsspezifischer Einflussgrößen auf die Übersetzungsschwierigkeit sowie bezogen auf personenbezogene Einflussgrößen auf die Fähigkeit führt. Dabei richtet sich die Untersuchung an Lernende des schulischen Bereiches zum Ende der Sekundarstufe I mit Fokus auf Moleküldarstellungen. Daraus leiten sich folgende Forschungsfragen ab:

**FF1:** Welche Itemeigenschaften, basierend auf repräsentationsspezifischen Eigenschaften, zeigen einen empirischen Einfluss auf die Itemschwierigkeit (Übersetzungsschwierigkeit)?

**FF2:** Welche Zusammenhänge bestehen zwischen der Translationsfähigkeit im chemischen Kontext und personenspezifischen Eigenschaften?

Dieser Beitrag bietet einen Einblick in die Ergebnisse von FF2, für Einblicke in FF1 sei auf den Tagungsbandbeitrag im vorangegangenen Jahr verwiesen (Grottko & Tiemann, 2022). Für die Bearbeitung von FF2 wurden theoriegeleitet positive Zusammenhänge zwischen der Translationsfähigkeit und den personenbezogenen Eigenschaften fluide Intelligenz (I),

deklaratives Fachwissen (FW), räumliches Vorstellungsvermögen (rV), Mental Effort (ME), Gewissenhaftigkeit (G) und Offenheit (O) des Big5-Modells, Need for Cognition (NfC) und Interesse an Chemie (IC) angenommen. Negative Zusammenhänge werden zu den Variablen Mental Load (ML) und subjektiv wahrgenommenes Stressempfinden (S) angenommen.

### **Design und Methodik**

Für die Bearbeitung der Forschungsfragen wurde ein Testinstrument für die Erfassung der Translationsfähigkeit konzipiert. Dieses umfasst 90 Multiple-Choice-Aufgaben (Single-Select) zu Übersetzungen zwischen Summen-, Halbstruktur-, Valenzstrich-, Skelettformel sowie Kugel-Stab- und Kalottenmodell. Den Lernenden wurde dabei ein Molekül in einer der genannten Darstellungsweisen (z.B. Summenformel) gegeben, welche in eine andere Darstellungsweise (z.B. Skelettformel) überführt werden musste, indem diese aus den vier Antwortoptionen ausgewählt wird. Informationsfelder mit deklarativen Fachwissensaspekten wurden mit den Aufgaben präsentiert, damit die Erfassung der latenten Fähigkeit weitestgehend vom Fachwissen entlastet erhoben werden kann. Die Aufgaben wurden in einem Think-Aloud-Setting (N = 10) sowie in einer quantitativen Vorstudie (N = 225) pilotiert und validiert. Die Konzeption der Aufgaben orientierte sich dabei an erstellten Konstruktionsmanualen. Die Datenerhebung erfolgte über das digitale Umfragetool LimeSurvey, welches eine randomisierte Anordnung der Aufgaben sowie der Antwortoptionen möglich machte. Aus testökonomischen Gründen wurden die Aufgaben in einem Multi-Matrix Testheftdesign angeordnet, sodass jede Testperson 18 Aufgaben aus dem gesamten Aufgabenpool bearbeitete. Die für die FF2 vorgestellten Variablen wurden über standardisierte Testinstrumente erfasst, ausgenommen das deklarative Fachwissen, welches über einen selbst entwickelten und im Rahmen der Vorstudien pilotierten Test erhoben wurde. Für die Datenanalyse lagen 629 Datensätze von Schülern und Schülerinnen der 10. (Gymnasium) und 11. Jahrgangsstufe (ISS) der beiden in Berlin vorherrschenden weiterführenden Schulen vor, welche unter Anwendung der Item-Response-Theorie unter Rasch- und 2-PL-Annahme vorgenommen wurde. Diese eignet sich gerade für die Modellierung latenter Fähigkeiten (Hartig & Frey, 2013). Die zweite Forschungsfrage impliziert eine Zusammenhangsanalyse, welche über Plausible-Value-Ziehungen (PV) aus EAP-Verteilung der modellierten Fähigkeit (zehn Ziehungen) durchgeführt wird. Dies ermöglicht eine annähernd verzerrungsfreie Trendabschätzungen auf Populationsebene (Laukaiyte & Wiberg, 2017; von Davier et al., 2009; M. Wu, 2005). Demnach werden die Korrelations- und Regressionsanalysen in der Häufigkeit der PV-Ziehung durchgeführt und anschließend unter Anwendung der Regeln nach Rubin (1987) aggregiert.

### **Ergebnisse**

Zunächst wurden die Aufgaben zur Erfassung der Translationsfähigkeit mit einer mittleren Bearbeitungsanzahl von 126 IRT-skaliert. Die Itemfit-Statistiken und ICCs intendieren eine gute Passung der Aufgaben zu den modellspezifischen Aufgabeneigenschaften. Dabei ist das 2-PL dem Rasch-Modell bei guter Reliabilität (EAP/PV-Reliabilität = 0.83) zu bevorzugen (Likelihood-Ratio-Test). Die Wright-Map intendiert darüber hinaus eine breite Verteilung der Aufgaben über die Personenfähigkeitsintervalle unter 1.25 Logits. Der Großteil der Aufgaben ist dem mittleren Fähigkeitsniveau gegenübergestellt. Konkludierend ist die Verwendung der Aufgaben für die weiterführenden Analysen legitimiert.

Die Korrelationsanalyse unter Verwendung von Produkt-Moment-Korrelationen nach Pearson liefert erste Hinweise zu Zusammenhängen der Translationsfähigkeit mit personenbezogenen Eigenschaften. Dabei zeigen alle Variablen bis auf Gewissenhaftigkeit und Offenheit einen statistisch bedeutsamen Zusammenhang mit starken (FW), moderaten (I, ML, S) und schwachen (rV, NfC, ME, IC) Korrelationen (Tab. 1).

In einem nächsten Schritt erfolgte die Untersuchung der einzelnen Variablen bei Konstanthaltung der anderen über eine multiple Regressionsanalyse. Die Voraussetzungen multipler Regressionen wurden zuvor geprüft und konnten als erfüllt beurteilt werden. Die Prüfung auf Multikollinearität lieferte keine Hinweise für einen Ausschluss von Variablen, sodass alle genannten in das Modell aufgenommen wurden. Insgesamt klärt das Modell mit 47 % ( $R_{adj.}^2 = 0.47$ ) eine hohe Varianz der Translationsfähigkeit auf (Tab. 2). Dabei zeigen das räumliche Vorstellungsvermögen, Interesse an Chemie, Need for Cognition sowie Gewissenhaftigkeit und Offenheit keinen statistisch bedeutsamen Einfluss. Das deklarative Fachwissen weist einen moderaten Einfluss auf, Intelligenz, Mental Load, Mental Effort und subjektives Stressempfinden zeigen jeweils einen schwachen Einfluss auf die Translationsfähigkeit.

Tab. 1: Korrelationsanalyse

Variable	r	p
Fluide Intelligenz	.41	<.001
Räumliches Vorstellungsvermögen	.20	<.001
Deklaratives Fachwissen	.61	<.001
Need for Cognition	.28	<.001
Mental Load	-.46	<.001
Mental Effort	.23	<.001
Subjektives Stressempfinden	-.38	<.001
Big5.Gewissenhaftigkeit	.06	.160
Big5.Offenheit	.02	.556
Interesse an Chemie	.25	<.001

Tab. 2: Multiple Regressionsanalyse

Modell	R	$R_{adj.}^2$		
	0.69	0.47		
	$\beta$	SE $_{\beta}$	p	
Konstante	-0.01	0.04	.210	
Fluide Intelligenz	0.14	0.04	<.001	
Räumliches Vorstellungsvermögen	0.02	0.04	.167	
Deklaratives Fachwissen	0.41	0.04	<.001	
Mental Load	-0.21	0.04	<.001	
Mental Effort	0.12	0.03	<.001	
Need for Cognition	0.01	0.04	.175	
Subjektives Stressempfinden	-0.10	0.04	.004	
Big5.Gewissenhaftigkeit	-0.01	0.04	.221	
Big5.Offenheit	-0.01	0.03	.221	
Interesse an Chemie	0.01	0.04	.217	

Anm.: Beta-Koeffizienten stellen standardisierte Regressionskoeffizienten dar

### Zusammenfassung

Die Analysen zeigten, dass die Translationsfähigkeit bei molekularen Repräsentationen mit dem bei Lernenden zur Verfügung stehenden deklarativen Fachwissen einhergeht, wobei ein hoher Mental Load eine erfolgreiche Performanz behindert. Dies spiegelt sich ebenso beim subjektiv wahrgenommenen Stressempfinden wider, welches mit höherer Ausprägung eine schlechtere Translationsfähigkeit mit sich bringt. Gleichzeitig begünstigen Mental Effort und fluide Intelligenz die Translationsfähigkeit. Entgegen den theoriegeleiteten Annahmen konnten für räumliches Vorstellungsvermögen, Need for Cognition, Interesse an Chemie sowie Offenheit und Gewissenhaftigkeit unter Konstanthaltung aller anderen Variablen keine prädiktive Eigenschaft auf die Translationsfähigkeit identifiziert werden.

## Literatur

- Dickmann, T., Opfermann, M., Dammann, E., Lang, M. & Rumann, S. (2019). What you see is what you learn? The role of visual model comprehension for academic success in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 20 (4), 804-820.
- Fleischer, T. (2017). *Untersuchung der chemischen Fachsprache unter besonderer Berücksichtigung chemischer Repräsentationen*. Berlin: Logos.
- Grottko, T. & Tiemann, R. (2022). Facetten der mentalen Struktur beim Wechsel zwischen molekularen Repräsentationen. In: S. Habig & H. van Vorst (Ed.), *Unsicherheit als Element von Naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, virtuelle Jahrestagung 2021. (pp. 336-339).
- Hartig, J. & Frey, A. (2013). Sind Modelle der Item-Response-Theorie (IRT) das „Mittel der Wahl“ für die Modellierung von Kompetenzen? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 16 (1), 47-51. Zugriff auf <https://doi.org/10.1007/s11618-013-0386-0> doi: 10.1007/s11618-013-0386-0
- Hoffmann, R., & Laszlo, P. (1991). Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 30(1), 1-16. doi:10.1002/anie.199100013
- Keig, P. F., & Rubba, P. A. (1993). Translation of Representations of the Structure of Matter and its Relationship to Reasoning, Gender, Spatial Reasoning, and Specific Prior Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 883-903. doi:10.1002/tea.3660300807
- 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. doi: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 (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 121-145). Dordrecht: Springer.
- Laukaiyte, I. & Wiberg, M. (2017). Using plausible values in secondary analysis in largescale assessments. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 46 (22), 11341-11357. Zugriff auf <https://doi.org/10.1080/03610926.2016.1267764> doi: 10.1080/03610926.2016.1267764
- Rubin, D. B. (1987). *Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys* (Bd. 81). Wiley.
- Taskin, V., & Bernholt, S. (2014). Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, 36(1), 157-185. doi:10.1080/09500693.2012.744492
- 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. doi:10.1039/C4RP00214H
- von Davier, M., Gonzalez, E. & Mislevy, R. (2009). What are Plausible Values and Why are They Useful? In von Davier, M and Hastedt, Dirk (Hrsg.), *IERI Monograph Series: Issues and Methodologies in Large-Scale Assessments* (Bd. 2). IER Institute, Educational Testing Service.
- Wu, H.-K., Krajcik, J. S. & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (7), 821-842. Zugriff auf <https://doi.org/10.1002/tea.1033> doi: 10.1002/tea.1033
- Wu, H.-K., & Shah, P. (2004). Exploring Visuospatial Thinking in Chemistry Learning. *Science Education*, 88(3), 465-492. doi:10.1002/sci.10126
- Wu, M. (2005). The role of plausible values in large-scale surveys. *Studies in Educational Evaluation*, 31 (2-3), 114-128. Zugriff auf <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191491X05000209> doi: 10.1016/j.stueduc.2005.05.005