

David Kranz<sup>1</sup>  
Paul Martin<sup>1</sup>  
Michael Schween<sup>2</sup>  
Nicole Graulich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Justus-Liebig-Universität Gießen  
<sup>2</sup>Philipps-Universität Marburg

## **Analyse des Effekts verschiedener Aufgabenformate und Strukturierung auf den Lernerfolg**

### **Einleitung**

Reaktionsmechanismen sind ein essenzieller Bestandteil der Organischen Chemie, stellen aber dennoch viele Studierende vor Herausforderungen. Dabei handelt es sich beim mechanistischen Denken im Umgang mit Reaktionsmechanismen um eine Kernkompetenz der Disziplin (z. B. Caspari, Kranz & Graulich, 2018). Zum einen haben Lernende Schwierigkeiten damit implizite Merkmale aus expliziten Repräsentationen abzuleiten (Deng & Flynn, 2021). Zum anderen fokussieren sie sich auf einzelne Oberflächenmerkmale (Graulich & Bhattacharyya, 2017). Dabei führt das Einbeziehen impliziter Eigenschaften und Prozesse beim Denken über Mechanismen zu einer elaborierteren Argumentation (Weinrich & Sevian, 2017). Lehrpersonen erwarten darüber hinaus von Studierenden, dass sie die Konzepte, die sie in disziplinspezifischen Veranstaltungen gelernt haben, beim Lösen mechanistischer Probleme anwenden, bestenfalls über mehrere Kontexte hinweg.

### **Theoretischer Hintergrund und Forschungsdesiderat**

Dafür ist in vielen Fällen eine Förderung der Lernenden z. B. in Form lernförderlicher Aufgabenformate zielführend. Die Variation Theory (cf. Ling Lo, 2012) beschreibt, dass sich die Handlungsmöglichkeiten bezüglich eines Phänomens durch das Erweitern des Blickwinkels auf dieses erweitern lassen (Marton, Tsui, Chik, Ko & Lo, 2004). Dafür werden Merkmale variiert, um diese salienter zu machen (Ling Lo & Marton, 2011). Im Kontext von Reaktionsmechanismen kann dies durch Fallvergleiche geschehen (Graulich & Schween, 2018). Dabei werden zwei Schritte eines Reaktionsmechanismus gegenübergestellt, bei denen sich eines der Edukte in mindestens einem Strukturmerkmal unterscheidet. Dieses Aufgabenformat führt in verschiedenen Disziplinen zu mehr identifizierten Merkmalen (Alfieri, Nokes-Malach & Schunn, 2013) und wurde bereits in qualitativen Studien zur Förderung von mechanistischem Denken in der Chemie erfolgreich eingesetzt (z. B. Bodé, Deng & Flynn, 2019). Um Studierende darüber hinaus dabei zu unterstützen, wie sie beim Bilden kausal-elektronischer Argumente vorgehen müssen, können sie beim Lösen der Fallvergleiche durch Scaffolding angeleitet werden. Beim Scaffolding soll das Problemlösen gleichzeitig angeleitet und gefördert werden (Belland, 2011). Der Gedankenprozess wird dabei in mehrere Teilschritte sequenziert werden, um diesen zu entschleunigen (Caspari & Graulich, 2019) und Lernenden zu helfen die einzelnen Bestandteile eines Mechanismus miteinander zu verknüpfen (Caspari & Graulich, 2019; Watts, Zaimi, Kranz, Graulich & Shultz, 2021). Das Forschungsdesiderat dieses Projekts beruht auf dem Fehlen quantitativer Belege bezüglich der Wirksamkeit von (angeleiteten) Fallvergleichen auf den Lernzuwachs und der Beobachtung, dass angeleitete Fallvergleiche scheinbar nicht für alle Studierenden eine gleichgroße lernförderliche Wirkung zeigen konnten (Caspari & Graulich, 2019; Watts, Zaimi, Kranz, Graulich & Shultz, 2021). Als Ursache könnte in diesem Zusammenhang das

Vorwissen als maßgeblicher Einflussfaktor in Betracht gezogen werden. Studierende mit viel Vorwissen könnten durch die vorgegebene Struktur des Scaffolds in ihren eigenen Lösungsansätzen irritiert werden, was zu einer erhöhten kognitiven Belastung und schließlich zu einem Expertise Reversal Effect führen könnte (Kalyuga, 2007; Nückles, Hübner, Dümer & Renkl, 2010). Andererseits bringen Studierende mit viel Vorwissen mehr konzeptuelles Verständnis mit, welches mit Hilfe des Scaffolds vernetzt werden könnte. Bei Studierenden mit wenig Vorwissen könnten dagegen wichtige Ressourcen fehlen, die ein prozedurales Scaffolding nicht liefert, weshalb letztlich keine Lernförderung stattfindet. Andererseits könnten diese Studierenden bereits genug Konzepte mitbringen, die lediglich fragmentiert vorliegen und schließlich durch Scaffolding verknüpft, aktiviert und integriert werden können (Van Der Stuyf, 2002; Hammer, Elby, Scherr & Redish, 2005). Die Abhängigkeit der Wirksamkeit angeleiteter Fallvergleiche konnte teilweise in einer ersten Studie geklärt werden (Kranz, Schween & Graulich, 2023). Dabei profitierten besonders Studierende mit wenig Vorwissen von der Strukturierungshilfe durch den Scaffold.

### Studiendesign und Datenanalyse

Um quantitative Belege für eine höhere Lernförderung von (angeleiteten) Fallvergleichen im Vergleich zu traditionellen Einzelfall Aufgaben zu finden, wurde eine Prä-Post-Interventionsstudie mit  $N = 122$  Studierenden in OC1 Kursen an drei deutschen Universitäten durchgeführt. Die Studierenden sollten dabei vor und nach einer Problemlösephase einen Fachwissenstest mit geschlossenen und offenen Fragen beantworten. Dazwischen wurden die Studierenden in drei Gruppen eingeteilt (*sc* = Einzelfälle, *cc* = Fallvergleiche und *ccsf* = angeleitete Fallvergleiche). Innerhalb der Problemlösephase mussten die Studierenden das entsprechende Aufgabeformat als Teil des Treatments beantworten. Zur Auswertung der offenen Aufgaben des Fachwissenstest wurde ein literaturbasiertes, analytisches, binäres Coding angewendet. Der Code *produktiv* wurde vergeben, wenn die Studierenden die korrekte Antwort angeben konnten. Der Code *multivariat* wurde vergeben, wenn Studierende mehr als eine chemische Eigenschaft von einem mechanistischen Schritt identifizieren konnten. Dabei wurde die Annahme zugrunde gelegt, dass für eine vollständige Argumentation mehrere Eigenschaften identifiziert und deren Einfluss auf die Reaktion abgeschätzt werden muss (Kraft, Strickland & Bhattacharyya, 2010; Kranz, Schween & Graulich, 2023). Der Code *abwägen* wurde vergeben, wenn in einer Studierendenantwort die Eigenschaften von Strukturen aus zwei Reaktionsschritten miteinander verglichen wurden. Abwägen ist ein essenzieller Teil des wissenschaftlichen Argumentierens um Voraussagen zu belegen oder Gegenargumente zu widerlegen (Kuhn & Udell, 2003). Schließlich wurde der Code *elektronisch* vergeben, wenn Studierende die elektronische Struktur der beteiligten Moleküle in ihre Argumentation miteinbezogen. Elektronisches Argumentieren in der Chemie ist notwendig, um die dahinterliegenden Ursachen für das Ablaufen eines Mechanismus zu identifizieren (Krist, Schwarz & Reiser, 2019). Um die Arbeit während der Problemlösephase zu bewerten, wurden die Studierendenantworten entlang der Modes of Reasoning von Sevian & Talanquer (2014) eingestuft. Hierbei handelt es sich um ein hierarchisches Coding. Die Codes wurden anhand der Komplexität der Begründung für die Voraussage, welche Reaktion schneller ist, vergeben (Tabelle 1).

Tabelle 1. Coding System für die Aufgaben während der Problemlösephase.

Code	Begründung der Voraussage (Reaktion A oder B ist schneller)
keine Begründung	Keinerlei Begründung

beschreibend	Begründung anhand der Struktur ohne Verknüpfung der Struktur mit dem Reaktionsverlauf
relational	Begründung anhand einer Verknüpfung der Struktur der Moleküle mit dem Verlauf der Reaktion ohne kausalen Zusammenhang
linear-kausal	Begründung anhand einer einzelnen Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen der Struktur der Moleküle und dem Verlauf der Reaktion.
multikomponent	Begründung anhand mehrerer Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen der Struktur der Moleküle und dem Verlauf der Reaktion, die miteinander abgewogen werden.

### Ergebnisse und Implikationen

Die Daten wurden entsprechend der Musterlösungen und Codes bepunktet und ausgewertet. Nach der Auswertung der Daten konnten signifikante Zuwächse für die Gruppen *cc*,  $t(20) = 3.76, p = .004, r = .33$  und *ccsf*,  $t(23) = 3.30, p = .009, r = .23$  festgestellt werden, nicht aber für die Gruppe *sc*. Daraus ergibt sich, dass sich (angeleitete) Fallvergleiche grundsätzlich zur Lernförderung eignen. Unter Einbeziehung des Vorwissens als Kovariate konnte in einem Regressionsmodell ein signifikanter Effekt des Vorwissens ( $p < .001, Std. \beta = .18$ ), der *cc*-Gruppe ( $p = .036, Std. \beta = .05$ ) sowie ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Vorwissen und *cc*-Gruppe ( $p = .006, Std. \beta = -.05$ ) auf den Posttest-Score ermittelt werden. Der Interaktionseffekt wurde als geringerer Einfluss des Vorwissens in dieser Gruppe auf den Score interpretiert. Darüber hinaus konnte ein t-Test zwischen Studierenden der *cc*-Gruppe und *sc*-Gruppe mit Vorwissen unter dem Mittelwert ein signifikant höherer Posttest-Score der *cc*-Gruppe nachgewiesen werden,  $t(12.5) = 2.43, p = .031, \hat{\psi} = 0.233, 95\% CI [0.025; 0.442]$ . Der Eindruck, dass Studierende aus der *cc*-Gruppe den größten Lernzuwachs erlebten, wurde damit für Studierende mit niedrigem Vorwissen bestätigt. Fallvergleiche sollten daher möglichst schon zu Beginn neuer Themenblöcke eingesetzt werden, bei denen das Vorwissen der Studierenden generell verhältnismäßig niedrig ist, um bestmöglich von diesem Format zu profitieren. Bezüglich der Problemlösephase an sich konnte in einem Regressionsmodell mit dem Vorwissen als Kovariate ein signifikanter Effekt des Vorwissens ( $p < .001, Std. \beta = .18$ ) und der *ccsf*-Gruppe ( $p = .002, Std. \beta = .13$ ) auf den erreichten Score in dieser Phase nachgewiesen werden. Ein t-Test im unteren Vorwissensbereich zwischen *ccsf*- und *sc*-Gruppe,  $t(12.5) = 2.43, p = .031, \hat{\psi} = 0.233, 95\% CI [0.025; 0.442]$  konnte dieses Ergebnis noch einmal untermauern. Eine qualitative Betrachtung der Modes of Reasoning konnte ebenfalls bestätigen, dass Studierende mit wenig Vorwissen der *ccsf*-Gruppe tendenziell höhere Modes in ihren Antworten aufwiesen. Angeleitete Fallvergleiche sollten entsprechend besonders Studierenden mit wenig Vorwissen bereitgestellt und als optionales Mittel eingesetzt werden um Studierenden mit etablierten Lösungsstrategien die Möglichkeit zu bieten, ihre eigenen Ansätze weiterhin zu nutzen. Zukünftige Forschung könnte sich neben der Bestätigung der Ergebnisse durch eine größere Stichprobe außerdem mit den Effekten des Fadings des Scaffolds auseinandersetzen (McNeill, Lizotte, Krajcik & Marx, 2006; Lin, Hsu, Lin, Changlai, Yang & Lai, 2012). Außerdem bietet adaptives Scaffolding das Potenzial auch leistungsstärkeren Studierenden eine entsprechende Unterstützung zu bieten (Plass & Pawar, 2020). Entsprechend könnte der Scaffold so angepasst werden, dass er sich adaptiv einsetzen lässt, um anschließend eine ähnliche Studie mit adaptivem Scaffolding durchzuführen.

## Literatur

- Alfieri L., Nokes-Malach T. J. & Schunn C. D. (2013). Learning Through Case Comparisons: A Meta-Analytic Review. *Educ. Psychol.*, 48 (2), 87-113
- Belland B. R. (2011). Distributed Cognition as a Lens to Understand the Effects of Scaffolds: The Role of Transfer of Responsibility. *Educational Psychology Review*, 23 (4), 577-600
- Bodé N. E., Deng J. M. & Flynn A. B. (2019). Getting Past the Rules and to the WHY: Causal Mechanistic Arguments When Judging the Plausibility of Organic Reaction Mechanisms. *J. Chem. Educ.*, 96 (6), 1068-1082
- Caspari I. & Graulich N. (2019). Scaffolding the structure of organic chemistry students' multivariate comparative mechanistic reasoning. *Int. J. Phys. Chem. Educ.*, 11 (2), 31-43
- Caspari I., Kranz D. & Graulich N. (2018). Resolving the complexity of organic chemistry students' reasoning through the lens of a mechanistic framework. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 19 (4), 1117-1141
- Deng J. M. & Flynn A. B. (2021). Reasoning, granularity, and comparisons in students' arguments on two organic chemistry items. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 22 (3), 749-771
- Graulich N. & Bhattacharyya G. (2017). Investigating students' similarity judgments in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 18 (4), 774-784
- Graulich N. & Schween M. (2018). Concept-Oriented Task Design: Making Purposeful Case Comparisons in Organic Chemistry. *J. Chem. Educ.*, 95 (3), 376-383
- Hammer D., Elby A., Scherr R. E. & Redish E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective*, 89
- Kalyuga S. (2007). Expertise Reversal Effect and Its Implications for Learner-Tailored Instruction. *Educational Psychology Review*, 19 (4), 509-539
- Kraft A., Strickland A. M. & Bhattacharyya G. (2010). Reasonable reasoning: multi-variate problem-solving in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 11 (4), 281-292
- Kranz D., Schween M. & Graulich N. (2023). Patterns of reasoning—exploring the interplay of students' work with a scaffold and their conceptual knowledge in organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 24 (2), 453-477
- Krist C., Schwarz C. V. & Reiser B. J. (2019). Identifying Essential Epistemic Heuristics for Guiding Mechanistic Reasoning in Science Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 28 (2), 160-205
- Kuhn D. & Udell W. (2003). The development of argument skills. *Child development*, 74 (5), 1245-1260
- Lin T.-C., Hsu Y.-S., Lin S.-S., Changlai M.-L., Yang K.-Y. & Lai T.-L. (2012). A review of empirical evidence on scaffolding for science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10 (2), 437-455
- Ling Lo M., (2012), *Variation theory and the improvement of teaching and learning*, Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Ling Lo M. & Marton F. (2011). Towards a science of the art of teaching: Using variation theory as a guiding principle of pedagogical design. *International journal for lesson and learning studies*, 1 (1), 7-22
- Marton F., Tsui A. B. M., Chik P. P. M., Ko P. Y. & Lo M. L., (2004), *Classroom Discourse and the Space of Learning* Taylor & Francis.
- McNeill K. L., Lizotte D. J., Krajcik J. & Marx R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The journal of the Learning Sciences*, 15 (2), 153-191
- Nückles M., Hübner S., Dümer S. & Renkl A. (2010). Expertise reversal effects in writing-to-learn. *Instructional Science*, 38 (3), 237-258
- Plass J. L. & Pawar S. (2020). Toward a taxonomy of adaptivity for learning. *Journal of Research on Technology in Education*, 52 (3), 275-300
- Sevian H. & Talanquer V. (2014). Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15 (1), 10-23
- Van Der Stuyf R. R. (2002). Scaffolding as a teaching strategy. *Adolescent learning and development*, 52 (3), 5-18
- Watts F. M., Zaimi I., Kranz D., Graulich N. & Shultz G. V. (2021). Investigating students' reasoning over time for case comparisons of acyl transfer reaction mechanisms. *Chem. Educ. Res. Pract.*
- Watts F. M., Zaimi I., Kranz D., Graulich N. & Shultz G. V. (2021). Investigating students' reasoning over time for case comparisons of acyl transfer reaction mechanisms. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 22 (2), 364-381
- Weinrich M. L. & Sevian H. (2017). Capturing students' abstraction while solving organic reaction mechanism problems across a semester. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 18 (1), 169-190