

Hendrik Fleischer¹
Conrad Borchers²
Lisa Selent¹
Sascha Schanze¹

¹Universität Hannover
²Carnegie Mellon University

Stöchiometrie-Lernen Problemlöseverhalten und Vorwissen im Tutorsystem

Einleitung

Stöchiometrie ist mit vielen Schwierigkeiten und Lernendenvorstellungen behaftet (van der Westhuizen, 2015), vor allem durch die Verknüpfung mathematischer Fertigkeiten (z. B. die Umrechnung von makroskopischen Einheiten) und konzeptuellen Wissens (z. B. Einbeziehung des stöchiometrischen Verhältnisses). Je nach nationalem und regionalem Hintergrund nutzen Lernende unterschiedliche Problemlösestrategien wie die Mol-Methode, die Proportionalitätsmethode oder die Factor-label-Methode (Borchers et al., 2025a; Schmidt, 1997). BouJaoude & Barakat (2003) stellten heraus, dass Lernende oft prozedural vorgehen und auf algorithmische Strategien zurückgreifen, ohne konzeptuelles Wissen zu aktivieren. Intelligente Tutorsysteme stellen eine Möglichkeit dar, Lernende beim Lösen von Stöchiometrieaufgaben zu unterstützen. Feedback-Systematiken und die Möglichkeit, Hinweise anzufordern, unterstützen Lernende im MINT-Bereich nachweislich (Aleven et al., 2017; Kulik & Fletcher, 2016). Computergestützte Scaffolding-Systeme eignen sich damit als geeignete Unterrichtselemente (Borchers et al., 2025b; McLaren et al., 2007). Der durch hohes Scaffolding charakterisierte StoichTutor (McLaren et al., 2011) verzeichnet Lernzuwächse beim konzeptuellen Lernen, vor allem durch die vielzähligen Gelegenheiten zum Üben von mehrstufigem und feingliedrigem Problemlöseverfahren und dem gezielten Feedback zum Aufheben von Missverständnissen (Borchers et al., 2025b). Um einen detaillierten Einblick in das Problemlöseverhalten von Lernenden zu erhalten und Lernende mit unterschiedlichen Vorkenntnissen während des Lernprozesses adaptiv zu unterstützen, wird in diesem Beitrag eine Netzwerkanalyse durchgeführt (Teig, 2024) und folgende Fragestellung untersucht:

- Welches Problemlöseverhalten zeigen Lernende beim Lösen von Stöchiometrieaufgaben in einem high-scaffolded Tutorsystem in Abhängigkeit vom Vorwissen?

Methodik

StoichTutor

Der StoichTutor (siehe Abb. 1) hat das Ziel, mit vorgegebenen Werten wie Stoffmenge auf strukturierte Weise den gesuchten Wert, beispielsweise die Stoffmengenkonzentration, zu berechnen (McLaren et al., 2011). Dabei wird die Factor-label-Methode unterstützt (Schmidt, 1997). Neben der Eingabe der Werte müssen auch Einheiten und Substanzen über ein Drop-Down-Menü ausgewählt werden. Hinweise, die jeweils den nächsten Schritt zur Lösung des Problems erläutern, können bei Bedarf angefordert werden. Der StoichTutor beinhaltet verschiedene Feedback-Typen, um Lernende im Problemlöseprozess zu unterstützen. Beispielsweise führt Correctness Feedback zu einer signifikant positiven Lernrate, wahrscheinlich weil es Lernende dazu anregt, sich aktiver mit ihren Lernprozessen auseinanderzusetzen. Andere Feedback-Typen (z. B. next-step Feedback) können Lernprozesse hemmen, indem sie zu viele Informationen und ein hohes Maß an Unterstützung bieten (Fleischer et al., 2025a).

Stöchiometrie Tutor | [Hilfe](#)

Problemstellung

Angenommen, wir sind für eine Wasserversorgung verantwortlich, die mit Alkohol COH_4 verunreinigt wurde. Um das Ausmaß der Verunreinigung zu bestimmen, berechne die Stoffmenge an Alkohol / kg H_2O in einer Lösung von 6,00 g COH_4 in 100,0 g H_2O . Das Ergebnis sollte auf drei Stellen genau sein. Bitte gebe deine Ergebnisse mit einem Dezimalpunkt an (z.B. 102.3). Hier ist ein hilfreicher Hinweis: Die Molare Masse von COH_4 beträgt 32,04 g COH_4 / mol COH_4 .

Hinweisfenster

Rechne g in kg um.

? Hinweis

← Zurück

→ Nächste

Problem				Ergebnis			
#	Einheiten	Stoff	#	Einheiten	Stoff	#	Einheiten
6,00	g	COH_4	1000	g	H_2O		mol
100,0	g	H_2O	1	kg			kg

Grund: Given Value Grund: Unit Conversion Grund: Solution Concentration Grund:

✓ Erledigt

Abb. 1 Interface des StoichTutors am Beispiel von Aufgabe 4.

Studiendesign

Im Rahmen eines größeren Forschungsprojektes (Borchers et al., 2025b) wurden Logdaten von $N=61$ Studierenden im März und im September 2023, während eines naturwissenschaftlichen Vorkurses einer deutschen Universität, aufgezeichnet. Aufgrund des in Borchers et al. (2025b) beschriebenen Studiendesigns haben maximal 30 Teilnehmende die gleiche Aufgabe im StoichTutor bearbeitet. Zur Erhebung des Vorwissens wurde ein Test mit 5 prozeduralen und 41 konzeptuellen Items (richtig/falsch) verwendet. Anschließend bearbeiteten die Teilnehmenden bis zu 7 Aufgaben im StoichTutor.

Netzwerkanalyse

Zur Untersuchung des Problemlöseverhaltens beim Lösen von Stöchiometrieaufgaben in einem high-scaffolded Tutorsystem in Abhängigkeit vom Vorwissen wurde eine Netzwerkanalyse durchgeführt (Teig, 2024). Basierend auf den Logdaten wurde eine Übergangsmatrix in python mit der Bibliothek networkx erzeugt, um den Wechsel zwischen Problemlöseschritten als absolute Häufigkeit darzustellen. Der Begriff Problemlöseverhalten wird eingegrenzt, indem unterschiedliche Herangehensweisen (z. B. systematisch vs. unsystematisch; Tschisgale et al., 2025) und Herausforderungen in Abhängigkeit vom Vorwissen erkundet werden (Teig, 2024). Aufgabe 4 des StoichTutors wurde für die Netzwerkanalyse ausgewählt, wobei die Teilnehmenden zuvor mindestens zwei Aufgaben zur Eingewöhnung im Tutorsystem bearbeitet haben. Die Aufgabe besitzt eine reduzierte Komplexität, so dass maximal zwei stöchiometrische Operationen (Einheitenumrechnung und Berechnung der Stoffmenge aus gegebener Masse) erforderlich sind. Zur Darstellung eines Netzwerkes (Abb. 2) ist der erste Problemlöseschritt der Startpunkt, während der Endpunkt durch *Done_Correct* markiert wird. Eine stöchiometrische Operation bleibt unvollständig (z. B. *Molecular Weight incomplete*), bis sie entweder fehlerhaft (z. B. *Molecular Weight incorrect*) oder vollständig korrekt (z. B. *Molecular Weight correct*) ausgeführt wird. Verweilen bei bestimmten Problemlöseschritten innerhalb einer stöchiometrischen Operation wird durch *Reverse-Pfeile* gekennzeichnet, ebenso wie mehrere nacheinander beantragte Hinweise (*Hints*). Die Teilnehmenden wurden anhand ihrer Gesamtpunktzahl in zwei Vorwissensgruppen eingeteilt. Für jedes korrekte Ergebnis der prozeduralen und konzeptuellen Items wurde ein Punkt vergeben, mit einer Gesamtpunktzahl von 46. Die Einteilung erfolgte anschließend entlang des Mittelwertes in die Gruppen hohes ($M=20,75$; $SD=7,25$) und niedriges Vorwissen ($M=14,31$; $SD=3,38$). Die Netzwerkanalyse für Aufgabe 4 umfasst $N=28$ Probanden, davon $N=12$ mit hohem und $N=16$ mit niedrigem Vorwissen.

Vorläufige Ergebnisse und Diskussion

Aus der Netzwerkanalyse (siehe Abb. 2) lassen sich zwei zentrale Erkenntnisse ableiten.

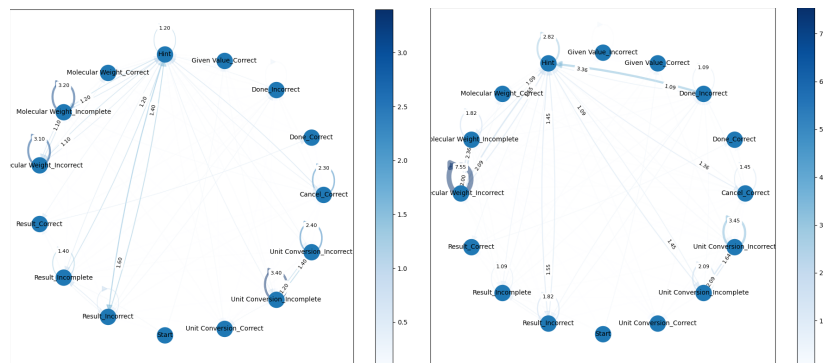


Abb. 2 Netzwerkanalyse für Aufgabe 4 für niedriges (links) und hohes Vorwissen (rechts).

Erkenntnisse über unterschiedliche Herangehensweisen und Problemlösestrategien

Lernende beider Vorwissensgruppen zeigen eine systematische Problemlösestruktur, indem kontinuierlich an einer stöchiometrischen Operation gearbeitet wird. Dieses Vorgehen ist auf das hohe Scaffolding des StoichTutors zurückzuführen, da Lernende durch das Tutorsystem geleitet werden (McLaren et al., 2011). Zudem zeigt sich der Trend der heuristischen Strategien des Vorwärts- und Rückwärtsarbeiten (Shabrina et al., 2024), da die Teilnehmenden entweder mit den gegebenen oder gesuchten Werten starten.

Erkenntnisse über Schwierigkeiten und Herausforderungen in Abhängigkeit des Vorwissens

Die Eingabe der Molaren Masse bereitet aufgrund der starren Eingabemodalität des StoichTutors und der Factor-label-Methode besondere Schwierigkeiten (Borchers et al., 2025a). Lernende mit hohem Vorwissen benötigen mehr Problemlöseschritte ($M=65$; $SD=19$) als jene mit geringem Vorwissen ($M=43$; $SD=16$), da sie möglicherweise auf bekannte Problemlösestrategien zurückgreifen und folglich mehr Unterstützung benötigen (Kalyuga, 2009). Hohes Scaffolding und Feedback-Typen könnten den Lernprozess bremsen, wie frühere Untersuchungen am StoichTutor zeigen (Fleischer et al., 2025a; Zhang et al., 2024). Eine Limitation stellt die Interpretierbarkeit inkorrekt eingetragener Werte dar. Weitere Arbeiten sollten Think Aloud Protokolle verwenden, um die Netzwerkanalyse in der Interpretierbarkeit von Fehlern zu unterstützen, auch wenn inkorrekte Eingaben bereits gut automatisch und manuell klassifiziert werden können (Fleischer et al., 2025b). Eine weitere Limitation stellt die begrenzte Stichprobengröße und die geringe Varianz im Vorwissen dar. Zukünftige Arbeiten sollten größere Stichproben verwenden und das Vorwissen differenzierter erfassen.

Zusammenfassung

Die Studie identifiziert Trends in der Nutzung von Strategien wie Vorwärts- und Rückwärtsarbeiten sowie Herausforderungen wie die Eingabe der Molaren Masse. Beim Vergleich der Vorwissensgruppen zeigt sich, dass Lernende mit höherem Vorwissen mehr Problemlöseschritte und womöglich mehr Zeit benötigen, um sich mit der Nutzeroberfläche des Tutorsystems auseinanderzusetzen. Die Studie liefert wertvolle Informationen über Herausforderungen und Strategien, um Tutorsysteme zu optimieren und Lernende mit unterschiedlichen Vorkenntnissen während des Lernprozesses adaptiv zu unterstützen.

Literatur

- Aleven, V., McLaughlin, E. A., Glenn, R. A. & Koedinger, K. R. (2017). Instruction based on adaptive learning technologies. In R. E. Mayer & P. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (2nd ed., pp. 522–560). Routledge.
- Borchers, C., Fleischer, H., Yaron, D. J., McLaren, B. M., Scheiter, K., Aleven, V. & Schanze, S. (2025a). Problem-solving strategies in stoichiometry across two intelligent tutoring systems: A cross-national study. *Journal of Science Education and Technology*, 34(2), 384–400. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10197-7>
- Borchers, C., Fleischer, H., Schanze, S., Scheiter, K. & Aleven, V. (2025b). High scaffolding of an unfamiliar strategy improves conceptual learning but reduces enjoyment compared to low scaffolding and strategy freedom. *Computers & Education*, 105364. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105364>
- BouJaoude, S. & Barakat, H. (2003). Students' problem solving strategies in stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. *The Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*.
- Fleischer, H., Noglik, A., Borchers, C. & Schanze, S. (2025a). Does student learning rate depend on feedback type and prior knowledge?. *Proceedings of the 18th International Conference on Educational Data Mining*, 571–577. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15870227>
- Fleischer, H., Borchers, C., Schanze, S. & Aleven, V. (2025b). Error classification in stoichiometry tutoring systems with different levels of scaffolding: Comparing rule-based classification and machine learning. In: Tammets, K., Sosnovsky, S., Ferreira Mello, R., Pishtari, G., Nazaretsky, T. (eds) *Two Decades of TEL. From Lessons Learnt to Challenges Ahead*. EC-TEL 2025. Lecture Notes in Computer Science, vol 16064. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-03873-9_12
- Kalyuga, S. (2009). The expertise reversal effect. In *Managing cognitive load in adaptive multimedia learning* (pp. 58–80). IGI Global Scientific Publishing.
- Kulik, J. A. & Fletcher, J. D. (2016). Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 86(1), 42–78. <https://doi.org/10.3102/003465431558142>
- McLaren, B. M., Lim, S. J., Yaron, D. & Koedinger, K. (2007). Can a polite intelligent tutoring system lead to improved learning outside of the lab?.
- McLaren, B. M., DeLeeuw, K. E. & Mayer, R. E. (2011). A politeness effect in learning with web-based intelligent tutors. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(1–2), 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2010.09.001>
- Schmidt, H. J. (1997). An alternate path to stoichiometric problem solving. *Research in Science Education*, 27(2), 237–249. <https://doi.org/10.1007/BF02461319>
- Shabrina, P., Mostafavi, B., Abdelshiheed, M., Chi, M. & Barnes, T. (2024). Investigating the impact of backward strategy learning in a logic tutor: Aiding subgoal learning towards improved problem solving. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 34(3), 825–861.
- Teig, N. (2024). Uncovering student strategies for solving scientific inquiry tasks: Insights from student process data in PISA. *Res Sci Educ* 54, 205–224. <https://doi.org/10.1007/s11165-023-10134-5>
- Tschisgale, P., Kubsch, M., Wulff, P., Petersen, S. & Neumann, K. (2025). Exploring the sequential structure of students' physics problem-solving approaches using process mining and sequence analysis. *Physical Review Physics Education Research*, 21(1), 010111.
- Van der Westhuizen, L., Read, C. E., Reitsma, G. M. & Du Toit, M. H. (2015). The development of the conceptual understanding of first-year chemistry university students in stoichiometry using thinking skills, visualization and metacognitive strategies.
- Zhang, J., Borchers, C. & Barany, A. (2024). Studying the interplay of self-regulated learning cycles and scaffolding through ordered network analysis across three tutoring systems. In *International Conference on Quantitative Ethnography*, pages 231–246. Springer.