

Alexander Krause¹

Markos Stamatakis²

Anett Hoppe^{2,3,4}

Ralph Ewerth^{2,3,4}

Denis Gebauer⁵

Andreas Nehring¹

¹Leibniz Universität Hannover

²Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften

³L3S Forschungszentrum

⁴Philipps-Universität Marburg

⁵Universität Konstanz

Learning Analytics in der Stöchiometrie

Die Stöchiometrie ist ein grundlegender Themenbereich der Chemie, in dem Lernende in vielen Ländern der Welt deutliche Schwierigkeiten zeigen (vgl. Agung & Schwartz, 2007; BouJaoude & Barakat, 2000; Dahsah & Coll, 2007; Gulacar et al., 2013; Shadreck & Enunuwe, 2018). Gleichzeitig stellt er eine wichtige Grundlage für weiterführende Themenbereiche und die erfolgreiche und sichere Labortätigkeit dar. Die hohe Relevanz zeigt sich auch darin, dass die Kompetenz in der Stöchiometrie ein sehr guter Prädiktor für den generellen Studienerfolg ist (Rosa et al., 2022). Während digitale Technologien vielfach im Sinne eines prozessorientierten, formativen Large-Scale Assessments eingesetzt werden (vgl. Anghel et al., 2024; He & Cui, 2025), gibt es bisher kaum systematische Verfahren, um die Prozesse beim Problemlösen von quantitativen Stöchiometrieaufgaben im Large-Scale Format zu erfassen und auszuwerten. Mithilfe der webbasierten Lernplattform „I₃Lern-Stöchiometrie“ sollen die Prozesse beim stöchiometrischen Problemlösen algorithmischer Aufgaben erfasst und mit Learning Analytics Ansätzen ausgewertet werden, um als Grundlage für individualisierte KI-basierte Lernunterstützung eingesetzt zu werden.

Theoretischer Hintergrund

I₃Lern-Stöchiometrie basiert auf dem Stoichiometry Competency Level Model (Abk. StoiCoLe-Modell), einem Kompetenzstufenmodell (vgl. Abb. 1; Krause et al., 2025). Das StoiCoLe-Modell ermöglicht, eine fachliche und fachdidaktische Fundierung von Learning Analytics Ansätzen, die in diesem Kontext häufig als Desiderat beschrieben werden (vgl. Banihashem et al., 2025; Gašević et al., 2015; Zawacki-Richter et al., 2019). In I₃Lern-Stöchiometrie werden Aufgaben, die eine korrekte Auswahl und kausale Vernetzung der Sub-Kompetenzen der 1. Kompetenzstufe erfordern, durch eine Drag-and-drop Funktion erfasst. Die Auswahl, Anordnung und Entfernung der Sub-Kompetenzen im Lösungsprozess, die Bearbeitungszeiten sowie die Antworten werden mithilfe von Logfiles erfasst.

Forschungsfragen

Die hier aufgeführten Forschungsfragen stellen einen Ausschnitt aus dem übergeordneten Forschungsprojekt um die webbasierte Lernplattform „I₃Lern-Stöchiometrie“ dar und lauten:

FF1: Inwiefern verändert sich die Stöchiometriekompetenz nach der Intervention mit der webbasierten Lernplattform „I₃Lern-Stöchiometrie“?

FF2: Inwiefern lassen sich stöchiometriespezifische Muster bei der Aufgabenbearbeitung feststellen?

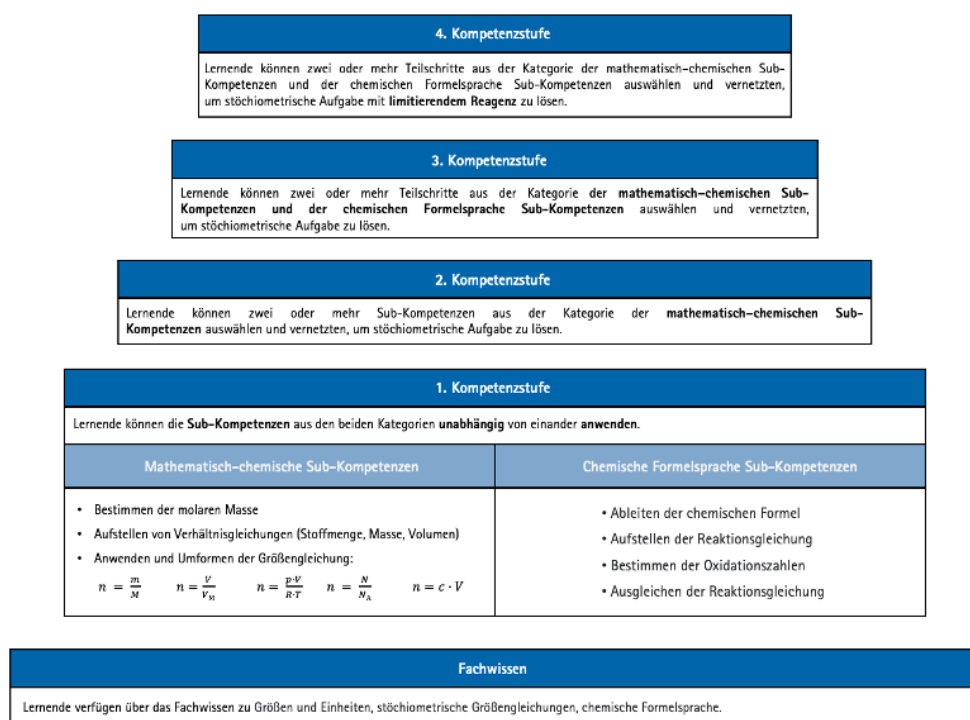


Abb. 1: Stoichiometry Competency Level Model (StoiCoLe-Modell)

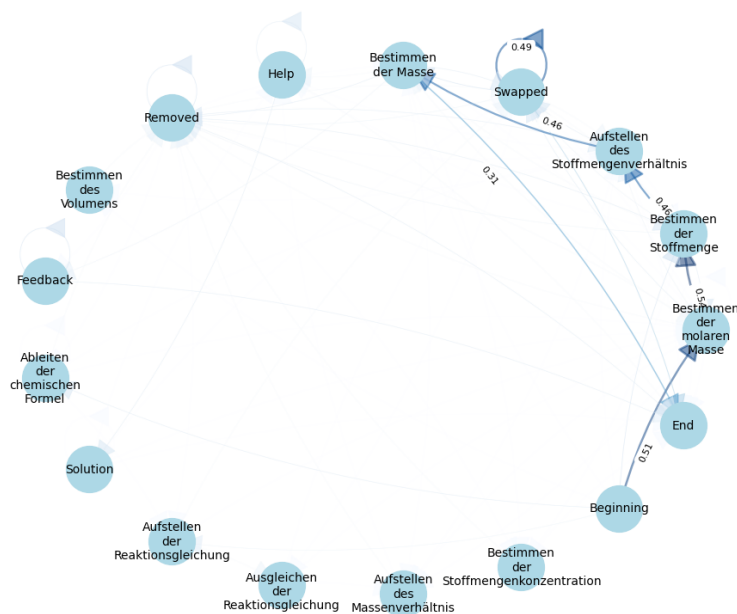
Studiendesign & Methoden

Die Studie wurde im Wintersemester 2024/25 an der Leibniz Universität Hannover im Modul „Allgemeine & Analytische Chemie“ mit (N = 97) Studienanfänger*innen aus fachwissenschaftlichen und lehramtsbezogenen Studiengängen durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte an drei Zeitpunkten, wobei die ersten beiden Termine in die wöchentlich stattfindenden Übungen eingebunden wurden und der dritte Termin separat stattfand. Am ersten Termin wurde ein Prä-Test (45 Minuten) durchgeführt, in dem demografische Daten, das Interesse und die Selbstwirksamkeit gegenüber der Stöchiometrie sowie die Stöchiometriekompetenz erhoben wurden. Die Stöchiometriekompetenz wurde anhand von zwölf Items basierend auf Items aus dem Stöchiometrietest von Krause et al. (2025) erhoben. Auf der Grundlage einer Rasch-Modellierung (Bond et al., 2020) wurden in der Open-Source-Software *R* mit dem Package *TAM* (Robitzsch et al., 2024) die Item- und Personenparameter bestimmt. Zur Erhöhung der Stichprobengröße wurden diese um die Stichprobe aus Krause et al. (2025) erweitert. Als Teil einer experimentellen Studie gab es zu Beginn des zweiten Termins eine Einführung in den Aufbau, die Aufgabenauswahl sowie die Aufgaben der webbasierte Lernplattform „I₃Lern-Stöchiometrie“. Anschließend konnten die Studierenden die Lernplattform für 60 Minuten selbständig nutzen. Am dritten Termin stand eine weitere 60-minütige selbständige Arbeitsphase an, gefolgt vom abschließenden Post-Test, der die Usability (Lernplattform, Kompetenzmodell & Feedback), die Selbstwirksamkeit in der Stöchiometrie und die Stöchiometriekompetenz erhoben hat. Die Bestimmung der Personenparameter erfolgte mit den fixierten Itemparametern aus dem Prä-Test. Die Logfile Daten zur Auswahl der Sub-Kompetenzen im Lösungsprozess wurden in eine Adjazenzmatrix überführt mit der ein gerichtetes Netzwerkdiagramm erstellt wurde, um deskriptiv verschiedene Muster in der Aufgabenbearbeitung darstellen und erfassen zu können.

Ergebnisse

FF1: Vom Prä- zum Post-Zeitpunkt gibt es einen signifikanten Anstieg in der Stöchiometrie-Kompetenz, $t(96) = -5.04$; $p < .001$, $d = 0.51$, 95% CI [-0.59, -0.26]. Der Großteil der Studierenden befindet sich zum Prä- und Post-Zeitpunkt auf der 1. Kompetenzstufe. Die 3. und 4. Kompetenzstufe wird weder zum Prä- noch zum Post-Zeitpunkt erreicht. Insgesamt sind zwischen den Kompetenzstufen 21 Studierende aufgestiegen und 4 abgestiegen.

FF2: An einzelnen Aufgaben konnte die deskriptive Betrachtung der Lösungssequenzen in Form von gerichteten Netzwerkdiagrammen beispielhaft zeigen, dass der Großteil der Studierenden die korrekten Sub-Kompetenzen auswählt und vernetzt. Gleichzeitig zeigt sich jedoch auch eine große Zahl individueller Abweichungen bei der Lösungssequenz. Ein gerichtetes Netzwerkdiagramm von einer Aufgabe der 2. Kompetenzstufe ist in Abbildung 3 dargestellt. Bei Aufgaben, die als erstes bearbeitet wurden, zeigt sich zudem eine größere Anzahl an inkorrekten oder abgebrochenen Lösungssequenzen.



Anmerkung: Transitionen zwischen den Interaktionen mit einer relativen Häufigkeit (< 0.3) werden nicht ausgeschrieben.

Abb. 2: Logfilebasiertes, gerichtetes Netzwerkdiagramm der Aufgabenbearbeitung auf der webbasierten Lernplattform „I3Lern-Stöchiometrie“.

Fazit und Ausblick

Die Stöchiometrie stellt nach wie vor ein Problem für Lernende dar. Die Erfassung des Lösungsprozesses in der Stöchiometrie, wie z. B. anhand von Interviews bei Fach et al. (2007), ermöglicht die Bereitstellung von individuellem, prozessorientierten Feedback und kann auf I3Lern-Stöchiometrie mithilfe von Logfiles im Large-Scale Format erfolgen. Im weiteren Verlauf sollen Sequenzanalysen (Raab & Struffolino, 2022) durchgeführt werden, um die Unterschiede zwischen Gruppen von Lernenden herauszustellen und Vorhersagen zum Lösen von stöchiometrischen Aufgaben zu erhalten (vgl. Tschisgale et al., 2025).

Literatur

- Agung, S. & Schwartz, M. S. (2007). Students' understanding of conservation of matter, stoichiometry and balancing equations in Indonesia. *International Journal of Science Education*, 29(13), 1679–1702. <https://doi.org/10.1080/09500690601089927>
- Anghel, E., Khorramdel, L. & von Davier, M. (2024). The use of process data in large-scale assessments: A literature review. *Large-Scale Assessments in Education* 2024, 12(1), 1–33. <https://doi.org/10.1186/S40536-024-00202-1>
- Banihashem, S. K., Gašević, D. & Noroozi, O. (2025). A critical review of using learning analytics for formative assessment: Progress, pitfalls and path forward. *Journal of Computer Assisted Learning*, 41(3). <https://doi.org/10.1111/JCAL.70056>
- Bond, T. G., Yan, Z. & Heene, M. (2020). *Applying the rasch model: Fundamental measurement in the human sciences*. <https://doi.org/10.4324/9780429030499/>
- BouJaoude, S. & Barakat, H. (2000). Secondary school students' difficulties with stoichiometry. *School Science Review*, 81(296), 91–98.
- Dahsah, C. & Coll, R. K. (2007). Thai grade 10 and 11 students' conceptual understanding and ability to solve stoichiometry problems. *Research in Science & Technological Education*, 25(2), 227–241. <https://doi.org/10.1080/02635140701250808>
- Fach, M., De Boer, T. & Parchmann, I. (2007). Results of an interview study as basis for the development of stepped supporting tools for stoichiometric problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(1), 13–31. <https://doi.org/10.1039/B6RP90017H>
- Gašević, D., Dawson, S. & Siemens, G. (2015). Let's not forget: Learning analytics are about learning. *TechTrends*, 59(1), 64–71. <https://doi.org/10.1007/S11528-014-0822-X>
- Gulacar, O., Overton, T. L., Bowman, C. R. & Fynnewever, H. (2013). A novel code system for revealing sources of students' difficulties with stoichiometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 507–515. <https://doi.org/10.1039/C3RP00029J>
- He, S. & Cui, Y. (2025). A systematic review of the use of log-based process data in computer-based assessments. *Computers & Education*, 228, 105245. <https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2025.105245>
- Krause, A., Polarz, S., Hoppe, A., Ewerth, R. & Nehring, A. (2025). Towards defining, assessing and modelling competency levels in stoichiometry. *Chemistry Education Research and Practice*. <https://doi.org/10.1039/D5RP00077G>
- Raab, M. & Struffolino, E. (2022). *Quantitative Applications in the Social Sciences - Sequence Analysis*. (Vol. 190). SAGE.
- Robitzsch, A., Kiefer, T. & Wu, M. (2024). TAM: Test analysis modules (Version 4.2-21) [Computer software]. CRAN. <https://cran.r-project.org/packages=TAM> (Version 4.2-21).
- Rosa, V., States, N. E., Corrales, A., Nguyen, Y. & Atkinson, M. B. (2022). Relevance and equity: Should stoichiometry be the foundation of introductory chemistry courses? *Chemistry Education Research and Practice*, 23(3), 1–24. <https://doi.org/10.1039/d1rp00333j>
- Shadreck, M. & Enunuwe, O. C. (2018). Recurrent difficulties: Stoichiometry problem-solving. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, 14, 25–31. <https://doi.org/10.4314/AJESMS.V14I0>
- 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). <https://doi.org/10.1103/PHYSREVPHYSEDUCRES.21.010111>
- Zawacki-Richter, O., Marin, V. I., Bond, M. & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education-where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39), 1–27. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>