

Jana-Kim Buschmann¹
 Matthias Kappe¹
 Stefanie Schwedler¹

¹Universität Bielefeld

Individuelle Online-Lernhilfen zu physikochemischen Aufgaben in der Studieneingangsphase

Ausgangslage

Studienanfänger*innen der Chemie erleben die vergleichsweise hohen Anforderungen in MINT-Studieneingangsphasen (Heublein *et al.*, 2017, S. 124) oft als überfordernd. Dies bezieht sich auch auf das Fach Physikalische Chemie, wobei die abstrakte Natur der Konzepte (Sözbilir, 2004) sowie die zur Darstellung dieser Konzepte notwendigen, elaborierten mathematischen Modelle (Tsapalis and Finlayson, 2014) wesentliche Probleme darstellen. Die Schwierigkeiten äußern sich auch bei der studentischen Bearbeitung physikochemischer Rechenaufgaben in Heimarbeit (Schwedler, 2017). Trotz der durchaus nicht geringen, mathematisch-prozeduralen Anforderungen zeigt sich, dass die Studierenden weniger an der eigentlichen, algorithmisch-prozeduralen Bearbeitung der Aufgabe, sondern vielmehr an einer mangelnden, konzeptuellen Durchdringung des chemischen Hintergrunds und der mathematischen Operationen scheitern (e.g. Becker and Towns, 2012; Hernández *et al.*, 2014; Kautz *et al.*, 2005; Matijašević *et al.*, 2016; Stamovlasić *et al.*, 2005). Angesichts der Bedeutung des Studienstarts für den Studienerfolg sowie der bereits hohen (Busker *et al.*, 2010) und zukünftig wahrscheinlich steigenden Heterogenität der Studierenden (Pasternack & Wielepp, 2013) stellt die individuelle Förderung der konzeptuellen Kompetenzen von Studienanfänger*innen beim häuslichen Selbstlernen eine relevante Herausforderung dar.

Mathematisches Modellieren im chemischen Kontext

Dass sowohl das Verstehen des chemischen Hintergrunds als auch der Übertrag auf das mathematische Modell für eine erfolgreiche Problemlösung unerlässlich sind, zeigt auch der Modellierungskreislauf nach Blum und Leiß (Blum, 2011, siehe Abb. 1), welcher bereits von Goldhausen und Di Fuccia (2020) auf den Chemie-Unterricht angepasst wurde.

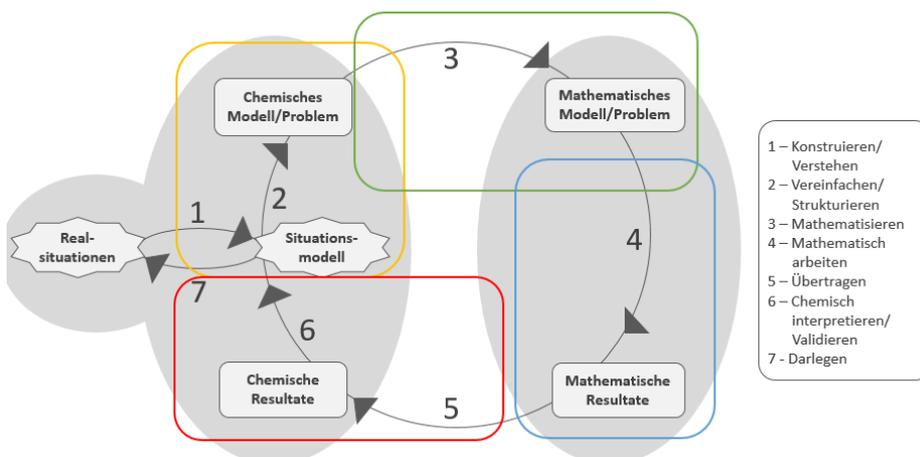


Abb. 1: Modellierungskreislauf angepasst auf den Chemie-Unterricht nach Goldhausen & Di Fuccia (2020). In bunt: Vier Bereiche, auf die sich die online Lernhilfen beziehen.

Dieser erfordert zunächst die Extraktion eines chemischen Modells/Problems auf Basis der beschriebenen Realsituation mit entsprechendem Situationsmodell. Anschließend muss eine angemessene, mathematische Modellierung vorgenommen werden, mit deren Hilfe die mathematischen Resultate prozedural erarbeitet werden. Es folgt der Rückbezug auf den chemischen Kontext und die Realsituation. Auch, wenn nicht alle Textaufgaben die selbständige Problemlösung dieser Teilschritte erfordern, ist die konzeptuelle Durchdringung dieser Schritte für eine verständnisorientierte Lösung unerlässlich.

Zielsetzung

Mit Blick auf die Ausgangslage stellt sich die Frage, an welchen Stellen die Studienanfänger*innen der Chemie bei der Bearbeitung physikochemischer Textaufgaben genau scheitern. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie die verständnisorientierten, interpretativen Kompetenzen der Studierenden, die in der Regel nur wenig Berücksichtigung finden, individuell gefördert werden können. Um die Studierenden bei der Bearbeitung der Übungsaufgaben individuell zu fördern, wurde ein Konzept für gestufte Online-Lernhilfen entwickelt, welches sich an dem Modellierungskreislauf nach Goldhausen und Di Fuccia (2020) orientiert. Zur Erfassung der studentischen Schwierigkeiten und Nutzung der Lernhilfen wurde die Bearbeitung physikochemischer Textaufgaben ebenso wie die Nutzung der Lernhilfe in Einzelfallstudien genauer untersucht.

Konzeption der Online-Lernhilfen

Das entwickelte Konzept stellt eine Art elektronischen Übungszettel dar (siehe Abb. 2). Zusätzlich zur gestellten Aufgabe bietet es frei wählbare Hilfen in vier verschiedenen Kategorien entlang des Modellierungskreislaufs an: Ansatz, Formel, Berechnung und Interpretation. Die Kategorie *Ansatz* dient der Konstruktion und dem Verständnis eines Situationsmodells und dem Übergang zu einem Chemischen Modell durch Vereinfachen und Strukturieren des Sachverhalts (Schritte 1 & 2, gelber Bereich in Abb. 1). Die Lernhilfen zum Thema *Formel* helfen beim Mathematisieren des Problems, indem das Chemische Modell/Problem in ein mathematisches überführt wird (Schritt 3, grüner Bereich in Abb. 1). Die Kategorie *Berechnung* bezieht sich im Kern auf die prozedurale Bearbeitung (blauer Bereich in Abb. 1), beinhaltet aber auch Verständnisaspekte, sowohl bezüglich der Einheiten als auch bezüglich des Verstehens mathematischer Operationen. Lernhilfen der Kategorie *Interpretation* dienen dem Rückbezug und der Interpretation des erhaltenen mathematischen Ergebnisses auf den chemischen Kontext (Schritte 5-7, roter Bereich in Abb. 1).

The screenshot shows a digital exercise sheet. On the left, under the heading 'Aufgabe 5.1 - Innere Energie', there is a text problem: 'Ein Autoreifen ist bei 2,7 bar mit Luft gefüllt. Nach drei Stunden Fahrt beträgt der Innendruck 3,0 bar, wobei das Volumen mit 57 L konstant geblieben ist. Wie groß ist die Änderung der inneren Energie der Luft unter der Annahme, dass sich diese ideal verhält und eine Wärmekapazität $C_{V,m} = 20,88 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$ hat?'. Below the text is a diagram showing two circular tires, one on the left and one on the right, with an arrow pointing from the first to the second, indicating a process. On the right side of the page, there is a sidebar titled 'Hier findest du Hilfe' containing four buttons: 'Ansatz' (Die physikochemische Theorie hinter der Aufgabe), 'Formeln' (Herleitung der Formel), 'Berechnung' (Einsetzen der Werte und korrektes Rechnen mit (abgeleiteten) SI-Einheiten), and 'Interpretation' (Interpretation des Ergebnisses im Kontext der Aufgabe).

Abb. 2: Screenshot des Online-Übungszettels

Die Benennung der vier Kategorien folgt keinen didaktischen Konzepten, sondern bildet dem üblichen Sprachgebrauch der Studierenden bei der Aufgabenbearbeitung ab. Dabei decken die Lernhilfen die vier verschiedenen Typen ab, die Fach *et al.* (2007) für mathematische Problemstellungen im chemischen Kontext eingesetzt haben. Diese umfassen Lernhilfen zur lernstrategischen Unterstützung, zur inhaltsstrategischen Unterstützung, zur inhaltsbezogenen Unterstützung und Erklärungen für wichtige Begriffe.

Die digitale Umsetzung eröffnet den Studierenden weitreichende Kontrolle über den Lernprozess im Sinne der individuellen Förderung: Sie entscheiden selber, ob und für wie lange sie das Instrument einsetzen, sie sind völlig frei in der Navigation und wählen die Lernhilfen frei aus, je nachdem, an welcher Stelle sie Schwierigkeiten wahrnehmen (*learner control principle*, Scheiter, 2014). Dadurch wird auch das *expertise reversal principle*, nachdem zu viele Instruktionen fortgeschrittene Lernende eher hindern als fördern (Kalyuga, 2014, S. 576), umgangen. Zudem werden die Studierenden dazu angehalten, bei jeder Hilfe erst einmal selbst zu überlegen. Dazu wurden die Hilfen in Frageform formuliert. Studierende, die die Antwort selber nicht herausfinden, können die Lösung aktiv aufdecken. Darüber hinaus werden Abbildungen und verschiedene Repräsentationen (Diagramme etc.) gezielt eingesetzt, um verständnisorientierte Durchdringung der Situation nach der *cognitive theory of multimedia learning* (Mayer, 2014) und die Suche nach einer Problemlösung nach der *representational change theory* (Schnotz et al., 2011) gezielt zu unterstützen.

Erhebungsmethodik

Zur Exploration der studentischen Schwierigkeiten und der Nutzung des Konzepts werden *concurrent think-aloud*-Erhebungen (Van Den Haak et al., 2003; van Someren et al., 1994) mit retrospektiven Interviewanteilen mit Studierenden der Chemie (aktuell $N = 7$) durchgeführt, die die Übungsaufgaben bearbeiten und dabei die Hilfen nutzen können.

Erste Ergebnisse

Erste Ergebnisse indizieren, dass die Studierenden, wie vermutet, im Kern am Transfer zwischen chemischer Sachlage und mathematischem Modell scheitern. So zeigten sie Schwierigkeiten bei Schritt 3 des Modellierungskreislaufs, nutzten daher die zugehörigen Hilfen in der Rubrik *Formel finden* intensiv und fanden diese auch besonders hilfreich. Ebenso vermieden es die meisten Probanden, das mathematische Ergebnis von sich aus im chemischen Kontext zu interpretieren. Dieser Schritt wurde oft erst durch die Lernhilfen der Kategorie *Interpretation* initiiert. Die eigentliche Berechnung (Schritt 4) stellte ein geringes Problem dar und wurde in wenigen Fällen, gerade im Umgang mit Einheiten, durch die Lernhilfen unterstützt. Insgesamt wurden die Lernhilfen, wie im Sinne der individuellen Förderung erhofft, in sehr unterschiedlichem Ausmaß und Tempo genutzt und in der Regel gezielt ausgewählt.

Fazit & Ausblick

Diese explorative Untersuchung liefert einen ersten Einblick in die studentischen Schwierigkeiten bei der Aufgabenbearbeitung. Weitere Untersuchungen sollen nicht nur eine größere Stichprobe umfassen, sondern auch die spezifischen Lernbarrieren und diversen Unterstützungsstrategien in Bezug auf den Transfer zwischen chemischem Sachkontext und mathematischem Modell stärker in den Blick nehmen. Die Ausweitung des Konzepts auf mehrere Themenfelder und ihr Einsatz im Sinne eines Scaffoldings soll die Studierenden über das ganze Semester zu einer vermehrten Einübung dieser Transferschritte anhalten.

Literatur

- Becker, N., & Towns, M. (2012). Students' understanding of mathematical expressions in physical chemistry contexts: An analysis using Sherin's symbolic forms. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 209–220.
- Blum, W. (2011). Can Modelling Be Taught and Learnt? Some Answers from Empirical Research. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri, & G. Stillman (Eds.), *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling* (pp. 15–30). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Busker, M., Parchmann, I., & Wickleder, M. (2010). Eingangsvoraussetzungen von Studienanfängern im Fach Chemie. *Chemkon*, 17(4), 163–168.
- 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.
- Goldhausen, I., & Di Fuccia, D. (2020). Mathematisches Modellieren im Chemieunterricht. *Chemie Konkret*, 27.
- Hernández, G. E., Criswell, B. A., Kirk, N. J., Sauder, D. G., & Rushton, G. T. (2014). Pushing for particulate level models of adiabatic and isothermal processes in upper-level chemistry courses: A qualitative study. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 354–365.
- Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J., & Woisch, A. (2017). Zwischen Studierenerwartungen und Studienwirklichkeit. *Forum Hochschule* (Vol. 1). Hannover.
- Kalyuga, S. (2014). The expertise reversal principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 576–598). New York: Cambridge University Press.
- Kautz, C. H., Heron, P. R. L., Loverude, M. E., & McDermott, L. C. (2005). Student understanding of the ideal gas law, Part I: A macroscopic perspective. *American Journal of Physics*, 73(11), 1055–1063.
- Matijašević, I., Korolija, J. N., & Mandić, L. M. (2016). Translation of $P = kT$ into a pictorial external representation by high school seniors. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 656–674.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 43–71). New York: Cambridge University Press.
- Pasternack, P., & Wielepp, F. (2013). Der Umgang mit zunehmender Heterogenität der Studierenden. In P. Pasternack (Ed.), *Regional gekoppelte Hochschulen. Die Potenziale von Forschung und Lehre für demografisch herausgeforderte Regionen* (pp. 66–69). Halle-Wittenberg: Institut für Hochschulforschung (HoF).
- Scheiter, K. (2014). The learner control principle in multimedia learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 487–512). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., Baadte, C., Müller, A., & Rasch, R. (2011). Kreatives Denken und Problemlösen mit bildlichen und beschreibenden Repräsentationen. In K. Sachs-Hombach & R. Totzke (Eds.), *Bilder – Sehen – Denken. Zum Verhältnis von begrifflich-philosophischen und empirisch-psychologischen Ansätzen in der bildwissenschaftlichen Forschung* (pp. 204–252). Köln: Halem.
- Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 165–179.
- Sözbilir, M. (2004). What Makes Physical Chemistry Difficult? Perceptions of Turkish Chemistry Undergraduates and Lecturers. *Journal of Chemical Education*, 81(4), 573.
- Stamovlasis, D., Tsaparlis, G., Kamilatos, C., Papaioikonomou, D., & Zarotiadou, E. (2005). Conceptual understanding versus algorithmic problem solving: Further evidence from a national chemistry examination. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(2), 104–118.
- Tsaparlis, G., & Finlayson, O. E. (2014). Physical chemistry education: Its multiple facets and aspects. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 257–265.
- Van Den Haak, M. J., De Jong, M. D. T., & Schellens, P. J. (2003). Retrospective vs. concurrent think-aloud protocols: Testing the usability of an online library catalogue. *Behaviour and Information Technology*, 22(5), 339–351.
- van Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. (1994). *The think aloud method: A practical guide to modelling cognitive processes*. London: Academic Press.