

Redox- & Elektrochemie in der Studieneingangsphase

Einleitung

Schon seit vielen Jahren lassen sich national wie international hohe Abbruch- und Schwundquoten vor allem in den naturwissenschaftlichen Studiengängen beobachten (Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V [GDCh], 2024; Seymour et al., 2019). So brachen beispielsweise im Jahr 2020 rund 52 % der Chemie-Studierenden ihr Studium ab (Heublein et al., 2022), mit steigender Tendenz (GDCh, 2024; Heublein et al., 2022). Insbesondere Leistungsprobleme führen hierbei zu einem frühen Studienabbruch (Heublein et al., 2022), wobei unter anderem der Themenbereich Redox- & Elektrochemie zu den von Studierenden als schwierig und herausfordernd wahrgenommenen Inhaltsfeldern gehört (Childs & Sheehan, 2009). Neben der komplexen Natur der Chemie und den hohen konzeptuellen Ansprüchen (Nakiboglu et al., 2023) bereiten die auch der Redox- und Elektrochemie inhärenten mathematischen Anteile den Studierenden besondere Schwierigkeiten (Potgieter et al., 2008; Ye et al., 2024). Für ein tiefergehendes Verständnis chemischer Zusammenhänge sind diese mathematischen Aspekte jedoch unerlässlich.

Ziel des Projekts

Vor diesem Hintergrund werden Maßnahmen entwickelt, die Studierende im ersten Fachsemester beim Verständnis mathematisch-chemischer Inhalte und bei der Bearbeitung mathematischer Aufgaben im Rahmen der Redox- und Elektrochemie unterstützen sollen. Im Fokus stehen hierbei neben dem Fachwissenserwerb auch die Anwendung und Vernetzung der erworbenen Kenntnisse.

Qualitative Teilstudie

Motivation

Um die Unterstützungsangebote möglichst passgenau zu gestalten, wurden zunächst die fachlichen Schwierigkeiten aktueller Erstsemesterstudierender erhoben. Wenngleich bereits viele Fehlvorstellungen in der Literatur dokumentiert sind (z. B. Brandriet & Bretz, 2014; Goes et al., 2020; Nakiboglu et al., 2023), beziehen sich wenige Forschungsarbeiten auf Studienanfänger*innen im deutschsprachigen Raum (Busker et al., 2010; Tsaparlis, 2019). Des Weiteren können vorliegende empirische Erkenntnisse aus Studien mit Schüler*innen nur bedingt auf Studierende übertragen werden: Erstens findet eine positive Selektion der Lernenden durch ihre Studienwahl statt und zweitens führt ein vertieftes Studium nicht automatisch zu einem besseren Verständnis grundlegender Konzepte, da beispielsweise fachlich nicht tragfähige Vorstellungen gefestigt werden können.

Im vorliegenden Beitrag wird der Begriff der Fehlvorstellungen genutzt, wenn auf in der Literatur dokumentierte Befunde zu nicht tragfähigen Vorstellungen Bezug genommen wird. Für eine Ausdifferenzierung dieses Begriffes sei bspw. auf Barke (2006, S. 21) verwiesen.

Forschungsinteresse und Studienablauf

In der qualitativen Teilstudie wurde der Frage nachgegangen, welche zentralen (fachlichen) Herausforderungen den Studierenden des ersten Semesters beim Studium der Redox- und Elektrochemie begegnen. Hierzu wurden Aufgaben entwickelt, die konzeptuelles und prozedurales Wissen fokussieren (Prediger et al., 2011) und chemisch-mathematische Modellierungen (Goldhausen & Di Fuccia, 2021) erfordern. In der Literatur beschriebene Fehlvorstellungen und Schwierigkeiten bildeten die Basis der Aufgabenentwicklung.

Im Wintersemester 2023/24 wurden diese Aufgaben in der Einführungsveranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie 1“ eingesetzt, welche von Studierenden der Studiengänge Chemie, Chemische Biologie, Wissenschaftsjournalismus und Lehramt Chemie (Gy/Ge, BK) besucht wurde. Innerhalb eines Zeitraums von zwei Wochen bearbeiteten die Studierenden die Hälfte der Aufgaben in einem universitären Seminar und die andere Hälfte in Hausarbeit. Während es bei Letzterer keine Kontrolle über die Bearbeitungszeit gab, war diese im Seminar auf 60 Minuten begrenzt. Die Studierenden durften gemeinsam an den Aufgaben arbeiten; die Tutor*innen wurden jedoch instruiert, keine Hilfestellungen zu geben. Insgesamt lagen 249 Dokumente mit schriftlichen Aufgabenbearbeitungen von $N = 94$ Studierenden vor.

Die schriftlichen Aufgabenbearbeitungen wurden entlang der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) ausgewertet. Hierzu wurden anhand der Musterlösung deduktiv Oberkategorien abgeleitet, welche die jeweiligen Schritte einer idealen Aufgabenbearbeitung repräsentieren. Anschließend wurden induktiv aus dem Material gewonnene Unterkategorien ergänzt, welche die jeweiligen Fehler und Schwierigkeiten der Studierenden abbilden. Nachdem eine Sättigung erreicht schien, wurden die gebildeten Kategorien mit Expert*innen diskutiert und ggf. angepasst. Abschließend wurde das Material mithilfe des entstandenen Kategoriensystems (erneut) analysiert.

Ausgewählte Ergebnisse

Die Studierenden zeigen diverse Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Aufgaben (u. a. Tebbe, 2024), wobei eine Auswahl im Folgenden vorgestellt werden soll.

Beim Aufstellen von Redox-Reaktionsgleichungen werden aufgestellte Teilreaktionsgleichungen beispielsweise nicht balanziert (Abb. 1a), übertragene Elektronen nicht ausgeglichen (Abb. 1b) oder Protonen zum Ladungsausgleich im alkalischen Milieu genutzt (Abb. 1c).

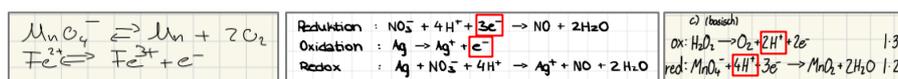


Abb. 1: Ausschnitte von schriftlichen Studierendenbearbeitungen (Markierungen ergänzt):
(a) Reaktionsgleichungen nicht balanziert, (b) Kein Ausgleich übertragener Elektronen, (c) Ladungsausgleich mit Protonen im alkalischen Milieu

Außerdem weisen Studierende gegebene Redoxsysteme falsch der Oxidation bzw. Reduktion zu, wobei vereinzelt explizite Begründungen hierzu gegeben werden, die auf falsch gelernte Voraussetzungen/Regeln hinweisen (Abb. 2). Beim Aufstellen von Redox-Reaktionsgleichungen ausgehend von gegebenen Redoxsystemen lässt sich außerdem beobachten, dass Studierende zwei Reduktions-Teilgleichungen der Form *Oxidationsmittel* + $n \cdot e^- \rightarrow$ *Reduktionsmittel* formulieren und zu einer Reaktionsgleichung zusammenfassen.

$$\begin{aligned} \text{Sn}^{2+}/\text{Sn}^{4+}, \text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} &\Rightarrow \Delta E^\circ = 0,77 - 0,15 > 0 \\ \text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}, \text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+} &\Rightarrow \Delta E^\circ = 0,15 - 0,77 < 0 \end{aligned}$$

Abb. 2: Ausschnitt einer schriftlichen Studierendenbearbeitung, die auf falsch gelernte Voraussetzungen/Regeln hinweist (Markierung ergänzt)

Aufgaben, die das Aufstellen und die Anwendung der Nernst-Gleichung erfordern, scheinen für die Studierenden insbesondere hinsichtlich der Variablen wie dem Reaktionsquotienten Q schwierig zu sein: Sie nutzen häufig den Kehrwert (Abb. 3a) oder setzen alle in der Aufgabe gegebenen Konzentrationen ein – unabhängig davon, ob diese an der jeweiligen Stelle tatsächlich einfließen oder nicht (Abb. 3b).

$$\begin{aligned} E(\text{Zn}^{2+}) &= -0,76 \text{ V} - \frac{0,05916 \text{ V}}{2} \lg \left(\frac{c(\text{Zn}^{2+})}{c(\text{Zn}^{2+})} \right) \\ &= -0,76 \text{ V} + 0,02958 \text{ V} \cdot \lg \left(\frac{1}{0,1} \right) \end{aligned} \quad E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{c(\text{Cu}^{2+})}{c(\text{Zn}^{2+})} \right)$$

Abb. 3: Ausschnitte von schriftlichen Studierendenbearbeitungen (Markierungen ergänzt): (a) Kehrwert von Q eingesetzt, (b) Konzentrationen von Kupfer- und Zink-Ionen einbezogen, obwohl nur die Zinkhalbzelle betrachtet wurde

Limitierend ist hier festzuhalten, dass lediglich schriftliche Aufgabenbearbeitungen vorliegen und die Studierenden nicht zu ihren jeweiligen Überlegungen befragt wurden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass Fehler, die bei verschiedenen Personen auftreten, auf zugrundeliegende Schwierigkeiten zurückzuführen sind, welche sich z. B. aus dem chemischen Inhalt oder dem Lernmaterial der Vorlesung ergeben können.

Quantitative Teilstudie

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse aus der qualitativen Teilstudie und in der Literatur dokumentierter Befunde werden Unterstützungsmaßnahmen entwickelt und evaluiert. Hierzu werden einerseits interaktive Lernvideos erstellt, welche den Studierenden das Selbststudium ausgewählter Inhalte der Redox- und Elektrochemie ermöglichen. Andererseits werden *Worked Examples* (z. B. Atkinson et al., 2003) und *Flowcharts* (z. B. Yuriev et al., 2017) entwickelt, die in der sich anschließenden Übungsphase die Verknüpfung und Anwendung des erworbenen Fachwissens unterstützen sollen. Hierbei werden die Studierenden während der Übungen in drei (auf Basis der Fachwissenstest-Ergebnisse und des Geschlechts parallelisierte) Gruppen eingeteilt, wobei eine Gruppe mit *Worked Examples* und eine Gruppe mit *Flowcharts* arbeitet. Die dritte Gruppe erhält lediglich Kurzlösungen zu den Übungsaufgaben. Die Auswirkungen der Lernvideos und der Übungsphase auf u. a. den Fachwissenserwerb sowie die Einschätzung der Studierenden hinsichtlich Attraktivität, *Usability* und *Cognitive Load* werden untersucht (Pre-, Mid- und Post-Zeitpunkt).

Fazit und Ausblick

In einem ersten Schritt konnten im Rahmen der qualitativen Teilstudie verschiedene wiederkehrende Fehler und damit Schwierigkeiten identifiziert werden. Diese werden zur möglichst passgenauen Entwicklung von interaktiven Lernvideos, *Worked Examples* und *Flowcharts* herangezogen. Nachfolgend findet eine Evaluation und darauf aufbauend eine Optimierung der verschiedenen Unterstützungsmaßnahmen statt. Langfristig sollen die entwickelten Maßnahmen in den regulären universitären Lehr-Lern-Betrieb implementiert werden.

Literatur

- Atkinson, R. K., Renkl, A. & Merrill, M. M. (2003). Transitioning From Studying Examples to Solving Problems: Effects of Self-Explanation Prompts and Fading Worked-Out Steps. *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 774–783. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.4.774>
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schilervorstellungen*. Springer.
- Brandriet, A. R. & Bretz, S. L. (2014). Measuring meta-ignorance through the lens of confidence: examining students' redox misconceptions about oxidation numbers, charge, and electron transfer. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 729–746. <https://doi.org/10.1039/C4RP00129J>
- Busker, M., Parchmann, I. & Wickleder, M. (2010). Eingangsvoraussetzungen von Studienanfängern im Fach Chemie: Welches Vorwissen und welche Interessen zeigen Studierende? *CHEMKON*, 17(4), 163–168. <https://doi.org/10.1002/ckon.201010134>
- Childs, P. E. & Sheehan, M. (2009). What's difficult about chemistry? An Irish perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(3), 204–218. <https://doi.org/10.1039/B914499B>
- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (Hrsg.). (Juli 2024). *Statistik der Chemiestudiengänge 2023: Eine Umfrage der GDCh zu Chemiestudiengängen an Universitäten und Hochschulen in Deutschland*. https://www.gdch.de/fileadmin/blaetterkatalog/catalogs/statistik_2023/pdf/complete.pdf
- Goes, L. F., Nogueira, K. S. C. & Fernandez, C. (2020). Limitations of Teaching and Learning Redox: A Systematic Review. *Problems of Education in the 21st Century*, 78(5), 698–718. <https://doi.org/10.33225/pec/20.78.698>
- Goldhausen, I. & Di Fuccia, D.-S. (2021). Mathematical Modelling in Chemistry Lessons. *CHEMKON*, 28(7), 282–293. <https://doi.org/10.1002/ckon.201900075>
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. (DZHW Brief 05|2022). DZHW. https://doi.org/10.34878/2022.05.dzhw_brief
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Auflage). *Grundlagentexte Methoden*. Beltz Juventa.
- Nakiboglu, C., Rahayu, S., Nakiboğlu, N. & Treagust, D. F. (2023). Exploring senior high-school students' understanding of electrochemical concepts: patterns of thinking across Turkish and Indonesian contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 25, 42–61. <https://doi.org/10.1039/D3RP00124E>
- Potgieter, M., Harding, A. & Engelbrecht, J. (2008). Transfer of algebraic and graphical thinking between mathematics and chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(2), 197–218. <https://doi.org/10.1002/tea.20208>
- Prediger, S., Barzel, B., Leuders, T. & Hussmann, S. (2011). Systematisieren und Sichern: Nachhaltiges Lernen durch aktives Ordnen. *mathematik lehren*, 164, 2–9.
- Seymour, E., Hunter, A.-B. & Weston, T. J. (2019). Why We Are Still Talking About Leaving. In E. Seymour & A.-B. Hunter (Hrsg.), *Talking about Leaving Revisited: Persistence, Relocation, and Loss in Undergraduate STEM Education* (S. 1–54). Springer International Publishing.
- Tebbe, A. (2024). *Analyse der Aufgabenbearbeitungen von Studienanfänger*innen zu Redoxprozessen* [unveröffentlichte Masterarbeit]. Technische Universität Dortmund, Dortmund.
- Tsaparlis, G. (2019). Teaching and Learning Electrochemistry. *Israel Journal of Chemistry*, 59(6-7), 478–492. <https://doi.org/10.1002/ijch.201800071>
- Ye, S., Elmgren, M., Jacobsson, M. & Ho, F. M. (2024). How much is just maths? Investigating problem solving in chemical kinetics at the interface of chemistry and mathematics through the development of an extended mathematical modelling cycle. *Chemistry Education Research and Practice*, 25(1), 242–265. <https://doi.org/10.1039/d3rp00168g>
- Yuriev, E., Naidu, S., Schembri, L. S. & Short, J. L. (2017). Scaffolding the development of problem-solving skills in chemistry: guiding novice students out of dead ends and false starts. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(3), 486–504. <https://doi.org/10.1039/c7rp00009j>