

## **Säure-Base-Reaktionen in der SEK II – eine Interventionsstudie**

Das Konzept "Säuren und Laugen – nicht nur ätzend" (Demuth & Schöttle, 2014) ist ein humorvoller Ansatz, Säure-Base-Reaktionen in der Sekundarstufe zu unterrichten und zählt zu den zahlreichen Lehr-Lern-Konzepten zu diesem Thema. Je nach Zielgruppe stellen diese Konzepte eher die sauren und basischen Lösungen oder die zugrunde liegenden Ursachen auf der submikroskopischen Ebene in den Vordergrund (Taber, 2013). Ein problematischer Aspekt dieses Themas ist jedoch jener, den de Vos and Pilot (2001, p. 494) als „Sedimentierung“ bezeichnen: Säure-Base-Reaktionen wurden über die Jahre mit historischen Konzepten und Bezügen aus dem Alltag so angereichert, dass es sich um ein Kapitel mit sehr vielen, komplexen Inhalten handelt. Dies macht sich sowohl in der chemischen Fachsprache als auch in der Alltagssprache bemerkbar: Säure-Base-Reaktionen nach Brønsted sind Protolysen, nach Arrhenius werden sie als Neutralisationsreaktionen mit Salzbildung definiert (Paik, 2015). Auch im Alltag spricht man davon, dass Säure und Base einander „neutralisieren“, indem man zum Beispiel Medikamente wie Bullrich-Salz® betrachtet, welche bei Sodbrennen eingesetzt werden. Auch in den Schulbüchern der österreichischen Sekundarstufe findet sich oftmals eine Vermischung verschiedener Säure-Base-Konzepte (Lembens et al., 2019), und teilweise kombinieren Lehrpersonen Konzepte wie jenes nach Brønsted und Arrhenius zu Hybridkonzepten (Alvarado et al., 2015). Diese Vermischung von historischen Konzepten kann zur Entwicklung alternativer Vorstellungen beitragen, weshalb im Sinne einer Komplexitätsreduktion entweder ein Säure-Base-Konzept für den Unterricht gewählt wird, welches ausreichend viele Säure-Base-Reaktionen gut erklärt (Hawkes, 1992), oder historische Konzepte in ihrer Entwicklung nachvollzogen werden, um mehr über Nature of Science (NoS) und naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen zu lernen (Jiménez-Liso et al., 2020). Die hier vorgestellte Lernumgebung beabsichtigt mit dem Fokus ersteres, wobei Säure-Base-Reaktionen durch die Anwendung des Electron Pushing Formalisms (Ghosh & Berg, 2014) und verschiedener Modellierungen (Barke, 2015; Watson et al., 2020) anschlussfähiger an andere Reaktionstypen werden sollen (Krebs & Lembens, 2023). Die im Zuge eines Design-Based Research Projekts (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020) entwickelte Lernumgebung wurde zuerst kleinschrittig mittels qualitativer Methoden erprobt und weiterentwickelt (Krebs & Lembens, 2024) und dann in einer größeren Interventionsstudie evaluiert (Krebs et al., 2023). Im nachfolgenden Beitrag wird untersucht, inwiefern Lernende in der Interventionsstudie Aspekte des Säure-Base-Konzepts nach Brønsted fachlich angemessen definieren und erklären können und ein Ausblick auf Implikationen in der Praxis gegeben.

### **Forschungsdesign und Methoden**

In der Hauptstudie des hier vorgestellten Projekts wurde die entwickelte Lernumgebung in Kooperation mit drei Lehrpersonen an zwei österreichischen Gymnasien mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt evaluiert. Hierzu wurde ein selbst konzipierter Rasch-skaliertes Multiple-Choice-Wissenstest zu Säure-Base-Reaktionen zuerst pilotiert (N=134) und überarbeitet (Krebs et al., 2023), und anschließend gemeinsam mit sechs offenen Fragen

in Form eines Prä-Post-Settings eingesetzt. 57 Schüler:innen der Sekundarstufe II erhielten zunächst einen digitalen Prä-Test, der aus elf Multiple-Choice-Items und den sechs offenen Fragen bestand. Anschließend wurden von den teilnehmenden Lehrpersonen die sechs Unterrichtsstunden der Lernumgebung mittels Handreichung und zur Verfügung gestellten Materialien durchgeführt. Die Lehrpersonen dokumentierten Fragen und Unklarheiten bei der Arbeit mit dem Material, um einen weiteren Design-Zyklus und Vorschläge zur Überarbeitung der Unterlagen zu ermöglichen. Abschließend führten die Lernenden einen Post-Test durch, bestehend aus elf Multiple-Choice-Items mit ähnlicher Schwierigkeit und ähnlichem Inhalt sowie denselben sechs offenen Fragen, um ihren Zuwachs an deklarativem Wissen zu untersuchen. Die offenen Fragen leiteten die Schüler:innen dazu an, den zentralen Inhalt der letzten Unterrichtseinheiten zusammenzufassen, Säure-Base-Reaktionen, Säure und Base zu definieren und die Begriffe Säurestärke und Basenstärke zu klären. Diese offenen Fragen wurden mittels skalierender Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018) ausgewertet, sowie mittels thematischer Analyse (Braun & Clarke, 2022) in übergreifende Kategorien sortiert. In weiterer Folge wird auf einige Ergebnisse aus der thematischen Analyse eingegangen, um über die Multiple-Choice-Aufgaben hinaus zu verstehen, was über das Säure-Base-Konzept im Zuge der Intervention gelernt wurde.

## Ergebnisse

Bei der Auswertung der Schüler:innentexte wurden die folgenden Kategorien gebildet:

- Definition nach Brønsted
- Teilaspekte der Definition nach Brønsted
- Mangelhafte Definition, alternative Vorstellung
- anderes Säure-Base-Konzept (z. B. nach Arrhenius, Fokus auf pH-Wert)
- Paraphrase der Angabe
- fehlende Antwort



Abb. 1. Definitionen der ausgewählten Fachwörter.

Bei der Aufgabe, *Säure-Base-Reaktionen* zu erklären, formulierten viele Schüler:innen im Prä-Test eine Paraphrase der Angabe und es waren auch einige Nennungen von anderen Säure-Base-Konzepten zu finden. Beispielsweise beruft sich ein Schüler teilweise auf das Arrhenius-Konzept: „Bei einer Säure - Base Reaktion, reagieren eine Säure mit einer Base zu einem Salz und einem Wasser unter abgabe [sic] von Wärme (exoterm) [sic]“. Derselbe Schüler definiert die Säure-Base-Reaktion im Post-Test hingegen nach der Definition von Brønsted: „Bei einer Säure-Base Reaktion gibt Säure ein H Atom ab und die Base nimmt eins auf“. Bei der Definition der Fachwörter *Säure* und *Base* überwiegen in den Prä-Tests die Definitionen nach anderen Säure-Base-Konzepten (vorrangig werden hier Definitionen nach Arrhenius und über das Verhalten von sauren und basischen Lösungen genannt), während im Post-Test viele Schüler:innen erfolgreich das Konzept nach Brønsted anwenden oder wichtige Teilaspekte nennen. Ein vorherrschendes Problem ist jedoch, dass die Schüler:innen Stoff und Teilchen verwechseln (beispielsweise ist eine Säure „[e]in Stoff mit niedrigem ph-Wert und einem Wasserstoffatom“). Insbesondere das Fachwort *Base* dürfte den Schüler:innen jedoch Schwierigkeiten bereitet haben, da sowohl im Prä- als auch im Post-Test *Basen* als Gegenspielerinnen oder „Gegenteil“ von *Säuren* definiert wurden (vgl. Sheppard, 2006).

### **Diskussion**

Die hier vorgestellte qualitative Facette des Gesamtprojekts zeigt Zuwächse beim deklarativen Wissen zum Säure-Base-Konzept nach Brønsted. Während mittels des Multiple-Choices-Tests Aussagen über die Personenfähigkeiten der teilnehmenden Lernenden gemacht werden konnten und so gezeigt wurde, dass die Lernenden nach der Intervention mehr über Säure-Base-Reaktionen wussten als vorher, zeigen die Antworten auf die offenen Fragen, sie zumindest teilweise zentrale Aspekte des Säure-Base-Konzepts nach Brønsted verinnerlicht haben und auch erklären können. Auch wurden einige Erkenntnisse aus früheren Studien zu Lernendenvorstellungen bekräftigt, da einige Lernende Basen nur als Gegenspielerinnen von Säuren wahrnehmen (Sheppard, 2006), historische Konzepte vermischen (Hawkes, 1992) oder Stoff und Teilchen verwechseln (Barke, 2015).

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Dieser Beitrag präsentiert einen Einblick in die Hauptstudie eines Design-Based Research Projekts zur Entwicklung einer Lernumgebung. Ziel der Lernumgebung ist es, Säure-Base-Reaktionen in einer anschlussfähigen, fachlich adäquaten und nachvollziehbaren Weise zu unterrichten. Für diesen Zweck wurden verschiedene Visualisierungen (z. B. Electron Pushing Formalism) in einer Intervention in der Sekundarstufe II eingesetzt, und das deklarative Wissen der Lernenden im Prä-Post-Setting verglichen. Wie oben dargestellt hat die Lernumgebung Lernende dabei unterstützt, das Säure-Base-Konzept nach Brønsted zu verstehen und zu erklären. Für die Praxis ergibt sich aus diesen Ergebnissen und denen früherer Untersuchungen des Projekts (Krebs, Rost & Lembens, 2023; Krebs & Lembens, 2024), dass ein ausgewähltes Säure-Base-Konzept mit Fokus auf Nachvollziehbarkeit und Anschlussfähigkeit. Das hier gewählte Brønsted-Konzept bietet ausreichend Komplexität, um viele Säure-Base-Reaktionen sowie das Verhalten saurer und basischer Lösungen zu erklären, und der Reaktionsmechanismus ist mit Visualisierungen und Pfeildarstellungen gut nachvollziehbar.

## Literatur

- Alvarado, C., Cañada, F., Garritz, A., & Mellado, V. (2015). Canonical pedagogical content knowledge by CoRes for teaching acid–base chemistry at high school. *CERP*, 16(3), 603–618. <https://doi.org/10.1039/C4RP00125G>
- Barke, H.-D. (2015). Brönsted-Säuren und Brönsted-Basen. *Chemie & Schule*, 30(1), 10–15.
- Braun, V., & Clarke, V. (2022). *Thematic analysis: A practical guide*. SAGE.
- Demuth, R., & Schöttle, M. (2014). Säuren und Laugen: nicht nur ätzend. *Chemie Im Kontext - Sekundarstufe I*, 5–55.
- deVos, W., & Pilot, A. (2001). Acids and Bases in Layers: The Stratal Structure of an Ancient Topic. *Journal of Chemical Education*, 78(4), 494. <https://doi.org/10.1021/ed078p494>
- Ghosh, A., & Berg, S. (2014). *Arrow pushing in inorganic chemistry: A logical approach to the chemistry of the main-group elements*. John Wiley & Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118924525>
- Haagen-Schützenhöfer, C., & Hopf, M. (2020). Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020152>
- Hawkes, S. J. (1992). Arrhenius confuses students. *Journal of Chemical Education*, 69(7), 542. <https://doi.org/10.1021/ed069p542>
- Jiménez-Liso, M. R., López-Banet, L., & Dillon, J. (2020). Changing How We Teach Acid-Base Chemistry: A Proposal Grounded in Studies of the History and Nature of Science Education. *Science & Education*, 1–25. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00142-6>
- Krebs, R. E., & Lembens, A. (2023). Säure-Base-Reaktionen in der SEK II - Evaluierung einer Lernumgebung. In H. van Vorst (Ed.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt* (pp. 438–442). GDPC Jahrestagung.
- Krebs, R. E., Rost, M., & Lembens, A. (2023). Developing and evaluating a multiple-choice knowledge test about Brønsted-Lowry acid-base reactions for upper secondary school students. *Chemistry Teacher International*, 5(2), 177-188. <https://doi.org/10.1515/cti-2022-0038>
- Krebs, R. E., & Lembens, A. (2024). “Acids are those dangerous green liquids, and what’s a base?” – Evaluating upper secondary students’ ‘acceptance’ of a learner-appropriate approach to teaching about acid-base reactions. *PriSE*, 7(1), 26-39. <https://doi.org/10.25321/prise.2024.1423/>
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Auflage). Grundlagentexte Methoden. Beltz Juventa.
- Lembens, A., Hammerschmid, S., Jaklin-Farther, S., Nosko, C., & Reiter, K. (2019). Textbooks as source for conceptional confusion in teaching and learning ‘acids and bases’ in lower secondary school. *Chemistry Teacher International*, 1(2), 1-11. <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0029>
- Paik, S.-H. (2015). Understanding the Relationship among Arrhenius, Brønsted–Lowry, and Lewis Theories. *Journal of Chemical Education*, 92(9), 1484–1489. <https://doi.org/10.1021/ed500891w>
- Sheppard, K. (2006). High school students’ understanding of titrations and related acid-base phenomena. *CERP*, 7(1), 32–45. <https://doi.org/10.1039/B5RP90014J>
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *CERP*, 14(2), 156–168.
- Watson, S. W., Dubrovskiy, A. V., & Peters, M. L. (2020). Increasing chemistry students’ knowledge, confidence, and conceptual understanding of pH using a collaborative computer pH simulation. *CERP*, 21(2), 528–535. <https://doi.org/10.1039/c9rp00235a>