

Wie werden Diagramme im Chemieschulbuch eingesetzt? Eine qualitative Analyse

Theoretische Grundlagen und übergeordnetes Forschungsvorhaben

Diagramme spielen eine zentrale Rolle im Alltag, in der Wissenschaft und in der Schule. Aus schulischer Perspektive wird die Bedeutung von Diagrammen zum einen durch ihre curriculare Verankerung deutlich (z. B. Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022), zum anderen durch die Notwendigkeit, die Diagrammkompetenz der Schüler:innen zu fördern. Studien belegen, dass der Umgang mit Diagrammen aufgrund ihrer hohen Informationsdichte und Abstraktheit für viele Lernende eine Herausforderung darstellt (z. B. Lachmayer, 2008; Carpenter & Sha, 1998; Jahnke, 2020). Diagramme zählen zu der Klasse der visuellen, depiktionalen Repräsentationen und werden von realistischen Bildern abgegrenzt (Schnotz, 2001; Lachmayer, 2008). Sie visualisieren Beziehungen zwischen Variablen, von denen mindestens eine kontinuierlich ist. Skalen definieren dabei die möglichen Ausprägungen, die eine Variable annehmen kann. Dadurch lässt sich eine Variable anhand ihrer relativen Position zu den Achsen beschreiben (ebd.). Um den Herausforderungen des Diagrammeinsatzes adäquat zu begegnen und die Vorzüge von Diagrammen nutzen zu können, ist *Diagrammkompetenz* erforderlich. Diese umfasst die kognitiven Fähigkeiten, Diagramme zu verstehen und auf Grundlage dessen, eigenständig diagrammbezogene Aufgaben und Probleme betreffend der Informationsentnahme und -verarbeitung zu lösen sowie Diagramme eigenständig zu konstruieren (in Anlehnung an Lachmayer, 2008). Fachspezifische Untersuchungen zum Einsatz von Diagrammen und zur Diagrammkompetenz wurden bereits in der Biologie- (z.B. Jahnke, 2020), Mathe- (z.B. Curcio, 1987), Physik- (z.B. Scheid & Kauertz, 2024) und Geographiedidaktik (z.B. Brahm et al., 2023) durchgeführt. Für das Fach Chemie existieren jedoch bislang nur wenige Studien zu diesem Thema. Hier setzt das übergeordnete Forschungsvorhaben an. Das Ziel ist es, herauszufinden, wie die Diagrammkompetenz von Schüler:innen im Chemieunterricht diagnostiziert und durch gezielte adressatenangemessene Differenzierungsmaßnahmen gefördert werden kann.

Zielsetzung und Leitfrage der Voruntersuchung

Um die Diagrammkompetenz der Schüler:innen im Chemieunterricht diagnostizieren zu können, ist es zunächst erforderlich, grundlegende Erkenntnisse über den fachspezifischen Diagrammeinsatz im Fach Chemie zu erlangen. Aus diesem Grund wird im Rahmen einer Voruntersuchung eine Schulbuchanalyse durchgeführt, um die in Chemieschulbüchern eingesetzten Diagramme systematisiert und kategoriengeleitet erfassen zu können. Die Leitfrage der Voruntersuchung lautet folglich: Wie werden Diagramme im Chemieschulbuch eingesetzt? Die Leitfrage wird in die folgenden drei Untersuchungsfragen aufgeschlüsselt:

UF₁: Welche Arten von Diagrammen werden im Chemieschulbuch eingesetzt?

UF₂: In welchen Inhaltsfeldern werden Diagramme besonders häufig eingesetzt?

UF₃: Welcher Kompetenzkomponente entsprechen die Diagrammaufgaben?

Untersuchungsdesign und Vorgehen der Voruntersuchung

Zur Beantwortung der Leitfrage wird eine systematische, regelgeleitete Schulbuchanalyse von acht Schulbüchern in Anlehnung an Liu und Treagust (2013) und Tang (2023) durchgeführt.

Dabei werden alle in den Schulbüchern vorkommenden Diagramme, realistischen Bilder und ihre jeweiligen Unterarten (bei Diagrammen z.B. Linien-, Balken- und Kreisdiagramme) auf Grundlage der Definitionen in Anlehnung an Lachmayer (2008) und Novick (2006) identifiziert (bisher: $N_{\text{Schulbücher}} = 1624$). Eine Besonderheit bildet die Unterkategorie *Sonderform*, die Visualisierungen umfasst, die zwar Diagrammelemente enthalten (z.B. eine x-Achse), jedoch nicht vollständig einer Diagrammart zuzuordnen sind. Bei der Auswahl wird darauf geachtet, dass die Schulbücher aus verschiedenen Verlagen stammen und beide Sekundarstufen sowie zwei Schulformen (Realschule, Gymnasium) abdecken. Die Auswertung orientiert sich am Vorgehen nach Liu und Treagust (2013). Die Diagramme werden mit einem deduktiv-induktiv-entwickelten Kategoriensystem nach Kuckartz und Rädiker (2022) kodiert. Das Kategoriensystem sowie schwer zuzuordnende Diagramme werden in zwei Kodierkonferenzen mit zwei Intercoder:innen konsensuell kodiert (ebd.).

Erste Ergebnisse

In Bezug auf UF₁ zeigt sich, dass in den Schulbüchern realistische Bilder deutlich häufiger als Diagramme eingesetzt werden. Beim Vergleich der beiden Sekundarstufen wird gleichzeitig deutlich, dass der Differenz der beiden visuellen Repräsentationsformen in der Sekundarstufe II geringer ausfällt und Diagramme in der Sekundarstufe II häufiger eingesetzt werden als in der Sekundarstufe I. Dieses Ergebnis lässt sich durch die zunehmende Bedeutung von Diagrammen für die Visualisierung der komplexeren Inhalte in der Sekundarstufe II erklären. Eine mögliche Erklärung für den häufigeren Einsatz realistischer Bilder in der Sekundarstufe I ist, dass diese den Schüler:innen im Vergleich zu den abstrakteren Diagrammen aufgrund ihres geringeren chemischen Vorwissens eine einfachere und unmittelbare Informationsentnahme ermöglichen (Curcio, 1987). Liniendiagramme werden am häufigsten eingesetzt. Die Analyse zeigt weiterhin, dass die chemischen Diagramminhalte häufig prozess- und seltener produktorientiert sind, was sich in der hohen Anzahl an Temperatur- und Konzentrationsdiagrammen widerspiegelt. Damit hängt die Diagrammform stark vom fachlichen Inhalt ab. Eine Besonderheit des Fachs Chemie zeigt sich im hohen Einsatz fachspezifischer Diagrammart (Kodierung als *Sonderform*), die v.a. Energiediagramme betreffen. Es wird deutlich, dass der Term *Energiediagramm* verschiedene Diagrammformen umfasst. An dieser Stelle verdeutlicht sich die o.g. enge Beziehung zwischen Diagrammform und -inhalt. Durch die verschiedenen Diagrammformen werden jeweils unterschiedliche Inhalte betont bzw. jeweils inhaltliche Schwerpunkte gesetzt. Beispielsweise fokussiert ein balkendiagrammartiges Energiediagramm den Vergleich der höheren Energie der Edukte mit der niedrigen Energie der Produkte bei einer exothermen Reaktion, es zeigt folglich deren *Differenz*. Dagegen verdeutlicht ein liniendiagrammartiges Energiediagramm zur Katalyse die Unterschiede im energetischen *Verlauf* einer katalysierten und nicht-katalysierten chemischen Reaktion. Die Wahl der Diagrammform erfolgt somit auf Grundlage didaktischer Überlegungen bezüglich der jeweiligen Zielsetzung, die durch den zu vermittelnden Inhalt gesteuert werden. Demnach stellt die gleiche Benennung unterschiedlicher Diagrammtypen eine potenzielle Herausforderung für Schüler:innen dar, was eine bewusste, bedeutungsdifferenzierte Verwendung des Begriffs „Energiediagramm“ in Abhängigkeit des jeweiligen Fachinhalts erfordert.

Die Ergebnisse von UF₂ zeigen, dass Diagramme in der Sekundarstufe I v.a. im Inhaltsfeld der *Organischen Chemie* und in der Sekundarstufe II hauptsächlich in den Inhaltsfeldern *Reaktionsgeschwindigkeit* und *Elektrochemische Prozesse und Energetik* eingesetzt werden.

Die Diagramme visualisieren bei Letzteren v.a. Verläufe von chemischen Reaktionen (z.B. Geschwindigkeit) und thematisieren bzw. transportieren abstraktere chemische Inhalte (z.B. Enthalpie). Die Komplexität der Diagramme wird zusätzlich erhöht, indem sie teils ohne erklärenden Text oder Diagrammunterschriften abgebildet werden, d.h. für sich stehen. Eine Herausforderung im Umgang mit Diagrammen im Fach Chemie resultiert demnach aus der Visualisierung eines abstrakten Inhalts bei gleichzeitig abstrakter Diagrammform, was das Risiko eines *representation dilemma* birgt (Rau, 2017). Da Diagrammverstehen voraussetzungsreich und nicht intuitiv ist, kann diese doppelte Abstraktion außerdem zu einem potenziellen *cognitive overload* bei den Lernenden führen (Chandler & Sweller, 1991). Diese Herausforderungen verdeutlichen die Notwendigkeit, die Diagrammkompetenz von Lernenden gezielt zu fördern. Unterschiede im Diagrammeinsatz zwischen Schulbüchern zeigen sich auch methodisch: Während einige Schulbücher spezielle Methodenseiten zur Diagrammbeschreibung, -konstruktion und -auswertung enthalten, fehlen solche Anleitungen in anderen Schulbüchern. Wenn das jeweilige Schulbuch als Lernmedium genutzt wird, kann dies zu einer unterschiedlichen Ausbildung der Diagrammkompetenz der Lernenden führen.

Die Diagrammaufgaben haben in Abhängigkeit der jeweiligen Sekundarstufe verschiedene Schwerpunkte (UF₃). In der Sekundarstufe I zielt der überwiegende Anteil der Aufgaben v.a. auf Aspekte der Diagrammkonstruktion ab, sodass der Einsatz von Diagrammen als fachwissenschaftliche Methode im Vordergrund steht. In der Sekundarstufe II dagegen adressieren Diagrammaufgaben v.a. Komponenten der Informationsentnahme und -verarbeitung, es wird der Umgang mit einem gegebenen Diagramm gefordert und Diagramme werden als Mittel des fachlichen Lernens eingesetzt. Die Fähigkeit zur Diagrammkonstruktion wird hier vorausgesetzt. Die Diagrammaufgaben sind i.d.R. komplex und erfordern höhere Kompetenzstufen, wie z.B. die Interpretation und Begründung von Diagrammen. Das zeigt, dass die Förderung der Diagrammkompetenz im Fach Chemie, sowohl in Bezug auf die Konstruktion als auch in Bezug auf die Informationsentnahme und -verarbeitung bereits früh in Sekundarstufe I gefördert und in der Sekundarstufe II kontinuierlich weitergeführt werden muss, um einen langfristigen und nachhaltigen adäquaten Umgang mit chemischen Diagrammen zu gewährleisten.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zum Diagrammeinsatz im Chemieschulbuch zeigen die hohe inhaltsfeldübergreifende Bedeutung von Diagrammen, insbesondere von Liniendiagrammen, für das Fach Chemie. Die Wahl der Diagrammform ist vom visualisierten bzw. transportierten Fachinhalt abhängig. Eine besondere Herausforderung im Chemieunterricht besteht darin, dass abstraktere Inhalte häufig mithilfe ebenso abstrakter Diagramme dargestellt werden, was die Komplexität insgesamt erhöht und das Risiko einer kognitiven Überlastung birgt. Um den Herausforderungen der verschiedenen Diagramme im Fach Chemie adäquat zu begegnen und von ihren Vorzügen langfristig profitieren zu können, benötigen Schüler:innen daher eine angemessene Diagrammkompetenz. An dieser Stelle setzt die Hauptuntersuchung des Forschungsvorhabens an. Basierend auf der diagnostizierten Diagrammkompetenz von Schüler:innen (Hauptuntersuchung Teil 1) werden Möglichkeiten zur Förderung der Diagrammkompetenz im Fach Chemie entwickelt (Hauptuntersuchung Teil 2). Aus den Ergebnissen der Voruntersuchung werden Kriterien abgeleitet, die der Hauptuntersuchung 1 und 2 zu Grunde liegen.

Literatur

- Brahm, T., Ring, M., & Bullinger, L. (2023). Diagramme im Unterrichtsgespräch am Beispiel der Besprechung einer Klassenarbeit im Geographieunterricht. In M. Syring, N. Becker, T. Bohl & B. Tesch (Eds.), Klasse 6B. Eine Unterrichtswoche. Bildungswissenschaftliche und fachdidaktische Analysen. Tübingen: TUP-Verlag, 197-208.
- Carpenter, P. A., & Shah, P. (1998). A Model of the Perceptual and Conceptual Processes in Graph Comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 4 (2), 75-100.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8 (4), 293-332.
- Curcio, F. R. (1987). Comprehension of Mathematical Relationships Expressed in Graphs. *Journal for Research in Mathematics Education*, 18 (5), 382-393.
- Jahnke, L. (2020). Diagrammverstehen in der Biologie – Förderung des Diagrammverstehens durch Anregung zur Bildung translationaler Kohärenz. Münster: Westfälische Universität.
- Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2022). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Grundlagentexte Methoden. Weinheim, Basel: Beltz.
- Lachmayer, S. (2008). Entwicklung und Überprüfung eines Strukturmodells der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht. Dissertation. Kiel.
- Liu, Y., & Treagust, D. F. (2013). Content Analysis of Diagrams in Secondary School Science Textbooks. In M. S. Khine (Ed.), *Critical Analysis of Science Textbooks*. Dordrecht: Springer, 287-300.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2022) (Ed.), Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Chemie.
- Novick, L. R. (2006). The Importance of Both Diagrammatic Conventions and Domain-Specific Knowledge for Diagram Literacy in Science: The Hierarchy as an Illustrative Case. In D. Barker-Plummer, R. Cox & N. Swoboda (Eds.), *Diagrammatic Representation and Inference*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1-11.
- Rau, M. A. (2017). Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning. *Educational Psychology Review*, 29 (4), 717-761.
- Scheid, J., & Kauertz, A. (2024). Erhebung von Diagrammkompetenz in Physik. In H. van Vorst (Ed.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung 2023*. Duisburg-Essen: GDCh, 406-409.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29 (4), 292-318.
- Tang, K. (2023). Distribution of Visual Representations Across Scientific Genres in Secondary Science Textbooks: Analysing Multimodal Genre Pattern of Verbal-Visual Texts. *Research in Science Education*, 53 (2), 357-375.