

Arten chemischer Experimente und ihre Implikationen für die Gestaltung von Lernhilfen

Motivation

Experimente ermöglichen als handelnde Auseinandersetzung mit der Natur die Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Perspektive auf die Welt und kritisch-rationale Teilhabe an Gesellschaft. Als solche haben sie neben ihrer erkenntnisunterstützenden Funktion Potenzial für die Persönlichkeits- und Allgemeinbildung (Emden, Bewersdorff & Baur, 2019). Diese Bedeutung von Experimenten vermittelt sich in Schule und Unterricht durch vielfältige Bildungsziele: Erstens dienen sie der Gewinnung von Erkenntnissen im Kontext von Problemlöseprozessen, Zweitens werden sie unter dem Anspruch schüler:innenzentrierten Unterrichts selbst zum Lerngegenstand und bieten darüber Drittens Anlässe, um Charakteristika von Naturwissenschaft zu reflektieren (Hodson, 2014). In den deutschen Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss werden diese Ziele über den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung konzeptualisiert, in welchen sich experimentelle Kompetenzen einordnen (KMK 2024, S. 10f.). Die Förderung experimenteller Kompetenzen ist mit vielfältigen Schwierigkeiten verbunden (Kranz, Baur & Möller, 2022). Insbesondere die systematische Strukturierung des eigenen Vorgehens im Kontext selbstständigen Problemlösens ist für Schüler:innen herausfordernd. Für die Kompetenzentwicklung werden deshalb unter Anderem gestufte Lernhilfen im Kontext von ‚Guided Inquiry Learning‘ vorgeschlagen (Arnold, Kremer & Mayer, 2017; Stiller & Wilde, 2021).

Es stellt sich aufbauend die Frage, wie gestufte Lernhilfen unter besonderer Berücksichtigung individueller Lernvoraussetzungen und Fachperspektiven entwickelt werden können.

Allgemeines Vorgehen für die Ableitung von Lernhilfen

Für die Entwicklung eines Vorgehens zur Ableitung der Lernhilfen sind eine Reihe theoretischer Vorannahmen zu treffen, welche die Konzeptionierungen bestimmen und daher hier transparent gemacht werden:

- Kompetenz wird als Kontinuum verstanden (Blömeke, Gustafsson & Shavelson, 2015; siehe auch Krell et al. 2022), d.h. beobachtbares Handeln ergibt sich aus der Transformation individueller Dispositionen über situationsspezifische Fähigkeiten und Fertigkeiten,
- Experimentieren entspricht lernpsychologisch einem Problemlöseprozess (Klahr, 2000),
- Experimentieren als Abfolge verschiedener Prozeduren resultiert somit aus der Interaktion einer Person mit spezifischen Lernvoraussetzungen mit einer Situation mit spezifischen Anforderungen (vermittelt über Problemstellungen) (Härtig, Neumann & Erb, 2017)

Entsprechend dieser Prämissen setzt die Erstellung von Lernhilfen an der Auswahl von Problemstellungen an, die es für Lernende erforderlich machen, ein Experiment als Methode zur Problemlösung zu wählen. Die Problemstellungen stehen dabei exemplarisch für bestimmte Problemtypen über die sich der Zweck experimenteller Untersuchungen und damit auch die Fachperspektive vermittelt (Gut-Glanzmann und Mayer, 2018). Auf Grundlage einer konkreter Problemstellung lassen sich aufbauend idealisierte Problemlöseprozesse als Abfolge

experimenteller Prozeduren beschreiben, über die sich fachspezifisch Anforderungen an die Experimentator:innen konkretisieren (ebd.). Unter Rückbezug auf individuelle Lernvoraussetzungen sind damit mögliche Lernhürden antizipier- und Lernhilfen ableitbar.

Aus dieser Logik ergibt sich, dass sich eine methodisch-kohärente Formulierung von Lernhilfen am Zweck einer naturwissenschaftlichen Untersuchung – also am Problemtyp – orientieren muss, weil nur so inhaltliche Anforderungen zugänglich werden. Gerade weil die einzelnen Naturwissenschaften verschiedene Problemstellungen (bzw. Fragen) untersuchen, unterscheidet sich die experimentelle Methodik zwischen den Fächern und damit auch die darüber abzuleitende Unterstützungsstruktur für Lernende.

Im Folgenden soll die Logik dieser Argumentation exemplarisch anhand einer kurzen, wissenschaftstheoretischen Differenzierung verschiedener Arten chemischer Experimente illustriert werden, über die sich experimentelle Problemtypen charakterisieren lassen. Damit wird auch die Forderung fundiert, dass für Studien zur Gestaltung und Wirksamkeit von Lernhilfen zur Förderung experimenteller Kompetenzen fachspezifische Besonderheiten experimenteller Methoden berücksichtigt werden müssen.

Arten chemischer Experimente

Experimentelle Methoden dienen der Beantwortung von Fragen, die sich aus fachspezifischen Perspektiven der jeweiligen Wissenschaft ergeben. Für den chemischen Anfangsunterricht kann diese als ‚Stoffperspektive‘ beschrieben werden. Unter der Stoffperspektive werden Fragen nach der Charakterisierung und Abgrenzung verschiedener Stoffklassen über die Beschreibung chemischen Eigenschaften zusammengefasst. Letztere bezeichnen die Möglichkeit von Substanzen, sich unter bestimmten äußeren Bedingungen ineinander umzuwandeln (Schummer, 1994). Experimente dienen hierbei der gezielten und wiederholbaren Auswahl sowie Herstellung dieser äußeren Bedingungen (z.B. Auswahl Substanzen, Geräte) unter Beachtung der Variablenkontrolle. Chemische Eigenschaften werden so über Experimente als intentionaler Erkenntniszugang nicht theoretisch vorentworfen, so dass sie eine vom Stoff unabhängige Bedeutung hätten. Vielmehr konstituiert die Charakterisierung des stofflichen Verhaltens im Experiment erst, was chemisch unter einem Stoff zu verstehen ist. (Daza & Bernal, 2010, S. 84; Schummer, 1994)

Dieses Vorgehen (im Folgenden als ‚Analyse‘ bezeichnet) ist im Anfangsunterricht Voraussetzung für Theoriebildungen als (Re-)Konstruktion von Modellvorstellungen zum Bau der Stoffe bzw. von Reaktionsmechanismen. Die Bezeichnung ‚Brennbarkeit‘ verweist beispielsweise unmittelbar auf die Möglichkeit, dass eine Substanz unter bestimmten Bedingungen mit Sauerstoff zu einer neuen Substanz reagiert. Stoffe, die sich chemisch ähnlich verhalten, d.h. gleiche chemische Eigenschaften haben, lassen sich zu einer Stoffklasse zusammenfassen und sind damit von anderen abgrenzbar (Daza & Bernal, 2010, S. 94; Schummer, 1994) (z.B. Reaktivität von Metallen mit verdünnten Säuren vs. Salze mit verdünnten Säuren). Werden zusätzlich auch quantitativ Messgrößen (z.B. physikalische Eigenschaften) bestimmt, lassen sich Stoffe auch innerhalb einer bekannten Stoffklasse weiter differenzieren (z.B. Säurestärke, Redoxpotenzial).

Beide Formen der Analyse können mit konfirmativen oder explorativen Denkweisen verbunden sein (Emden & Colberg, 2025; Schulz, Wirtz & Staraschek, 2012). Die Entwicklung und Ausdifferenzierung der ‚Stoffbegriffe‘, wie sie im Anfangsunterricht Chemie fokussiert wird, setzt hierbei aber notwendig (!) eine Analyse im Modus der Exploration voraus, weil es gerade

um Theorie-Bildung (Modellvorstellungen auf Teilchenebene als Interpretation chemischer Eigenschaften) geht und daher keine Hypothesen über das Verhalten von Stoffen vorab aufgestellt werden können. Explorative Experimente haben im Chemieunterricht insofern eine herausragende Bedeutung. Im Lehrplan Sachsen Chemie wird diese Art experimenteller Methodik implizit häufig am Anfang von Lernbereichen gefordert – insbesondere, wenn neue Stoffklassen eingeführt werden. In der aktuellen naturwissenschaftsdidaktischen Forschung liegt der Schwerpunkt bisher vor allem auf konfirmativen Experimenten.

Ferner sucht Chemie nicht nur mit Analysen als gezielte Manipulation von Natur jene zu erklären (=Erkenntnisinteressen), sondern auch zu gestalten. D.h. sie thematisiert mit der Synthese als weitere Form des Experimentes unmittelbar die Manipulationen selbst, was die Chemie zu einer kreativen Naturwissenschaft macht und vom Fach Physik abgrenzt (Dolino, 2018). Synthesen dienen entsprechend vorrangig nicht der Theorieentwicklung oder -rechtfertigung, sondern sind spezifische Formen der Theorieanwendung. Als solche können sie daher auch nicht die Gültigkeit von Theorien in Frage stellen, sondern lediglich Limitationen ihrer Anwendbarkeit aufzeigen. Das liegt nicht zuletzt daran, dass bei den Synthesen üblicherweise gar keine alternativen Versuchsausgänge (im Sinne von Alternativhypothesen) vorgesehen sind. (Goodwin, 2012, S. 429ff.)

Damit sind Synthesen formal auch nicht über die beiden Denkweisen Konfirmation und Exploration beschreibbar, sondern folgen eher technischen Denkweisen („design-thinking“). Im Lehrplan Sachsen Chemie kommen solche Experimente vorrangig als technische Synthesen (z. B. Haber-Bosch-Verfahren) in höheren Klassenstufen vor. Laborsynthesen, im Sinne der präparativen Chemie, werden quasi gar nicht explizit gefordert.

Fazit und Ausblick

Die kurze Erörterung soll aufzeigen, dass Fachperspektiven spezifische Formen experimenteller Methodik implizieren, die berücksichtigt werden müssen, um fachliche Anforderungen für die Gestaltung von Lernhilfen zur Unterstützung experimenteller Problemlöseprozesse angemessen zu entwickeln und zu untersuchen. Für chemische Experimente zeigt sich das an mindestens drei Aspekten:

- Chemie arbeitet sowohl deskriptiv über Analysen als auch kreativ über Synthesen. Für ein ganzheitliches Verständnis experimenteller Methodik müssen beide Formen gleichermaßen für die Kompetenzentwicklung berücksichtigt werden.
- Explorative Experimente im Kontext von Analysen sind für die chemische Theoriebildung notwendig. Sie folgen dem Gang einer methodischen Induktion (bzw. Abduktion), die sich erkenntnistheoretisch vom hypothetisch-deduktiven Erkenntnisweg unterscheidet und damit andere Strukturierungshilfen erfordert.
- Chemische Synthesen sind als Experimente nicht hinreichend mit explorativen bzw. konfirmativen Denkweisen beschreibbar, sondern sind eher am technischen Denken orientiert, was entsprechend andere Strukturierungshilfen erfordert.

Naturwissenschaftsdidaktische Studien, welche fachspezifische Besonderheiten (konzeptualisiert als Problemtypen) von Experimenten bei der Kompetenzentwicklung berücksichtigen, sind bisher rar. In einem laufenden Promotionsvorhaben wird daher die Frage untersucht, welche Konsequenzen die Beachtung verschiedener experimenteller Problemtypen für die Entwicklung von gestuften Lernhilfen hat und inwiefern sich die experimentellen Kompetenzen Lernender der Sekundarstufe I unter Nutzung der Lernhilfen entwickeln.

Literatur

- Arnold, J., Kremer, K. & Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. Eine empirische Untersuchung zur Wirkung von Lernunterstützungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 21-37
- Bernal, A. & Daza, E. E. (2010). On the epistemological and ontological status of chemical relations. *Hyle*, 16 (2), 80–103
- Blömeke, S., Gustafsson, J.-E. & Shavelson, R. J. (2015). Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift Für Psychologie*, 223(1), 3–13.
- Dolino, L. G. O. (2018). Chemistry as a creative science. *Foundations of Chemistry*, 20(1), 3–13
- Emden, M., Bewersdorff, A. & Baur, A. (2019). Kann Experimentieren in der Schule bilden? Ein Beitrag zur bildungstheoretischen Legitimation eines selbstverständlichen Gegenstandes des Naturwissenschaftsunterrichts. *Zeitschrift für Pädagogik*, 65(5), 710-729
- Emden, M. & Colberg, C. (2025). Die naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen im Lehrplan 21: Rekonstruktion einer Typologie aus naturwissenschafts-didaktischer Perspektive. *Progress in Science Education*, 8(2), 19–36
- Goodwin, W. (2012). Experiments and theory in the preparative sciences. *Philosophy of Science*, 79(4), 429-447
- Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121-140). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Härtig, H., Neumann, K. & Erb, R. (2017). Experimentieren als Interaktion von Situation und Person. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 1–10
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: Different goals demand different learning methods. *International journal of science education*, 36(15), 2534-2553
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. The MIT Press.
- KMK. (2024). *Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Chemie (MSA)* Beschluss vom 16.12.2004 i.d.F. vom 13.06.2024: München.
- Kranz, J., Baur, A., & Möller, A. (2022). Learners' challenges in understanding and performing experiments: A systematic review of the literature. *Studies in Science Education*, 59(2), 321-367
- Krell, M., Vorholzer, A. & Nehring, A. (2022). Scientific reasoning in science education: From global measures to fine-grained descriptions of students' competencies. *Education Sciences*, 12(2), 97–105
- Schulz, A., Wirtz, M. & Starauschek, E. (2012). Das Experiment in den Naturwissenschaften. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht*. Waxmann.
- Schummer, S. (1994). Die Rolle des Experimentes in der Chemie. In P. Janich & N. Psarros (Hrsg.), *Philosophische Perspektiven der Chemie*, Mannheim: BI-Wissenschaftsverlag, 27–51
- Stiller, C. & Wilde, M. (2021). Einfluss gestufter Lernhilfen als Unterstützungsmaßnahme beim Experimentieren auf den Lernerfolg im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(3), 743-763.