

Von der Komplexität einfacher Experimente - alte Stolpersteine neu beleuchtet

Unter den Unterrichtsthemen im Fach Chemie ist die Stöchiometrie in Verbindung mit der Erarbeitung quantitativer Verhältnisse bei chemischen Reaktionen ein beständiger Stolperstein (Schmidt, 1990), der in den vergangenen Jahrzehnten immer wieder Gegenstand fachdidaktischer Forschung war (einen Überblick geben Taskin & Bernholt, 2014). Trotz vielfältiger Ideen zum Abbau der Lernhürden (z. B. Rossa, 1998; Wohlmuth, 2005; Fach, 2007), wird auch in aktuelleren Studien (Harsch, Heimann & Kipker, 2002; Bernholt, 2012) aufgezeigt, dass bei verhältnismäßig vielen Schülerinnen und Schülern Unsicherheiten und Fehlvorstellungen im Umgang mit chemischen Formeln vorhanden sind.

Nach Johnstone (1997) entstehen einige Probleme durch die begrenzte Informationsverarbeitungskapazität des Arbeitsgedächtnisses (siehe auch 'Cognitive Load Theory', z. B. Paas et al., 2003) bei gleichzeitig hoher Komplexität der Aufgabenstellung: *„List for yourself the number of things the student has to do [while solving an experimental task], the number of observations that have to be made (...) and the number of theoretical ideas that have to be recalled to make sense of these observations and instructions. The total is staggering!“* (Johnstone, 1997, S. 266)

Einen Schritt hin zu einem derartigen Auflisten von Denk- und Arbeitsprozessen, wie sie im obigen Zitat beschrieben werden, hat Scott (1992) mit den „conceptual pathways“ für die Analyse von Lehrplänen in der Didaktik der Physik vorgeschlagen. Zusammen mit der Weiterentwicklung durch Petri & Niedderer (2001), die in einem detaillierteren Ansatz auch Zwischenstufen auf dem Weg zu einem adäquaten Verständnis des betreffenden Lerngegenstands beachten, ist dies die Grundlage für die von uns vorgenommene Lernpfadanalyse, mit deren Hilfe zwei konkrete Fragestellungen angegangen werden sollen:

1. Wie können die Denkprozesse von Lernenden genauer analysiert werden, um Hinweise für eine alternative Strukturierung der betreffenden Lerngegenstände zu erhalten?
2. Wie können individuelle Lösungsstrategien der Lernenden identifiziert werden und ggf. im Unterricht eingesetzt werden, um andere Lernende zu unterstützen?

Lernpfadanalyse meint in diesem Projekt die Untersuchung der Abfolge von Denk- und Arbeitsschritten von Lernenden, die bei der Erschließung einer Problemlösung durchlaufen werden. Aus der video- und audiografierten Bearbeitung einer Lernumgebung durch je zwei Schülerinnen und Schüler in einem Design-Experiment wird ein Transkript angefertigt und dieses wird in einen individuellen Lernpfad des Lernerpaars übersetzt.

Als „Richtschnur“ für die Analyse dient ein Experten-Lernpfad, der im Vorfeld basierend auf Schulbuchstrategien aus der Sicht eines gedachten, idealen Lerners erstellt wurde (Abb.1). Zur Visualisierung als Flussdiagramm wird der Lernpfad in Sinnabschnitte unterteilt, die einen durchlaufenden Zeitstrahl (grau hinterlegt) bilden. Zu jedem Sinnabschnitt werden links neben dem Zeitstrahl das benötigte Vorwissen und auf der rechten Seite alle aktiven Prozesse gelistet (z. B. Inputs, Beobachtungen, Deutungen, oder auch vorhersehbare Kommunikationselemente zwischen den Lernenden bzw. zwischen den Lernenden und der Lehrkraft) und in eine zeitlich sinnvolle Reihenfolge gebracht.



Abb. 1: Stark verkürzte Darstellung des Expertenlernpfades zur LU Kupferoxid

Aus den Abweichungen, die der individuelle Lernpfad gegenüber dem Expertenpfad aufzeigt, lassen sich Problemstellen in der Lernumgebung, fehlendes Vorwissen, alternative (ggf. nicht korrekte) Denkmuster oder auch individuelle Lösungsstrategien bei den Lernenden identifizieren. Dieses Verfahren ist gestützt auf Methoden der rekonstruktiven Sozialforschung (Bohnsack, 2010) und ermöglicht eine Visualisierung der individuellen kognitiven Prozesse des Lernerpaars.

In einem der Design-Experimente haben die Schülerinnen und Schüler die Reduktion von Kupferoxid mithilfe von Wasserstoff zur Einführung von Summenformeln über die Entdeckung von konstanten Massenverhältnissen in stöchiometrischen Verbindungen (z. B. Schmidt & Seitz, 1977) durchgeführt. Da die Lerner über unterschiedliches Vorwissen und somit auch über inhomogene Voraussetzungen zur Bewältigung der gestellten Aufgabe verfügen, ist eine variable Durchführung der Deutungs- und Berechnungsprozesse während des Interviews sinnvoll. So können die Vorwissenseffekte identifiziert und ausgeblendet werden. Weiterhin ermöglicht eine solche Vorgehensweise den Lernenden unterschiedliche fachliche Kompetenzen anzuwenden.

Traditionell wird dieser Versuch in einer Weise durchgeführt, dass die Lernenden aus dem Experiment Messdaten generieren, daraus die Massen- und Stoffmengenverhältnisse herleiten und so auf die Summenformel schließen. Bei einer anderen Variante wird die Summenformel als Input gegeben und die Lernenden müssen aus dieser Information eine Prognose über den Ausgang des Experiments herleiten und diese anschließend experimentell überprüfen. Um diese beiden Vorgehensweisen in einem Design-Experiment zu realisieren, wurde ein zweiter Versuch hinzugezogen, bei dem anstelle von schwarzem Kupfer(II)oxid (CuO) nun rotes Kupfer(I)oxid (Cu_2O) im gleichen Experiment eingesetzt wurde. Die Schülerinnen und Schüler erhielten zuerst das schwarze und beim zweiten Durchlauf das rote Oxid, begannen aber jeweils unterschiedlich, entweder mit der entdeckenden oder bestätigenden Variante. Zu untersuchen war, ob die Lernenden durch die zuvor bekanntgegebene Summenformel zielgerichteter experimentieren als beim entdeckenden Vorgehen.

In der Analyse der individuellen Lernpfade zeigten sich drei Kategorien von Besonderheiten: Es traten Probleme im *handwerklichen Experimentieren* auf, beispielsweise beim Einwiegen der Substanzproben in das Porzellanschiffchen oder beim Vervollständigen der Experimentieraufbauten. Ebenso fiel mit Blick auf die *sprachlichen Fähigkeiten* auf, dass die Schülerinnen und Schüler häufig nicht in der Lage waren, ihre Beobachtungen adäquat in Worte zu fassen oder angemessenes Fachvokabular korrekt anzuwenden. Es wurden Begriffe wie „Ionen“ und „Elektronen“ vertauscht, oder das Glühen der Oxid-Probe im Wasserstoffstrom als „Verbrennung“ bezeichnet.

Individuelle Vorgehensweisen sind als dritte Kategorie der gefundenen Besonderheiten im Lernprozess zu nennen. Hier wurden Strategien sichtbar, welche kaum oder gar nicht mehr auf die Grundlagen des üblichen unterrichtlichen Vorgehens zurückgreifen. Sie liefern jedoch oftmals gute Ergebnisse mit weniger Arbeitsaufwand für die Lernenden. Diese Ideen können durch ihre unkonventionelle Art durchaus als Hilfestellung oder Zugänge zur Problemlösung für schwächere Lernende eingesetzt werden. Sie bergen aber aufgrund ihrer unkonventionellen Besonderheiten auch die Gefahr, dass sie im Klassengespräch untergehen oder Verwirrung stiften. Im Folgenden soll ein Beispiel näher beschrieben werden.

Individuelle Strategien können durch den Vergleich der individuellen Lernpfade mit dem Expertenpfad identifiziert werden. Ein Beispiel einer solchen Strategie findet sich in vier von neun Design-Experimenten in unterschiedlich starker Ausprägung wieder. Auf die Frage, wie viel Kupfer denn aus einem Gramm CuO gewonnen werden kann, würde laut Expertenpfad ein Berechnen über die molare Masse und die Stoffmenge des eingesetzten Stoffes erfolgen. In ihrem individuellen Vorgehen entdecken die Schülerinnen und Schüler, dass das Verhältnis der beiden molaren Massen ($M(\text{Cu}) \approx 64 \text{ g/mol}$: $M(\text{O}) \approx 16 \text{ g/mol}$) kürzbar ist und somit ein Anteil von vier Fünfteln an Kupfer aus der Verbindung gewonnen werden kann. Diese Rechnung enthält nicht nur weniger Arbeitsschritte, sondern ist auch mit weniger Rechenaufwand und somit einem geringeren cognitive load verbunden und wäre somit - auf geeignete Fälle angewandt - eine gute Hilfestellung für schwächere Chemielernende.

Derartige Hilfestellungen sind begrenzt durch ihre limitierte Anwendbarkeit, denn das Kürzen der Verhältnisse bedeutet nicht in jedem Fall eine Erleichterung. Wir vermuten jedoch, dass bei Verwendung entsprechender Beispiele (CuO, CuS, KBr,...) als Einstieg, ansonsten häufig zu beobachtende Hemmschwellen im Umgang mit stöchiometrischen Rechnungen deutlich geringer ausfallen können und so ein unvoreingenommener Zugang zum Thema möglich ist.

In den folgenden Schritten werden die vollständigen Transkripte weiter analysiert, um die Erkenntnisse aus der Lernpfadanalyse zu überprüfen und zu vertiefen. Des Weiteren soll die Einsetzbarkeit der individuellen Problemlöse-Strategien als Hilfestellung im Unterricht respektive im Klassengespräch untersucht - und falls möglich - mit geeigneten Materialien verknüpft werden.

Literatur

- Bernholt, S., Fischer, I., Heuer, S., Taskin, V., Martens, J., Parchmann, I. (2012). Die chemische Formelsprache. CHEMKON, 19, Nr. 4, S. 171-178.
- Bohnsack, R. (2010). Rekonstruktive Sozialforschung. Budrich, Opladen.
- Fach, M. (2007). Stöchiometrisches Rechnen im Chemieunterricht. In: Parchmann, I., Wloka, K.; Studien zur Kontextorientierung im naturwiss. Unterricht. Der Andere Verlag, Tönning, Lübeck, Marburg.
- Harsch, G., Heimann, R., Kipker, A. (2002). Verständnisprobleme mit der Formelsprache im Chemieunterricht. Chimica Didactica, 28/3, S. 251-266.
- Johnstone, A.H. (1997). Chemistry Teaching - Science or Alchemy? J. Chem. Edu., 74/3, S. 262-268.
- Paas, F., Renkl, A., Sweeler, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. Educational Psychologist, 38(1), S. 1-4.
- Petri, J., Niedderer H. (2001). Kognitive Schichtenstrukturen nach einer UE Atomphysik. ZfDN, S. 53-68.
- Rossa, E. (1998) Das Mol im Bild. Chemie in der Schule 45/1, S. 8-13.
- Schmidt, H.J. (1990). Stolpersteine im Chemieunterricht. Diesterweg, Frankfurt a.M.
- Schmidt, H.J., Seitz, H. (1977). Denken und Experimentieren - Experimentieren und Denken. Aulis, Köln.
- Scott, P.H. (1992). Pathways in Learning Science. In: Duit, R., Goldberg, F., Niedderer (Eds.) Research in Physics Teaching. IPN, Kiel.
- Taskin, V., Bernholt, S. (2014). Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. Int. J. Sci. Edu. 36:1, S. 157-185.
- Wohlmuth, M. (2005). Die Nanoworld. PdN-ChiS 1/54, S. 40-43.