

## **Die Komplexität „einfacher“ Experimente - Lernen und Verstehen im Chemieunterricht**

### **Problemstellung**

Der Umgang mit chemischen Summenformeln, Reaktionsgleichungen und stöchiometrischen Berechnungen ist gemessen an den durchgeführten Forschungsprojekten, die beispielsweise Taskin und Bernholt (2014) in ihrem Review aufführen, schon seit Jahrzehnten ein bekanntes und bisher ungelöstes Problem.

Für ein adäquates Erfassen und Deuten quantitativer Beziehungen bei chemischen Reaktionen sind bei den Lernenden komplexe Denk- und Verstehensstrategien erforderlich. Die dabei auftretenden „Stolpersteine“, wie Schmidt (1990) sie nennt, erschweren oder verhindern bei vielen Schülerinnen und Schülern die Ausbildung eines notwendigen Chemieverständnisses.

Johnstone (2000) fordert beispielsweise, dass die Lehrkraft ihren Lernenden die Übergänge zwischen Makro-, Submikro- und Symbolebene bewusst macht und sie bei dem Wechsel zwischen den Ebenen unterstützt. Gerade in einführenden Experimenten zur Aufdeckung quantitativer Beziehungen bei chemischen Reaktionen ist dieser Ebenenwechsel von zentraler Bedeutung, da ein makroskopisch beobachtbares (und häufig wägbares) Phänomen auf submikroskopischer Ebene erklärt und zu einem Konzept auf symbolischer Ebene entwickelt wird. Diese „versteckte“ Komplexität macht aus einem einfachen Versuch eine für viele Lernende schwer nachvollziehbare Hürde, die sie zum Verstehen von chemischen Summenformeln überwinden müssen.

Allerdings bedeutet dieser Zugang auch, dass sich die Lehrkraft diese Komplexität bewusst machen muss, da ihr diese Probleme in der Regel nicht in gleicher Form begegnen.

Im Projekt werden Schulversuche dieser Art genauer analysiert und die von der Lehrkraft mit diesen Versuchen intendierte Zielsetzung mit der tatsächlichen Arbeitsweise der Schülerinnen und Schüler verglichen. Dazu wird ein Experten-Lernpfad (in Anlehnung an die Arbeiten von Scott (1992) sowie Petri & Niedderer (2001)) erstellt, der das Vorgehen eines idealen Schülerpaars wiedergibt. Dieser Lernpfad mit allen intendierten Beobachtungen, Inputs, Deutungen etc., die während der Bearbeitung erfolgen sollten, wird dem tatsächlichen Vorgehen von Schülerinnen und Schülern im videographierten Design Experiment gegenübergestellt. Dies sei an einem Beispiel aus dem Anfangsunterricht näher beschrieben:

Im Schüler- oder Demonstrationsversuch wird Kupferoxid mit einem Reduktionsmittel in elementares Kupfer überführt. Aus der Massendifferenz zwischen Kupferoxid und Kupfer sollen die Lernenden dann das Massenverhältnis von Kupfer und Sauerstoff in der Verbindung bestimmen und unter Zuhilfenahme der molaren Massen schließlich eine Idee von stöchiometrischen Verhältnissen entwickeln (siehe hierzu beispielsweise Schmidt & Seitz, 1977 und Asselborn et al., 2010).

### **Vorgehen**

Die durchgeführten Design Experimente orientieren sich an Gravemeijer & Cobb (2006) und analysieren zusätzlich zum experimentellen Arbeiten auch die Vorbereitungs- und die Auswertephasen. In einem Design-Experiment werden zwei Zugänge zur chemischen Formel gegenüber gestellt:

- *Der induktive Zugang:* Hierbei sind die Lernenden gefordert aus den Ergebnissen eines Experimentes die Massen und Stoffmengenverhältnisse zu ermitteln und daraus die Summenformel abzuleiten.

- *Im prognostischen Zugang* wird den Schülerinnen und Schülern die Summenformel vorab mitgeteilt. Sie sollen auf deren Basis eine Prognose für die Messergebnisse abgeben und diese mit den anschließend gewonnenen Ergebnissen ihres Experimentes vergleichen. Intention für dieses Vorgehen ist, dass die Lernenden in dieser Variante das Experiment schon vor der Durchführung besser durchdenken müssen und anschließend zielgerichteter experimentieren können.

Zur besseren Vergleichbarkeit wird mit jedem Schülerpaar sowohl das experimentelle als auch das prognostische Vorgehen in wechselnder Reihenfolge absolviert (Durchgang 1 und 2). Die Durchgänge unterscheiden sich zudem in der durchgeführten Reaktion. Es wird der Versuch jeweils zuerst mit schwarzem Kupfer(II)oxid und im Anschluss mit rotem Kupfer(I)oxid durchgeführt.

Die Lernumgebung am Beispiel des Kupferoxid-Versuchs wurde von 16 interessierten Schülerinnen (8) und Schülern (8) der Jahrgangsstufen 8-10, bei denen Summenformeln schon Thema im Unterricht waren, jeweils in Zweiertteams durchgeführt. Ihr Vorgehen wurde video- und audiographiert, für die anschließende Analyse transkribiert und mit QDA-Software ausgewertet.

#### **Vorläufige Ergebnisse**

Die Analyse der Design Experimente zeigt kaum Unterschiede zwischen dem prognostischen und dem experimentellen Vorgehen. Bei beiden Varianten benötigen die Schülerinnen und Schüler etwa 15 min für die Auswertung, wobei beim prognostischen Vorgehen die Prognosezeit mitgerechnet wird. Die Lernenden beider Varianten benötigen vergleichsweise viel Input, obwohl das Thema bereits unterrichtlich behandelt wurde. Es sind viele Hilfestellungen und Prompts durch den Interviewer nötig, so dass sich für beide Varianten ein Redeanteil des Interviewers von etwa einem Drittel ergibt, was wir als relativ hoch einschätzen.

Der prognostische Zugang ist begleitet von einem vorherigen Durchdenken des Experiments. Dieses wird nicht gestört durch handwerkliche Tätigkeiten und mögliche Schwierigkeiten, die sonst beim Aufbauen oder Abwiegen der Reaktionspartner beobachtet werden können. Allerdings hatten die Lernenden den Ablauf des Versuches in Gedanken zu simulieren, um eine adäquate Prognose abgeben zu können. Dies scheint die Komplexität des prognostischen Vorgehens auf eine Stufe mit der des experimentellen Vorgehens anzuheben, wodurch in diesem Setting, trotz der den Schülerinnen und Schülern bekannten Lösung (Summenformel  $\text{CuO}$  bzw.  $\text{Cu}_2\text{O}$ ) keine Vorteile zu beobachten waren. Die anfängliche Hypothese lässt sich mit den vorliegenden Daten also nicht halten.

Allerdings fällt beim Vergleich des ersten mit dem zweiten Durchgang auf, dass die Lernenden im zweiten Durchgang neue, intuitivere Lösungsansätze verfolgen. Dies ist besonders hervorzuheben, da es sich beim verwendeten roten Kupfer(I)oxid um eine 2:1-Verbindung handelt, die somit eine höhere Komplexität aufweist, als die zuerst benutzte 1:1-Verbindung des schwarzen Kupfer(II)oxids. Diese Steigerung des intuitiven Vorgehens zeigt sich besonders in einem Interview, bei dem sich im ersten experimentellen Vorgehen nur ca. 10 % der Aussagen als intuitiv bewerten lassen. Etwa die Hälfte der Aussagen wird formelbasiert getroffen, die restlichen 40 % sind rechnerische Anmerkungen. Auffällig ist bei den formelbasierten Aussagen, dass die beiden Schülerinnen sich stark an auswendig

gelernten Unterrichtsinhalten orientieren. Die prognostische Variante, also der zweite Durchgang, wird mit knapp einem Drittel intuitiven Aussagen analysiert. Hierbei sind die Aussagen stärker an den Kontext des Experiments angelehnt, als beim ersten Durchgang.

Allgemein lassen sich die weiteren beobachteten Schwierigkeiten in folgende vier Punkte zusammenfassen:

- Fehlendes Fachvokabular
- Kaum Erfahrung im Experimentieren
- Fehlende Vorstellungen zu Verbindungen
- Hilflosigkeit beim Finden von Lösungswegen

Positiv zu erwähnen sind einige individuelle Lösungsstrategien, die vom intendierten Vorgehen abweichen, aber über durchaus korrekte Schlussfolgerungen zum Ziel führen. Es ist zu prüfen, ob diese Strategien der Lernenden eine mögliche Hilfestellung für schwächere Schülerinnen und Schüler darstellen, die mit dem eigentlichen Vorgehen (zu) große Schwierigkeiten haben.

#### **Literatur**

- Asselborn, W., Jäckel, M., Risch, K. (Hrsg.) (2010) Chemie heute Sekundarstufe I. Braunschweig: Schroedel
- Gravemeijer, K. & Cobb, P. (2006) Design research from a learning design perspective. In: van den Akker, J. Gravemeijer, K., McKinney, S. & Nieveen, N. (Hrsg.): Educational Design Research. Routledge. S. 17-51
- Johnstone, A. (2006) Chemical education research in Glasgow in perspective. In: Chemistry Education Research and Practice, 7 (2), 49-63
- Petri, J. & Niedderer, H. (2001) Kognitive Schichtenstrukturen nach einer UE Atomphysik (Sek II). In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 7, 53-68
- Schmidt, H.-J. (1990) Stolpersteine im Chemieunterricht. Frankfurt am Main: Diesterweg
- Schmidt, H.-J. & Seitz, H. (1977) Denken und Experimentieren - Experimentieren und Denken. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co KG
- Scott, P. (1992) Pathways in Learning Science. In: Duit, R., Goldberg, F., Niedderer, H. (Hrsg.), Research in Physics Learning. IPN, Kiel
- Taskin, V. & Bernholt, S. (2014) Students' Understanding of Chemical Formulae. In: International Journal of Science Education, 36 (1), 157-185