



Die Masse des 'Nichts' - Ein Experiment zum Gesetz der Erhaltung der Masse

J. Friedrich und M. Oetken

Der Massenerhalt ist neben der Bildung neuer Stoffe und des Energieumsatzes ein Kennzeichen für chemische Reaktionen und somit ein zentrales Thema im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. Es werden verschiedene, an der Alltagswelt der Schüler orientierte und mit hohen ästhetischen Reizen verbundene Varianten des historischen Versuches von Robert Boyle zur Erarbeitung des Massenerhalts vorgestellt.

1. Einleitung:

Im Chemieunterricht der Sekundarstufe I nehmen bei der Untersuchung von chemischen Reaktionen die ableitbaren Gesetzmäßigkeiten des Massenerhaltes und der konstanten Massenverhältnisse eine zentrale Stellung ein.

Das erstmals von *M. W. Lomonossow* beschriebene und später von *Lavoisier* verfeinerte Phänomen der Massenerhaltung bei chemischen Reaktionen beruht auf der experimentellen Vorgehensweise von R. BOYLE, der die Reaktion von Zinn und Blei mit Luftsauerstoff in einer geschlossenen Apparatur untersuchte. Die Arbeiten von *Lomonossow* und *Lavoisier* wurden später von *J. L. Proust* fortgesetzt und mündeten schließlich in der Erkenntnis, dass bei chemischen Reaktionen die beteiligten Elemente in einem bestimmten Massenverhältnis miteinander reagieren. Auf der Basis dieser Ergebnisse fußt die Lehre von den Atomen, die der engl. Chemiker *J. Dalton* 1803 begründete. Die große Leistung *Daltons* war dabei aber nicht die Wiederentdeckung der Atome, sondern die Verknüpfung des Elementbegriffes mit dem Atombegriff, wodurch er die Massenkonstanz bei chemischen Reaktionen sowie das Zusammentreten der Atome in bestimmten Zahlenverhältnissen postulierte und damit viele der experimentellen Ergebnisse *Lomonossows*, *Lavoisiers* und *Prousts* erklären konnte. Damit wurde die Atomhypothese der griechischen Atomisten wesentlich unterstützt und führte schließlich zur Entwicklung einer der grundlegendsten und tragfähigsten Theorien der Naturwissenschaften – dem *Dalton'schen* Atommodell [1, 2, 3].

Im Unterricht wird man der Schwierigkeit begegnen, dass für Schüler der Gedanke, von der Erhaltung der Masse auf die Erhaltung der Atome zu schließen, keineswegs zwingend ist. Aus diesem Grund werden im Unterricht die Erkenntnisse *Daltons* häufig vor der Erarbeitung der konstanten Massenverhältnisse eingeführt, um die oben erwähnte Schlussfolgerung zu erleichtern.



2. Schülerorientierte Experimente zum Massenerhalt

Für eine problemorientierte Hinführung zum Gesetz der Massenerhaltung kann man beispielsweise Eisenwolle, die sich an einer Balkenwaage im Gleichgewicht befindet, verbrennen. Unterrichtserfahrungen zeigen, dass die Mehrheit der Schüler eine Massenabnahme statt -zunahme erwartet. Der Grund für diese Fehlannahme liegt darin begründet, dass Schüler ihre Erklärungen auf die eigenen Beobachtungen von Verbrennungsvorgängen aus dem Alltag stützen. So scheint die zuvor „schwere“ Holzkohle beim Grillen bis auf einen Rest an Asche zu „verschwinden“. Auch die Veränderung der Form, z.B. durch das Schmelzen der Eisenwolle, wird als Begründung für eine Massenabnahme genannt. Um letztere Fehlannahme zu widerlegen, kann man ein Stück Eis auf die Waage legen und während des Schmelzvorgangs die Masse prüfen.

Um das Gesetz von der Erhaltung der Masse zu erarbeiten, haben Jansen et al. eine Versuchsanordnung vorgeschlagen, die Robert Boyle schon 1673 in leicht veränderter Form zur Untersuchung von Stoffveränderungen benutzte [3]. Da die Verbrennung jetzt in einem abgeschlossenen System stattfindet, kann die Massenerhaltung beim Verbrennen der Eisenwolle gezeigt werden.

Bezug nehmend auf die oben angesprochenen Schülervorstellungen zu Verbrennungsvorgängen werden im Folgenden verschiedene und mehr an der Alltagswelt der Schüler orientierte Varianten des Boyle-Versuches vorgestellt [vgl. 4]. Neben des ästhetischen Reizes durch die während des Versuchs hell aufglühenden verkohlten Materialien, liefert diese Variante vor allem auch das für Schüler überraschende Moment, dass der scheinbar leere Rundkolben nach der Reaktion noch genauso viel wiegt wie vor der Reaktion. Eine besondere Bedeutung der Experimente liegt damit in der Tatsache begründet, dass das Ergebnis der Massenbestimmung des vermeintlich leeren Rundkolbens wider jeglicher Erwartung der Schüler steht und damit zu einem vertieftem Verständnis zur Massenerhaltung der chemischen Reaktion beiträgt.

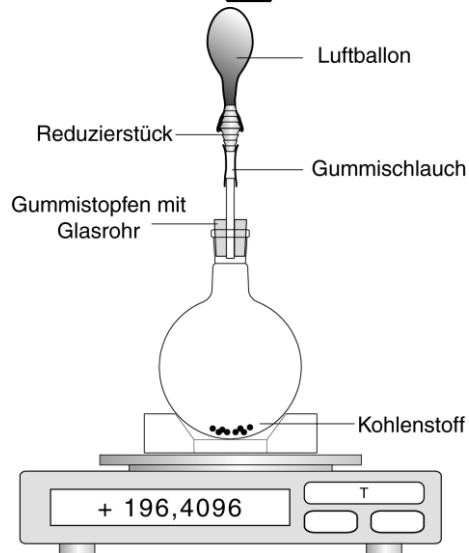


Abb. 1: Verbrennung von Kohlenstoff in einer geschlossenen Apparatur

Versuch: Der Boyle-Versuch mit Aktivkohle

Geräte und Chemikalien:

Rundkolben (1000 mL), 2 Gummistopfen mit Bohrung, Glasrohr, Korkring, Luftballon, Waage, Bunsenbrenner, Abdampfschale, Dreifuß, Aktivkohle, Sauerstoff, Kalkwasser.

Durchführung:

Die Versuchsapparatur wird gemäß der Abb. 1 zusammengebaut. Es werden nun etwa 200 – 300 mg Aktivkohle abgewogen, in einer Abdampfschale kurz ausgeglüht und schließlich in den Rundkolben gegeben. Der Rundkolben wird mit Sauerstoff gespült, anschließend fest verschlossen und dessen Masse bestimmt. Der Kolben wird nun über der Brennerflamme erhitzt. Sobald die Kohle im Kolben zu glühen beginnt, wird der Kolbeninhalt stark geschüttelt, damit der Sauerstoff besser an die Kohle gelangt. Sollten einzelne Kohlestückchen noch nicht brennen, müssen diese erneut mit dem Brenner zum Glühen gebracht werden. Nach vollständiger Verbrennung kann der Kolben nach 1 min gefahrlos unter fließendem Wasser auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Anschließend wird der Kolben sorgfältig abgetrocknet und gewogen. Es ist wesentlich, den Kolben abzukühlen und damit den Luftballon auf seine ursprüngliche Größe zurückzubringen, um korrekte Ergebnisse zu erhalten. Sollte der Kolben im warmen Zustand gewogen werden, so wird auf der Waage geringeres Gewicht abgelesen. Dieser Sachverhalt liegt darin begründet, dass die Apparatur durch die Ausdehnung des Luftballons eine größere Auftriebskraft erfährt und dadurch die auf die Waage wirkende Kraft verringert wird.

Das gasförmige Reaktionsprodukt kann anschließend mit Kalkwasser identifiziert werden.



Beobachtung und Auswertung:

Die Kohle verbrennt beim Schütteln unter hellem Aufglühen vollständig (vgl. Abb. 2). Die Wägungen vor und nach der Reaktion ergeben eine Massenkonstanz. Die Trübung des Kalkwassers zeigt an, dass als Reaktionsprodukt Kohlenstoffdioxid entstanden ist.

Die Massenkonstanz lässt sich mit Hilfe einer einfachen Modellbetrachtung erklärend visualisieren (Abb. 3). Dabei wird deutlich, dass sich die Anzahl der Teilchen vor und nach der Reaktion nicht geändert hat, sondern dass lediglich eine Umgruppierung der Teilchen stattgefunden hat.

Die zwischenzeitliche Ausdehnung des Luftballons beruht lediglich auf einer thermischen Ausdehnung des Gases. Mit der Theorie von Avogadro ließe sich erklären, warum der Luftballon nach der Reaktion wieder seine ursprüngliche Größe besitzt.

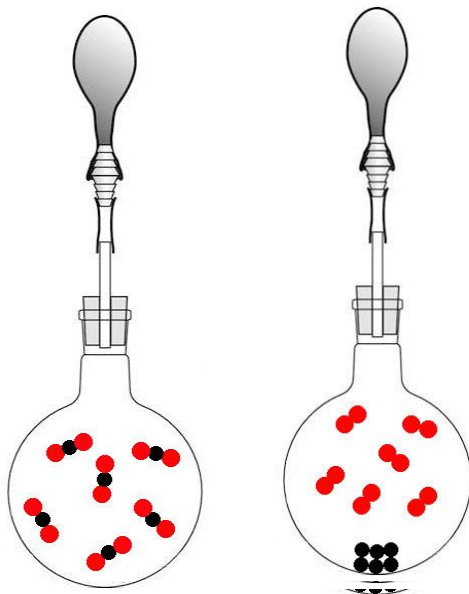


Abb. 3: Einfache Modellbetrachtung der Massenkonstanz auf der Teilchenebene

Grundsätzlich lassen sich natürlich auch andere pflanzlichen Produkte zunächst verkohlen und anschließend in der Boylevariante unter Massenerhaltung und hohem ästhetischem Reiz verbrennen. Beispiele solcher Verkohlungsexperimente zeigt die Abb. 4.



Abb. 4: Pflanzenprodukte und verkohlte Pflanzenprodukte



3. Zusammenfassung

Mit dem beschriebenen Experiment ist gezeigt worden, wie sich eines der zentralen Themenfelder des Chemieunterrichts der Sekundarstufe I problemorientiert und an der Alltagswelt der Schüler orientiert vermitteln lässt. In mehreren Beiträgen haben wir diese Experimente in verschiedenen Unterrichtskonzeptionen eingebunden wie z. B. die Erarbeitung des Dalton-Atommodell über einen vereinfachten Kohlenstoffkreislauf oder aber die Einbindung der Experimente in eine Einheit zur Erarbeitung des Themenfeldes Massenerhalt unter direkter Einbindung von Schülervorstellungen im Rahmen des an Schülervorstellungen orientierten Unterrichtsverfahrens [5-7]. Darüber hinaus wird der affektive Aspekt dieser Experimente deutlich, der dazu führen kann, eines der wichtigsten Grundprinzipien der Chemie mit hohem motivationalen Effekt im Unterricht zu thematisieren.

Literatur:

- [1] M. Heidelberg, Atombegriff und Erfahrung. Zur Auseinandersetzung zwischen Instrumentalismus und Realismus; in: HÄGELE, P. C. (Hrsg.), Die Entwicklung unserer Atom- und Molekülvorstellungen; Universitätsverlag Ulm, Ulm 1994
- [2] W. Jansen *et al.*, Der Weg zum Dalton'schen Atommodell, PdN-ChiS 35 (2), 34 (1986)
- [3] W. Jansen, R. Peper und H. Fickenfrerichs, Die Dalton'sche Atomtheorie und die Entwicklung der chemischen Formel, chim. did.; **16** (1990)
- [4] F. Johannsmeyer, L. Bley, J. Friedrich und M. Oetken, Die Masse des "Nichts" - der Boyle-Versuch im neuen Lichte; Chemkon; **8** (3) 156 (2001)
- [5] J. Friedrich, M. Oetken, F. Johannsmeyer, J. Schneider, Der Kohlenstoffkreislauf zur Einführung des Dalton'schen Atommodells; in: Didaktik der Naturwissenschaften – Quo Vadis? Logos Verlag Berlin 2005
- [6] K. Petermann, J. Friedrich, M. Oetken, Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren - Inhaltlichen Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht; Chemkon 15 (3), 110 (2008)
- [7] K. Petermann, J. Friedrich, M. Oetken, Orientierung an Schülervorstellungen – Erprobung und Evaluation einer Unterrichtseinheit zum Gesetz der Erhaltung der Masse PdN-ChiS 58 (8), 11 (2009)