

Le Chatelier einmal anders

Gleichgewichtsverschiebungen am Kontext Sprudelwasser

Von Gregor von Borstel, Andreas Böhm, Andy Bindl und Sebastian Schumacher

Mögliche Probleme bei „herkömmlichen“ Versuchen	Gefährdungsminimierung durch Medizintechnik
<ul style="list-style-type: none"> teure Geräte, ... 	<ul style="list-style-type: none"> kostengünstige, ...
<ul style="list-style-type: none"> sowie Undichtigkeit oder Glasbruch 	<ul style="list-style-type: none"> leicht gasdicht zu verbindende Kunststoffmaterialien, in welche das Gas in kleinen Mengen direkt aus der Druckgasflasche eingefüllt werden kann. Bei Bedarf kann das Gas auch leicht aus einer Brausetablette entwickelt werden.
<ul style="list-style-type: none"> Gut sichtbare Ergebnisse häufig nur mit toxischen oder krebserregenden Stoffen (NO_2 oder $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$) 	<ul style="list-style-type: none"> Einfache, gut reproduzierbare und sichtbare Ergebnisse bei Experimenten mit Kohlenstoffdioxid
<ul style="list-style-type: none"> Hoher finanzieller und zeitlicher – da hoher apparativer – Aufwand. Eingesetzte Stoffe erschweren oder verhindern Schülerexperimente 	<ul style="list-style-type: none"> die von kleinen Schülergruppen nicht nur durchgeführt, sondern auch eigenständig geplant und optimiert werden können

Tab. 1: Gegenüberstellung möglicher Gefährdungen und der Gefahrenminimierung

Vorabgedanken: Experimente mit medizintechnischen Geräten:

Die Gefährdung beim Experimentieren geht in der Regel von den Chemikalien oder den Geräten aus. Letzteres ist nicht zu unterschätzen, gerade, wenn man Schülerexperimente nicht nur durchführen, sondern auch eigenständig planen lassen möchte.

Hier kann der bereits verschiedentlich beschriebene Einsatz von medizintechnischen Geräten von großem Vorteil sein, beispielsweise

- bei der Gefahrenminimierung beim Umgang mit toxischen Stoffen [1] oder explosiven Gasen wie z.B. bei der Reduktion von Kupferoxid mit Wasserstoff [2] durch einfache Mengenverringerung,
- als Ersatz für Glasgeräte, die zum einen recht teuer in der Anschaffung sind und zum anderen bei einem evtl. Bruch auch eine Gefahrenquelle darstellen [3], [4], [5] und
- als Symbiose des vorgenannten, in dem ganz neue Schülerexperimente möglich werden, die „klassische Experimente“ mit gefährlichen Stoffen ersetzen können.

Ein derartiger Einsatz soll im Folgenden am Praxisbeispiel „Chemisches Gleichgewicht im Kontext der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid“ aus der Sekundarstufe II verdeutlicht werden, wobei die Experimente unter leicht abgewandelter Fragestellung auch in der Sekundarstufe I zum Einsatz kommen können [6]/[7].

Aus der Praxis: Experimente zur Beeinflussung des Gleichgewichts

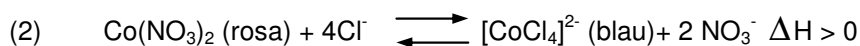
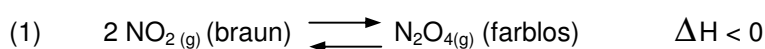
Bei der Herleitung des für viele Sachverhalte grundlegenden Prinzips von Le Chatelier steht die Frage im Mittelpunkt, welche Parameter in welcher Weise die Lage eines dynamischen Gleichgewichts beeinflussen. Der Einfluss von Druck und Temperatur auf die Löslichkeit von Gasen ist den meisten Schülern prinzipiell vertraut, z.B. über den Sodastreamer oder aufgrund von aufgewärmtem Sprudelwasser im Sommer. Was noch fehlt ist eine quantitative Erfassung dieses Einflusses.

Der von CHiK vorgeschlagene Kontext „Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid“ am Beispiel Sprudelwasser oder Weltmeere [8] eignet sich somit zur Einführung des Prinzips von Le Chatelier. Dabei können neben Druck und Temperatur auch die Einflüsse des pH-Werts oder weiterer gelöster Stoffe untersucht werden.

Dieser Ansatz soll hier aufgegriffen und dahingehend erweitert werden, dass die bei CHiK vorgeschlagenen Glasgeräte wie Kolbenprober, Glasrohre oder Glaskolben, die leider nicht in jedem Schülerlabor in ausreichender Menge vorhanden sind, durch günstigere und zugleich bruch sichere Geräte aus der Medizintechnik ersetzt werden. Damit werden die Experimente zum einen sicherer, zum anderen ergeben sich verschiedene Varianten für die Planung. Diese kann daher zusammen mit einem „Ausprobieren des Geplanten“ bedenkenlos in die Hand der Schüler gegeben werden – ein nicht zu vernachlässigender Aspekt.

Hervorzuheben ist, dass mit diesem Ansatz klassische Versuche zur Verdeutlichung des Temperatur- oder Druckeinflusses auf das Gleichgewicht durch komplett andere, ungefährliche Versuche ersetzt werden.

Beispielsweise arbeitete man bisher mit den Stoffen Stickstoffdioxid (1) oder Kobaltnitrat (2):



Die Farbaufhellung des Gasgemisches (1) bei Druckerhöhung und der Farbumschlag vom Gleichgewicht (2) bei Temperaturerhöhung sind gut zu beobachten und leicht zu deuten. Allerdings sind Schülerversuche weder mit Stickstoffdioxid (T+, R: 26 – 34, S: 9 – 26 – 28 – 36/37/39 – 45) noch mit Cobalt(II)nitrat (krebserzeugend, erbgutverändernd, fortpflanzungsgefährdend; Xn, R: 22 – 40 – 43, S: 17 – 36/37) erlaubt. Somit beschränken sich die Versuche auf (auch für den Lehrer nicht ungefährliche) Demoversuche oder auf kontextferne Beschreibungen, die man vielleicht besser später zur Verallgemeinerung einsetzt.

Konkrete unterrichtliche Umsetzung:

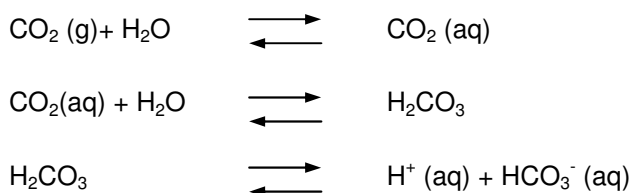
1. Einstieg

Ausgehend von Sprudelwasser wird die Frage aufgeworfen, wie viel Kohlenstoffdioxid sich in Wasser lösen kann. Mithilfe eines einfachen Versuchs (s. auch Arbeitsblatt V1 sowie [9]) untersuchen die Schülerinnen und Schüler dies zunächst unter Standardbedingungen. Dazu

- befüllt man eine dreiteilige 50 ml Luer-Lock-Spritze über einen Adapter mit 25 ml Kohlenstoffdioxid aus der Gasflasche,
- verbindet diese Spritze über einen Adapter mit einer baugleichen Spritze, in die man 25 ml abgekochtes und auf Raumtemperatur abgekühltes Wasser gezogen hat,
- schiebt Gas und Wasser in eine Spritze und
- schüttelt solange, bis sich das Gasvolumen nicht mehr ändert.

In Schülerversuchen ermittelte Ergebnisse lagen mit 20 bis 22 ml gelöstem Kohlenstoffdioxid pro 25 ml Wasser nahe am Literaturwert.

Die Ergebnissicherung beinhaltet zugleich die Frage, was beim Lösen passiert. Wenn man dazu die entsprechenden Reaktionsgleichungen festhält



lässt sich im Anschluss diskutieren, welche Parameter das Gleichgewicht beeinflussen könnten. Aufbauend auf Alltagserfahrungen mündet die Hypothesenbildung (Temperatur, Druck, ggf. pH-Wert, der ansonsten von Lehrerseite eingebracht wird) in der anschließenden Unterrichtsphase in weitere Versuche, deren Planung mit den Geräten aus der Medizintechnik erfahrungsgemäß komplett in Schülerhand gegeben werden kann.

2. Untersuchung verschiedener Parameter und das Prinzip von Le Chatelier

Sämtliche Ideen können gesammelt, besprochen und dann von den Schülergruppen eigenständig durchgeführt werden. In leistungsstarken Kursen besteht zudem die Möglichkeit, in Anlehnung an den bekannten Egg-Race Gedanken [5], Planung, Durchführung und Modifizierung komplett in die Hände der Schüler zu geben. Eine abgestufte Lernhilfe kann auf Wunsch durch das Einbringen einzelner Tipps oder Versuchsanleitungen (Arbeitsblatt 1) gegeben werden.

Folgende Versuche haben sich als einfache Varianten bewährt:

1. Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf das Gleichgewicht:

Die Schüler erstellen gemäß der bereits bekannten Apparatur eine Messreihe mit zuvor abgekochtem Wasser unterschiedlicher Temperatur. Heißes Wasser kann in einer Thermoskanne bereitgestellt und mit bereits erkaltem auf beliebige Temperaturen gemischt werden. Verwenden Sie kein Wasser heißer als 50°C, da ansonsten Verbrühungsgefahr besteht.

Tipp: Eine Isolierung für Heizungsrohre aus dem Baumarkt über einer oder beiden Spritzen sorgt dafür, dass sich die Temperatur während des Versuchs nur um wenige Grad ändert.

Als Abwandlungen haben Schülergruppen zu Sprudelwasser etwas Kohlenstoffdioxid in eine Spritze gezogen, diese verschlossen und für eine definierte Zeit nacheinander in unterschiedlich temperierte Wasserbäder getaucht. Auch hier lässt sich die mit steigender Temperatur abnehmende Löslichkeit gut dokumentieren.

2. Untersuchung des Einflusses des pH-Wertes auf das Gleichgewicht:

Bei der Änderung des pH-Wertes handelt es sich letztlich um eine Änderung der Konzentration der Produkte. Gearbeitet wurde mit abgekochtem Wasser, welches durch Zugabe von Natronlauge bzw. Salzsäure leicht angesäuert bzw. alkalisch gemacht wurde. Man kann 0,1 bis 1 molare Lösungen verwenden. In einmolarer Natronlauge löste sich mehr als zweieinhalbmal soviel Kohlenstoffdioxid wie in abgekochtem Wasser. Wenn die Gefahr der Verätzung bei 0,1 molaren Lösungen auch sehr gering ist, müssen – wie bei allen Versuchen – natürlich die Sicherheitsvorschriften beachtet werden. Sollten Sie sich für den Einsatz höher konzentrierter Lösungen mit signifikanteren Ergebnissen entscheiden, müssen die Schüler auf die Gefahr der Verätzung insbesondere bei der Verwendung der Natronlauge hingewiesen werden!

3. Untersuchung des Einflusses des Drucks auf das Gleichgewicht:

Der Einfluss des Drucks lässt sich demonstrieren, in dem man etwas Sprudelwasser in eine Spritze gibt, diese verschließt und durch Ziehen des Stempels einen Unterdruck herbeiführt.

Etwas weiter geht die Variante mit Indikator (hier Unisol 113 für pH 1-13, der in den meisten Schülerlaboren zur Verfügung steht).

Zunächst präpariert man eine Spritze mit einem Loch im Stempel. Dazu zieht man den Stempel maximal heraus und durchbohrt ihn mit einem erhitzten Nagel. Mit dem Nagel kann man den Stempel später bei Unterdruck fixieren [9].

Dann zieht man in diese Spritze 10 ml abgekochtes Wasser mit wenig Indikator und sprudelt Kohlenstoffdioxid durch das Wasser, bis die Farbe eben nach gelb umschlägt (ca. 5 ml). Überschüssiges Kohlenstoffdioxid wird verworfen und die Flüssigkeit auf zwei Spritzen verteilt und diese verschlossen. Die zweite Spritze dient später dem Farbvergleich. Der Stempel der präparierten Spritze wird maximal herausgezogen und fixiert. Die Lösung wird geschüttelt und im Unterdruck kann man neben dem Ausperlen auch einen deutlichen Farbwechsel beobachten, der auf eine pH-Wert-Erhöhung von ca. 3 auf 5 zurückgeführt werden kann.

Meist wird zunächst vorgeschlagen per Überdruck eine größere Löslichkeit zu erreichen. Die damit einhergehende pH-Wert Erniedrigung soll über einen Indikator sichtbar gemacht werden. Dies lässt sich in der Praxis nicht umsetzen, so dass man eher den umgekehrten Weg über Druckerniedrigung und das Ausperlen des Gases wählen sollte.

4. Untersuchung des Einflusses anderer gelöster Stoffe auf das Gleichgewicht:

Will man den Einfluss z.B. gelöster Salze verdeutlichen, so kann man verschieden konzentrierte Kochsalzlösungen verwenden.

3. Vertiefung

Im Anschluss an die Auswertungsphase kann eine Verallgemeinerung erfolgen, bei der man z.B. auf Beschreibungen der früher verwendeten Versuche zurückgreift. Einen bewährten Schlusspunkt stellt die Untersuchung des vielen Schülern bekannten „Powergetränk“ Active O2 dar, welches damit beworben wird, dass es 15mal mehr Sauerstoff als herkömmliches Mineralwasser enthält. Schnell lässt sich mit Hilfe der ChemZ-Technik ermitteln, wie viel Gas in einer Flasche gelöst ist und wie viel Sauerstoff sich unter Normalbedingungen löst. Überschlägt man parallel dazu, wie viel Sauerstoff man über den dafür vorgesehenen Weg per Atemzug aufnimmt, nutzt man die sich im Chemieunterricht selten bietende Gelegenheit der Kombination von Transfer des Vorwissens mit Hilfe des kritischen Hinterfragens von Werbeaussagen. [7]

Weitere Anknüpfungspunkte bietet darüber hinaus auch der Kalkkreislauf in der Natur und Technik, der außerdem als Klausuraufgabe denkbar wäre.

Fazit

Der vorgeschlagene Kontext unter Einsatz der beschriebenen Geräte erwies sich in der Praxis als gute Variante zur Einführung von Le Chatelier. Wichtig ist hierbei, dass die Schüler mehrere Versuchsvarianten planen und erproben können.

Wählt man den vorgeschlagenen Weg, so ist zu beachten, dass der Zusammenhang zwischen gelöstem und gasförmigem Kohlenstoffdioxid komplexer ist als die Betrachtung einphasiger Zusammenhänge (wie z. B. $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$). Dies stellt aber für die meisten Schüler aufgrund der Anschaulichkeit der Versuche erfahrungsgemäß keine großen Schwierigkeiten dar.

- [1] V. Obendrauf, *Experimente mit Gasen im Minimaßstab*, *Chemie in unserer Zeit* 3/1996, S.118-125
- [2] P. Menzel, *Schülerexperimente mit Medizintechnik-Zubehör*, *PdN-ChiS* 49 (3), S. 140–147 (2000)
- [3] G. von Borstel und A. Böhm, *ChemZ - Chemieunterricht mit medizintechnischem Gerät*, *NiU-Chemie*, Heft 81, S.48f
- [4] G. von Borstel und A. Böhm: *Chemieunterricht macht Spaß!*, *PdN-Chemie in der Schule* 54 (2005) Nr.1, S. 21-25.
- [5] G. von Borstel und A. Böhm, *Bau eines Schaumlöschers - ein Egg-Race mit medizintechnischen Geräten*. *NiU-Chemie* (2003) Nr. 75 , S. 42 –44
- [6] G. von Borstel – A. Böhm: *Chemie mit Magensonde und Spritze*. *NiU-Chemie* 14 (2003) Nr. 78, S. 15-18.
- [7] G. von Borstel, A. Böhm, O. Hahn und H. Welter, „Powerstoff mit Sauerstoff?“ - Kontextnahe Erarbeitung der Löslichkeit von Gasen durch kritisches Hinterfragen von Werbeaussagen, *MnU im Druck*.
- [8] Dr. I. Parchmann / A. Paschmann / T. de Vries, *Die Ozeane und der Treibhauseffekt - Eine experimentelle Unterrichtsreihe aus der Konzeption "Chemie im Kontext" zur Einführung in die Idee des chemischen Gleichgewichts*, <http://didaktik.physik.uni-bremen.de/mnu/tagungbhv2000/abstracts.html#36> Stand Mai 2006.
- [9] *Bezugsmöglichkeiten und Videos zum Einsatz der Materialien* <http://www.lebensnaherchemieunterricht.de>.