Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser

Eine geschlossene Mineralwasserflasche stellt chemisch-physikalisch gesehen ein **geschlossenes System** dar: es gibt keinen Stoffaustausch mit der Umgebung, aber einen möglichen (Wärme-)Energieaustausch. In der Flasche selbst existieren zwei **Phasen:** die **Gasphase** und die **flüssige Phase.** In beiden Phasen befindet sich Gas: einmal in der Gasphase im Reinzustand (sieht man von den wenigen verdampften Wassermolekülen ab) und in der flüssigen Phase als Lösung. In der Gasphase existiert - abhängig von der Zahl der Teilchen und der Temperatur - ein bestimmter Gasdruck. Zwischen beiden Phasen werden nun - druckabhängig - so lange Gasteilchen ausgetauscht, bis sich ein **Gleichgewicht** eingestellt hat. Dabei nimmt die Löslichkeit eines Gases in einer Flüssigkeit mit steigendem (Partial-)Druck des Gases proportional zu **(Henry'sches Gesetz)**.

Öffnet man nun die Flasche, entweicht Gas aus der Gasphase in die Umgebung, weil der Gasdruck in der Umgebung geringer ist (in der Flasche existierte ja ein Überdruck). Wird der Druck über der Lösung aufgehoben, wird die Löslichkeit des Gases damit stark reduziert, das Gas perlt heraus. Wird die Flasche wieder geschlossen, ist die Gasphase weniger gesättigt an Gasteilchen im Gegensatz zur flüssigen Phase. Die Folge ist, dass nun weiter Gasteilchen aus der flüssigen Phase in die Gasphase übergehen, bis sich ein neues druckabhängiges Gleichgewicht eingestellt hat. Der Prozess der Öffnens - Gasteilchen entweichen - das Gleichgewicht stellt sich neu ein - kann so lange wiederholt werden wie Gasteilchen gelöst sind.

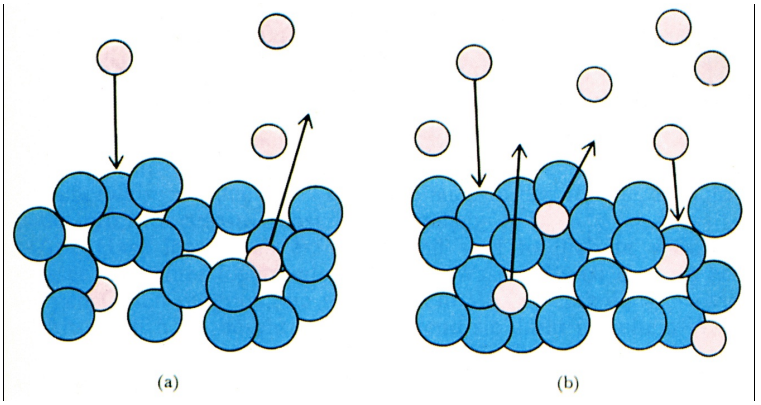

Abb. 1: Die Druckzunahme von a) nach b) erhöht die Anzahl der Moleküle, die sich pro Zeiteinheit lösen. Die Konzentration des Gases in der Lösung nimmt solange zu, bis die Anzahl der Moleküle, die die Lösung verlassen, gleich der ist, die in die Lösung einwandern.

Die **Zunahme der Löslichkeit** mit steigendem Druck wird verständlich, wenn man sich das dynamische Gleichgewicht zwischen den Teilchen in der Lösung und denen im Gasraum vorstellt. (Abb. 1). Ist das Lösungsmittel mit Gas gesättigt, wandern pro Zeiteinheit genauso viele Moleküle in die Lösung wie aus ihr heraus. Erhöht man den Druck, werden mehr Teilchen gelöst: Sie treffen dann pro Zeiteinheit öfter auf die Oberfläche der Lösung. Folglich steigt die Konzentration des Gases in der Lösung. Die gestiegene Konzentration an gelösten Teilchen bedeutet jedoch auch, dass die Anzahl der gelösten Moleküle, die pro Zeiteinheit aus der Lösung entweichen, zunimmt. Wenn die Anzahl der Moleküle pro Zeiteinheit gleich ist, hat sich ein neues Gleichgewicht eingestellt. Dieses neue Gleichgewicht entspricht aber einer höheren Konzentration in der Lösung und damit einer größeren Löslichkeit. Bei einer **Druckerhöhung** versucht also das System, durch eine Erhöhung der Konzentration des Gases in der Lösung das Gleichgewicht wieder herzustellen. Dabei wird die Anzahl der Moleküle in der Gasphase oberhalb der Lösung verkleinert und dadurch der Druckanstieg verringert (Prinzip vom kleinsten Zwang - Le Chatelier).

Das druckabhängige Gleichgewicht selbst ist wie alle Gleichgewichte **temperaturabhängig**. Da auch die Löslichkeit eines Stoffes ein Gleichgewicht darstellt, handelt es sich also insgesamt um das temperaturabhängige Verhalten zweier Gleichgewichte, beeinflusst vom Gasdruck. Im allgemeinen nimmt die Löslichkeit vieler fester Stoffe, z.B. von Salzen = Ionenverbindungen mit steigender Temperatur zu. Dafür sorgen die starken Anziehungskräfte zwischen den polaren Wassermolekülen und den elektrischen Ladungen der Ionen. Hier spielt z.B. der Außendruck oder der Luftdruck beim Lösungsvorgang keine Rolle. Nur wenige feste Stoffe verringern ihre Löslichkeit mit steigender Temperatur. Bei Gasen ist es umgekehrt: da die Bindungen zwischen den i.d.R. unpolaren Gasteilchen und den polaren Wasserteilchen sowieso schon sehr schwach sind, nimmt mit steigender Temperatur bei einem konstanten Druck die Löslichkeit ab. Die **Tabelle 1** zeigt entsprechende Daten.

Temperatur [° C]	0	20	25	30	35	40	60	80
Sauerstoff	0,0694	0,0434	0,0393	0,0359	0,0332	0,0308	0,0227	0,0138
Stickstoff	0,0294	0,0190	0,0175	0,0162	0,0150	0,0139	0,0105	0,0066
Kohlenstoffdioxi	3,35	1,69	1,45	1,26	1,10	0,97	0,58	

Tab.1: Löslichkeit von drei Gasen in g/kg Wasser bei einem Gesamtdruck von 1013 hP als der Summe von Partialdruck des Gases und dem Dampfdruck der Wassers bei der betreffenden Temperatur.

Arbeitsaufträge:

1. Übertrage die Daten aus Tabelle 1 in ein Diagramm (auf mm-Papier, DIN-A4, mit der Temperatur als x-Achse (waagerechte Achse) und der Löslichkeit in g/kg Wasser als y-Achse.
2. Um wie viel mal größer ist die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid bei 20 °C verglichen mit Sauerstoff und Stickstoff?
3. Welche Folgen hat die Erhöhung der Temperatur für biologische Gleichgewichte in Gewässern?
4. Was versteht man unter der „Caisson-Krankheit"?