

# Kolligative Eigenschaften mal anschaulich

Von Petra Schulz

[Originaltext 2008 eingescannt aus Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 35, S. 27-29 (1986), Layout geändert, Anschrift aktualisiert]

## Zusammenfassung

Es wird ein anschauliches Demonstrationsmodell für die kolligativen Eigenschaften verdünnter Lösungen (Dampfdruckerniedrigung, Siedetemperaturerhöhung, Gefriertemperaturniedrigung, osmotischer Druck) dargestellt.

## 1. Einleitung

Die Gesetze für die kolligativen Eigenschaften von verdünnten Lösungen (Dampfdruckerniedrigung, Siedetemperaturerhöhung, Gefriertemperaturniedrigung, osmotischer Druck) sind linear und deshalb sehr einfach. Sie besagen, daß bestimmte physikalisch-chemische Eigenschaften nur abhängig sind von der Konzentration der gelösten Teilchen und nicht von der Art der Teilchen:

Eigenschaft = Konstante mal Konzentration. Im einzelnen lauten die Gesetze:

$$\Delta p = p \cdot x_g$$

$$\Delta T_G = K_G \cdot b$$

$$\Delta T_S = K_S \cdot b$$

$$\pi = RT \cdot c$$

wobei die Größen folgende Bedeutung haben:

$\Delta p$ : Dampfdruckerniedrigung zwischen Lösungsmittel und Lösung,

$p$ : Dampfdruck des reinen Lösungsmittels,

$x_g$ : Stoffmengenanteil der gelösten Substanz,

$\Delta T_G$ : Gefriertemperaturniedrigung,

$K_G$ : kryoskopische Konstante,

$b$ : Molalität des Gelösten, also Stoffmenge der Substanz pro Kilogramm Lösungsmittel,

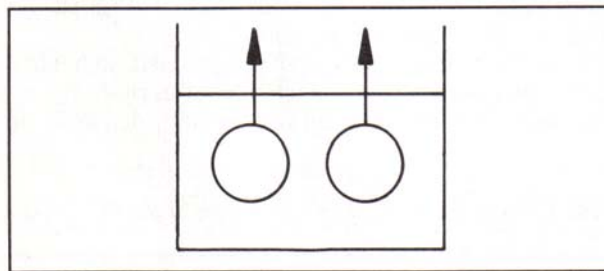
$\Delta T_S$ : Siedetemperaturerhöhung,

- $K_S$ : ebullioskopische Konstante (molare Gefrierpunktserniedrigung) des Lösungsmittels,  
 $\pi$ : osmotischer Druck einer Lösung,  
 $R$ : allgemeine Gaskonstante,  
 $T$ : absolute Temperatur,  
 $c$ : Stoffmengenkonzentration des gelösten Stoffes, also Stoffmenge des Gelösten pro Volumen Lösung.

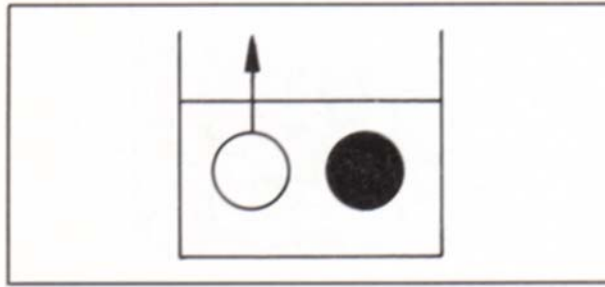
Diese einfachen Gesetze lassen sich anschaulich und plausibel machen. Lehrbücher halten sich leider mit dererlei Überlegungen meist nicht auf. Allenfalls verschansen sich die Autoren hinter wissenschaftlicher, jedoch abstrakter Exaktheit. Ich halte diese Gründlichkeit für den Schulunterricht nicht angebracht. Deshalb mißfällt es mir, um jeden Preis das chemische Potential zu bemühen, das rein theoretisch natürlich immer für die thermodynamische Gleichgewichtslehre gut ist. Aber eben nicht für Schüler. Die kolligativen Eigenschaften lassen sich mit einprägsamen Bildern verdeutlichen.

## 2. Dampfdruckerniedrigung

Betrachtet werde eine siedende Flüssigkeit eines reinen Stoffes. Zwei symbolische Flüssigkeitsteilchen sollen wie in Abbildung 1 im Gleichgewicht mit ihrem Dampf stehen. Der Druck der Flüssigkeitsteilchen sei durch zwei in die Gasphase gerichtete Geschwindigkeitspfeile gekennzeichnet. Nicht dargestellt wurden die Gasteilchen, deren gleichlange Geschwindigkeitspfeile auf die Flüssigkeit gerichtet sind.

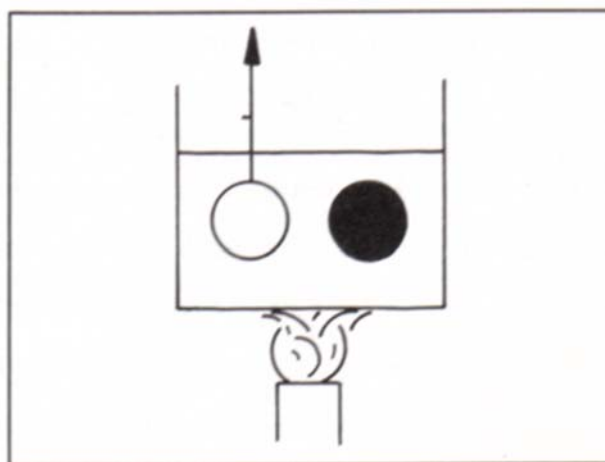


**Abb. 1.** Siedendes Lösungsmittel.



**Abb. 2.** Dampfdruckerniedrigung durch Fremdstoffzusatz.

In Abbildung 2 wurde aus der reinen Flüssigkeit eine Lösung, denn eins der weißen Flüssigkeitsteilchen wurde durch ein schwarzes gelöstes Teilchen ersetzt. Die gelösten Teilchen sollen wie tote Fliegen von sich aus keinen Dampfdruck besitzen, also keine eigene Geschwindigkeit mitbringen. (Daß die Fremdstoffteilchen zwar von den Lösungsmittel-Molekülen angeschubst werden, soll in dem Schema nicht erwähnt werden. Das verkompliziert nur die Sache, würde aber zum selben Ergebnis führen. Eines würde man bei diesen Überlegungen feststellen können: die gelösten Teilchen müssen deutlich schwerer sein als die Lösungsmittel-Moleküle. Erfahrungsgemäß ist das bei beobachtbarer Dampfdruckerniedrigung wohl immer der Fall. Als gelöste Teilchen darf man zum Beispiel für wäßrige Lösungen nicht die nackten Ionen, sondern muß stets die viel schwereren hydratisierten Ionen betrachten.) Die Lösung zeigt, wie der einsame Geschwindigkeitspfeil der Abbildung 2 andeutet, einen geringeren Dampfdruck als das reine Lösungsmittel.

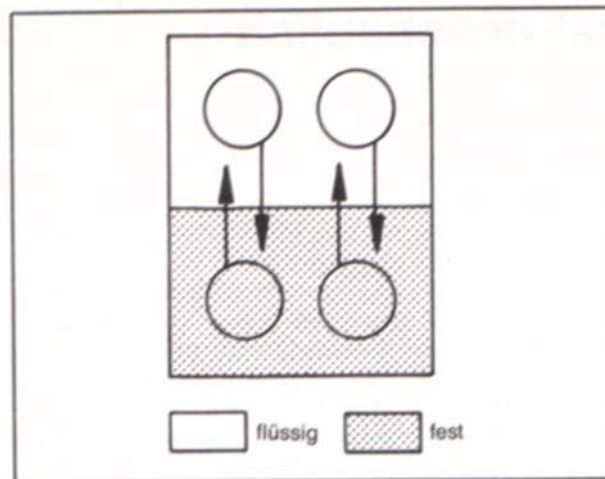


**Abb. 3.** Die Lösung siedet bei höherer Temperatur als das Lösungsmittel.

### 3. Siedetemperaturerhöhung

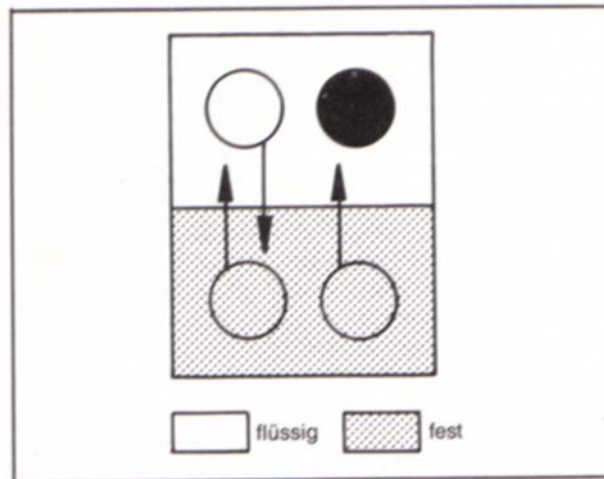
Um der Lösung den für die Bedingung eines Siedegleichgewichts geforderten Dampfdruck von Atmosphärendruck (1,01 bar) aufzuprägen, müssen die Moleküle in der Lösung durch Wärmezufuhr schneller werden (Abbildung 3). Im Demonstrationsbeispiel muß das eine Lösungsmittel-Molekül doppelt so schnell werden, um den gleichgroßen Druck wie die beiden Flüssigkeitsteilchen der Abbildung 1 zu erzeugen. Die Temperatur der siedenden Lösung ist somit höher als die in dem siedenden Lösungsmittel.

### 4. Gefriertemperaturerniedrigung



**Abb. 4.** Feststoff und Schmelze im Gleichgewicht.

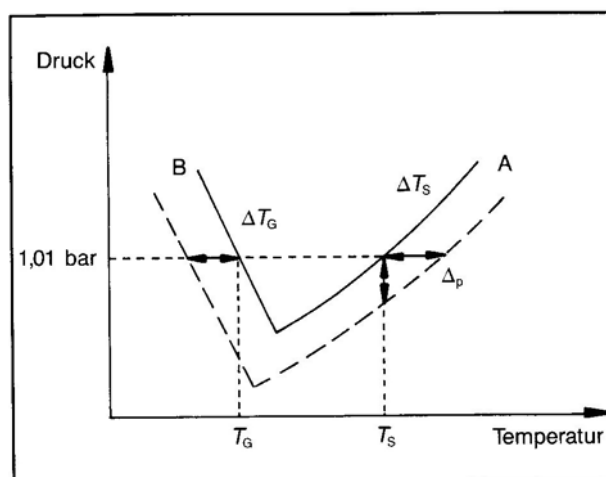
In Abbildung 4 ist eine Schmelze eines reinen Stoffes dargestellt, die mit ihrem Feststoff unter Atmosphärendruck, also bei der Schmelztemperatur, im Gleichgewicht steht. Die Geschwindigkeitspfeile von geschmolzenen Teilchen und festen Teilchen heben sich auf, dies ist ein sichtbares Zeichen für den Gleichgewichtszustand. So viele Teilchen, wie in die Schmelze abwandern, so viele setzen sich aus der Schmelze am erstarrten Feststoff ab.



**Abb. 5.** Fremdstoffzusatz in der Schmelze läßt den Feststoff schmelzen.

In Abbildung 5 wurde ein Teilchen der Schmelze durch ein Teilchen des Gelösten ohne Dampfdruck (ohne Geschwindigkeitspfeil) ersetzt. Dadurch gehen mehr Teilchen aus dem Festkörper in die Zweistoffschmelze über als aus der Schmelze in den Feststoff. Ein Schmelz-Ungleichgewicht ist eingetreten, der Feststoff wird wegschmelzen. Um wieder ein Gleichgewicht herzustellen, müssen vor allem die Feststoffteilchen durch Temperaturemniedrigung in ihrer Geschwindigkeit gebremst werden. Das ist der Fall der Gefriertemperaturemniedrigung.

Die Gefriertemperaturemniedrigung spielt sich übrigens genauso wie die Siedetemperaturerhöhung bei Atmosphärendruck ab, ein Sachverhalt, der leider in fast allen Lehrbüchern im Diagramm für die Schmelzkurve falsch dargestellt wird (siehe deshalb Abbildung 6).

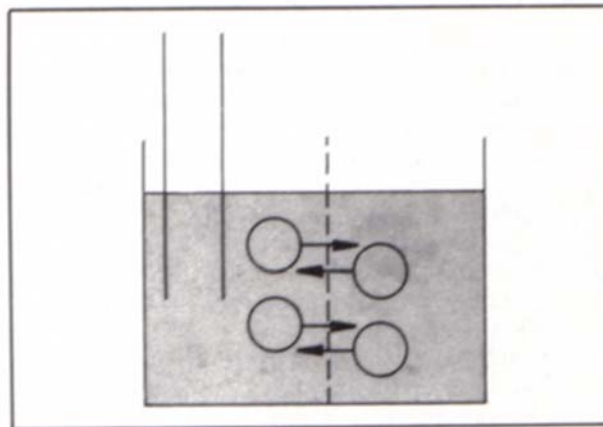


**Abb. 6.** Dampfdruckkurve (A) und Schmelzdruckkurve (B) eines reinen Stoffes (—) und eines Zweistoffgemisches (---).

$T_G$ : Gefriertemperatur des reinen Stoffes,  $T_S$ : Siedetemperatur des reinen Stoffes.

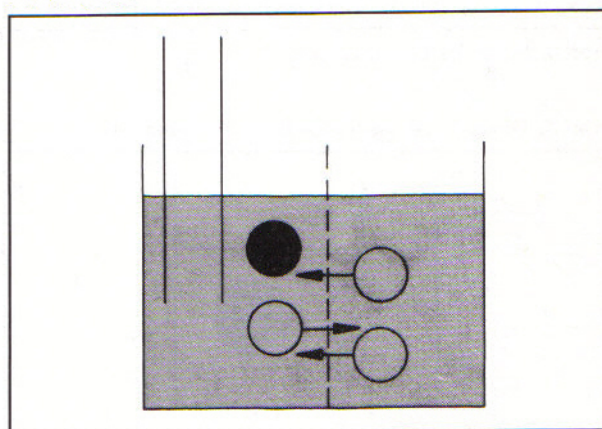
## 5. Osmotischer Druck

Ein Gefäß mit einem Lösungsmittel werde durch eine Membran in zwei Flüssigkeitshälften geteilt (Abbildung 7). Die Membran sei durchlässig für kleine Flüssigkeits-Moleküle. Genauso viele Flüssigkeits-Moleküle, wie in die linke Hälfte wandern, rücken aus der linken in die rechte Abteilung. Also ein Gleichgewichtszustand. (Unter Vernachlässigung der Kapillarkräfte steht der Flüssigkeitsspiegel im Kapillarrohr genauso hoch wie der im übrigen Flüssigkeitsbehälter.)

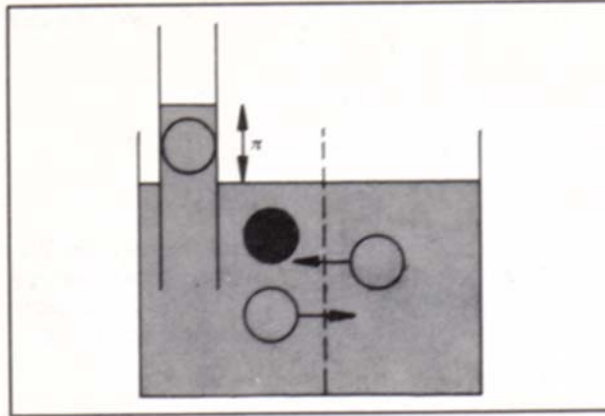


**Abb. 7.** Gleichgewicht an der Membran zwischen zwei Lösungsmittelfronten.

In der linken Gefäßhälfte werde ein Lösungsmittel-Molekül durch ein eigendruckloses Teilchen des Gelösten ersetzt. Damit ist der Gleichgewichtszustand gestört. Es dringen mehr Moleküle des Lösungsmittels in die Lösung ein, als Lösungsmittel-Moleküle aus der Lösung in das reine Lösungsmittel übergehen (Abbildung 8).



**Abb. 8.** Ungleichgewicht, wenn eine Lösung gegen ein Lösungsmittel grenzt.



**Abb. 9.** Gleichgewicht nach Aufbau eines osmotischen Drucks.

Erst in Abbildung 9 ist das Gleichgewicht wieder hergestellt. Die Nettoeinwanderer aus dem Lösungsmittel haben sich selbst oder andere Moleküle in das Kapillarrohr gedrückt. Ihre einstige Geschwindigkeit (der Überdruck) hat sich beim Aufsteigen im Glasrohr durch das stete Gegenwirken der Erdanziehungskraft aufgezehrt. Nachdem sich der osmotische Druck  $\pi$  aufgebaut hat, als hydrostatischer Druck ablesbar, ist in beiden Gefäßteilen wieder Gleichgewicht und äußere Ruhe eingekehrt.

Ich hoffe, hinreichend gezeigt zu haben, wie man das Thema „kolligative Eigenschaften“ auch ohne abstrakten Formalismus einleuchtend darstellen kann.

**Anschrift der Verfasserin:**

Dr. Petra Schulz, Theodor-Francke-Weg 65, 38116 Braunschweig