

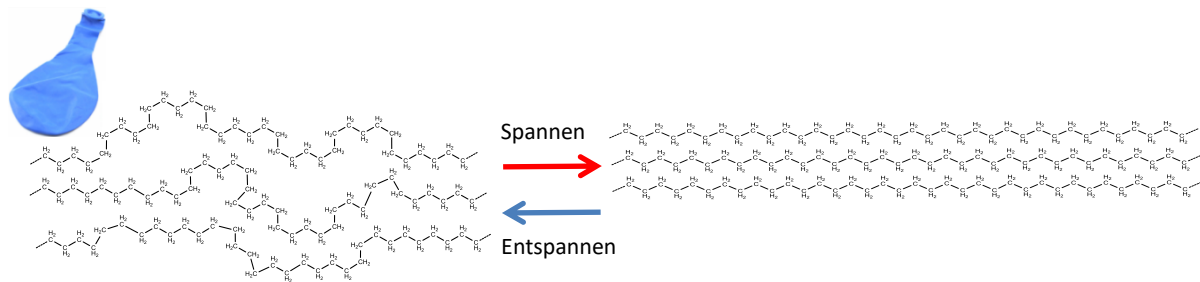
# Gummi spannen: Arbeit, Wärme, Entropie, Antrieb und freie Enthalpie

Mit dem Spannen und Entspannen der Gummihaut eines Ballons gewinnen wir einen tiefen Einblick in die Thermodynamik. Energieeffekte werden sichtbar: Wo geht Arbeit und Wärme hinein oder hinaus, wo wird Kälte erzeugt und wie bestimmen grosse Zahlen, Entropie und freie Enthalpie das Gleichgewicht und das Verhalten der (Mikro-) Welt.

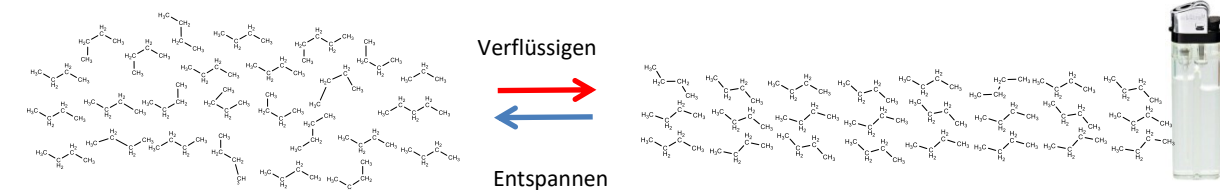
Anleitung zum Schülerexperiment: Lese die Schritte **a-d** durch, stelle dann bei **e** die beiden Hypothesen auf und führe dann den Versuch entlang der Schritte **a-d** aus.

- a** Die Temperatur der Gummiballonhülle mit der Oberlippe spüren oder messen (IR-Thermometer).
- b** Den Ballonhals **spannen** und dessen Temperatur spüren oder messen.
- c** Den Ballonhals gespannt halten und die Temperatur wieder der der Luft angleichen lassen.
- d** Den Ballonhals **entspannen lassen** und dessen Temperatur spüren oder messen.
- e** Stelle Hypothesen auf zum **Spannen**: Wird die Ballonhaut bei **b** wärmer oder kälter? Wieso?  
zum **Entspannen**: Wird die Ballonhaut bei **d** wärmer oder kälter? Wieso?

**Spannen**, also **Moleküle parallel ausrichten und annähern**, braucht Arbeit und gibt Wärme ab.



Das ist analog zur **Verflüssigung von Gasen**, z. B. für Feuerzeuge:



Das Spannen und Entspannen des Ballons ist also eine Analogie zu den Aggregatzustandsänderungen: **Entspannen**, also **Moleküle voneinander entfernen**, **braucht** Energie als **Wärme** (-> **Kälte**) wie z. B. beim Verdunsten von flüssig zu gasförmig und spannen (komprimieren) nähert die Moleküle einander an und setzt Energie als Wärme frei.

Es ist also auch ein Modell für **Kühlmaschinen**, wo durch Verdunsten Wärme aufgenommen und (z. B. ausserhalb des Kühlschranks) durch Komprimieren wieder abgegeben wird. Weil die Kondensation nicht freiwillig ist, muss sie durch die Arbeit des Kompressors erzwungen werden.

Umgekehrt betrachtet ist es ein Modell einer **Wärmepumpe**. Wärme wird mit Arbeit freigesetzt und an einem anderen Ort wieder aufgenommen. So funktionieren heute viele Minergie-Häuser.

Aber wieso entfernen sich die Moleküle voneinander, wenn sie sich doch anziehen? Die Erklärung liegt bei der **Entropie!** Es ist eine statistische Grösse und vor allem wirksam bei hohen Zahlen. In der Chemie sind immer viele Teilchen beteiligt, dort spielt die Entropie eine wichtige Rolle.

**Spannen**, also **Moleküle durch Leisten von Arbeit zwingen, sich parallel auszurichten und anzunähern**, gibt Energie als **Wärme**.

$$\begin{array}{lclcl} \text{Spannen (unfreiwillig): } \Delta G & = & \Delta H & - T \cdot \Delta S \\ & & >0 \text{ (Arbeit!)} & <0 >>0 (<<0) \end{array}$$

**Entspannen**, Moleküle **freiwillig voneinander entfernen und dabei arbeiten lassen**, braucht Energie als **Wärme**. Es gibt **Kälte**.

Aber wieso entfernen sich die Moleküle voneinander, wenn sie sich doch anziehen? Der Grund ist der **Entropieanstieg im Gummi!**

$$\begin{array}{lclcl} \text{Entspannen (freiwillig): } \Delta G & = & \Delta H & - T \cdot \Delta S \\ & & <0 \text{ (Arbeit!)} & >0 <<0 \text{ (} >>0 \text{ Entropie steigt, bewirkt Arbeitsleistung!)} \end{array}$$

#### Zum Weiterdenken:

- Begründe und erläutere folgende Aussagen:
  - Ziehen wir an einer Polyethylen-Folie, ziehen wir **gegen** die Van-Waals-Kräfte, welche die Polyethylen-Moleküle zusammenhalten.
  - Ziehen wir an Gummi, z. B. der Ballonhaut, ziehen wir **mit** den Van-Waals-Kräften, welche die Gummimoleküle zusammenhalten.

Wieso müssen wir überhaupt am Ballon ziehen, wenn doch die Van-Waals-Kräfte bereits ziehen? Weil die Entropie (im System) dabei abnimmt, was nicht günstig ist für den Antrieb und der Anziehung entgegenwirkt.

Und umgekehrt:

  - Zieht sich ein Gummiband zusammen, passiert das gegen die Van-Waals-Kräfte, welche die Gummimoleküle zusammenhalten, aber mit einer Zunahme an Entropie, welche hier bestimmt.
- Vergleiche das Spannen und Entspannen der Gummihaut mit dem Erstarren einer Flüssigkeit und dem Schmelzen eines Festkörpers (z. B. flüssiges Wasser und Eis)  
Was ist gemeinsam und was ist verschieden?
- Vergleiche das Spannen und Entspannen der Gummihaut mit den Vorgängen in einem Kühlschrank. Oder anders gefragt: Wie könnten wir mit einer Ballonhaut kühlen z. B. für einen Kühlschrank? Wie müsste das technisch aussehen? Wieso ist es mit Butangas oder einem anderen Gas einfacher? (In Kühlschränke wird heute häufig Isobutan verwendet.)
- Gespannter Gummi kann arbeiten, z. B. ein kleines Gewicht gegen die Schwerkraft anheben. Zeige mit der GIBBS-Gleichung oben, wo der Grund für diese Zugkraft herkommt. Kennst Du Maschinen bzw. Spielzeuge mit einem solchen Antrieb?
- Sie können ein Gewicht an einem Gummiband (oder einem Gummiballon) aufhängen. Was passiert, wenn das Gummiband z. B. mit einem Fön erwärmt wird? Was sagt die GIBBS-Gleichung voraus? Entspannt sich der Gummi oder spannt er sich. Sie können es testen.