

## 2. Thermodynamik

Die **Thermodynamik** oder übersetzt Lehre von den **Wärmebewegungen** beschäftigte sich im Zeitalter der **Dampfmaschinen** vor allem mit den Möglichkeiten und Grenzen der Umwandlung von **Wärme** in **Arbeit**. Mit dem Siegeszug der **Elektro-** und **Verbrennungsmotoren** hat sich ihr Interessengebiet auf andere Energieformen ausgeweitet, insbesondere die **chemische Energie**, die in **Batterien** und **Brennstoffen** gespeichert werden kann.

Stoffe tauschen Energie mit der Umgebung aus, wenn sich ihre **Zustandsgrößen** wie **Zusammensetzung**, **Druck**, **Temperatur** und **Volumen**. Besonders wirkungsvoll sind dabei Änderungen der Aggregatzustände und **chemische Reaktionen**.

### 2.0. Grundlagen

#### 2.0.1. Der Aufbau der Stoffe aus kleinsten Teilchen

##### Volumenverminderung beim Lösungsvorgang

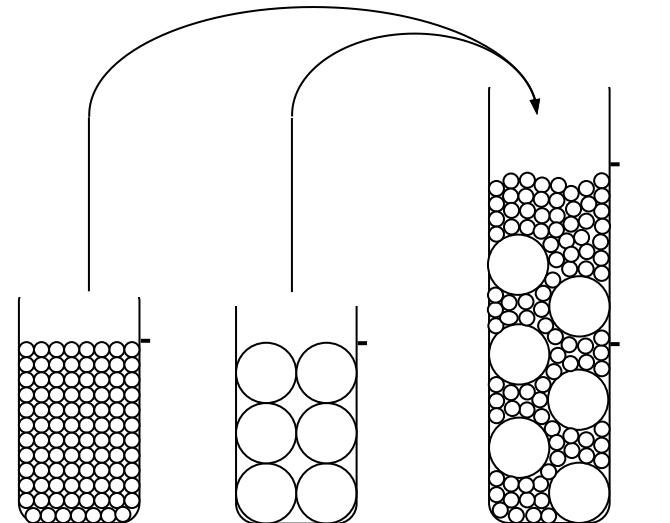
Man vermischt 20 ml destilliertes Wasser und 20 ml wasserfreien Alkohol in einem Messzylinder.

##### Beobachtung:

Die Mischung hat ein Volumen von \_\_\_\_ ml.

##### Erklärung:

Wasser und Alkohol bestehen aus verschiedenen großen \_\_\_\_\_. Beim Mischungsvorgang füllen die kleinen Teilchen teilweise die \_\_\_\_\_ zwischen den großen Teilchen, so dass die Mischung weniger \_\_\_\_\_ beansprucht als die Summe der reinen Stoffe.



#### Diffusion und Brownsche Teilchenbewegung

Die selbständige Durchmischung flüssiger, gasförmiger oder gelöster Stoffe nennt man \_\_\_\_\_. Beispiele sind die Ausbreitung von \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ in **Wasser** und von \_\_\_\_\_ in der **Luft**. Die Diffusion lässt sich mit der \_\_\_\_\_ **Teilchenbewegung** erklären. Die Brownsche Teilchenbewegung nimmt mit steigender Temperatur \_\_\_\_\_.

#### Der Aufbau der Stoffe aus kleinsten Teilchen

Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen, die aufgrund ihrer geringen Größe mit dem \_\_\_\_\_ oder dem \_\_\_\_\_ nicht sichtbar sind. Nur bei der Abtastung der Oberflächen von \_\_\_\_\_ mit dem \_\_\_\_\_ sind sie als regelmäßige \_\_\_\_\_ direkt erkennbar. Man unterscheidet

1. **Atome** (griech. **atomos** = untrennbar) = mit chemischen Reaktionen nicht mehr \_\_\_\_\_ Teilchen.
2. **Elemente** = Stoffe, die nur aus einer \_\_\_\_\_ sorte bestehen.
3. **Periodensystem der Elemente** (PSE) = Tabelle aller \_\_\_\_\_
4. **Ordnungszahl OZ** = untere Zahl am Elementsymbol = \_\_\_\_\_ des Elementes im PSE

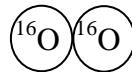
5. **Massenzahl MZ** = obere Zahl am Elementsymbol = \_\_\_\_\_ von 1 Mol Atomen in g
6. 1 **Mol** :=  $602 \cdot 200\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 602,2$  \_\_\_\_\_
7. **Moleküle** (lat. **moles** = Last, Masse) = aus mehreren \_\_\_\_\_ zusammengesetzte Teilchen
8. **Verbindungen** = aus verschiedenen \_\_\_\_\_ zusammengesetzte Stoffe
9. **Ionen** (griech. **ionos** = wandernd) = elektrisch \_\_\_\_\_ Teilchen

### Beispiele:

**Kohlenstoff:** 1 Mol  $^{12}\text{C}$ -Atome hat die Masse \_\_\_\_\_

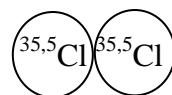
**Phosphor:** 1 Mol  $^{31}\text{P}$ -Atome hat die Masse \_\_\_\_\_

**Sauerstoff:** Ein  $\text{O}_2$ -Molekül enthält \_\_\_\_\_  $^{16}\text{O}$ -Atome



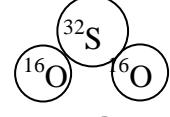
$\Rightarrow$  1 Mol  $^{16}\text{O}_2$ -Molekül hat die Masse \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

**Chlor:** Ein  $\text{Cl}_2$ -Molekül enthält \_\_\_\_\_  $^{35,5}\text{Cl}$ -Atome



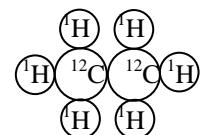
$\Rightarrow$  1 Mol  $^{35,5}\text{Cl}_2$ -Molekül hat die Masse \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

**Schwefeldioxid:** Ein  $\text{SO}_2$ -Molekül enthält \_\_\_\_\_  $^{32}\text{S}$ -Atom und \_\_\_\_\_  $^{16}\text{O}$ -Atome



$\Rightarrow$  1 Mol  $\text{SO}_2$  hat die Masse \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

**Ethan:** Ein  $\text{C}_2\text{H}_6$ -Molekül enthält \_\_\_\_\_  $^{12}\text{C}$ -Atome und \_\_\_\_\_  $^1\text{H}$ -Atome



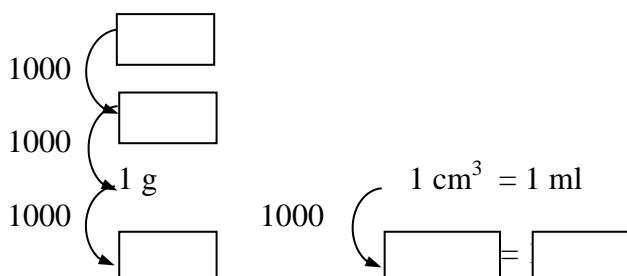
$\Rightarrow$  1 Mol  $\text{C}_2\text{H}_6$  hat die Masse \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

### Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 1 - 4

## 2.0.2. Die Dichte

Die **Dichte**  $\rho = \frac{m}{V}$  eines Stoffes ist seine **Masse** m bezogen auf sein **Volumen** V

### Einheiten für Masse und Volumen:



### Einige Dichten

| Stoff     | $\rho / \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ |
|-----------|---------------------------------------|
| Luft      | 0,001                                 |
| Ethanol   | 0,8                                   |
| Eis       | 0,9                                   |
| Wasser    | 1,0                                   |
| Schwefel  | 2,1                                   |
| Aluminium | 2,7                                   |
| Eisen     | 7,8                                   |
| Blei      | 11,3                                  |
| Gold      | 19,3                                  |
| Iridium   | 22,6                                  |

### Beispiele:

$$\text{Wasser: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{78,9 \text{ g}}{80 \text{ ml}} = \frac{0,98 \text{ g}}{1 \text{ ml}} = 0,98 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

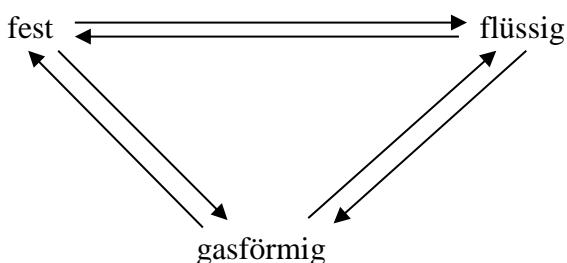
$$\text{Ethanol: } \rho = \frac{m}{V} =$$

$$\text{Kartoffel: } \rho = \frac{m}{V} =$$

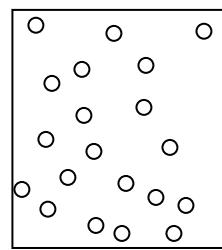
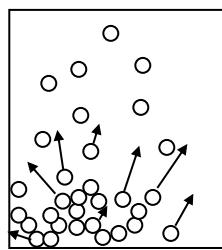
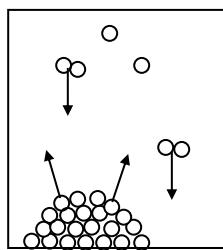
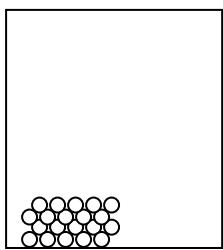
### Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 5

## 2.0.3. Aggregatzustände

Jeder Stoff kann in drei verschiedenen **Aggregatzuständen** auftreten. Dabei können zwei oder sogar drei Aggregatzustände nebeneinander existieren.



### Aggregatzustände und kleinste Teilchen



**fester Zustand**  
Die Teilchen vibrieren auf festen Positionen im Kristallgitter

**flüssiger Zustand**  
Teilchen sind im Tropfen frei beweglich (**Diffusion**) Verdunstung an der Oberfläche, Kondensation in feuchter Luft

**Verdampfen**  
Alle Teilchen reißen sich aus der Flüssigkeit los.

**gasförmiger Zustand**  
Teilchen sind im gesamten Raum frei beweglich (**Diffusion**)

### Fester Zustand

Im festen Zustand werden die Teilchen durch **elektrische** \_\_\_\_\_ in einem festen \_\_\_\_\_ zusammen gehalten. Wird ein Kristall erwärmt, so speichert es die zugeführt \_\_\_\_\_ in Form von \_\_\_\_\_ **energie**. Die Teilchen \_\_\_\_\_ mit zunehmender Temperatur immer stärker um ihre Ruhelage, bis sie sich bei Erreichen der \_\_\_\_\_ von ihren festen Plätzen \_\_\_\_\_.

### Flüssiger Zustand und Verdunsten

Im flüssigen Zustand bleiben die Teilchen aneinander haften und bewegen sich mit **unterschiedlichen** \_\_\_\_\_. Manche Teilchen sind so schnell, dass sie sich von der Oberfläche des Tropfens \_\_\_\_\_: Der Tropfen \_\_\_\_\_. Unterhalb der \_\_\_\_\_ **temperatur** sind die Teilchen im Gaszustand aber so langsam, dass sie beim Zusammentreffen mit anderen Teilchen aneinander \_\_\_\_\_ bleiben. Das Gas \_\_\_\_\_ wieder zu kleinen Tröpfchen, die durch die Stöße der sie umgebenden Luftteilchen in der Schweben gehalten werden und **sichtbaren** \_\_\_\_\_ bilden. Wenn es warm wird, \_\_\_\_\_ die Tröpfchen und der Nebel löst sich auf. Wenn es kalt wird, \_\_\_\_\_ mehr Gas und die Nebeltröpfchen \_\_\_\_\_, bis sie als **Regentropfen** zu Boden fallen.

### Schmelz- und Siedepunkte

| Stoff           | Fp/°C | Sp/°C  |
|-----------------|-------|--------|
| Eisen           | 1535  | 2750   |
| Kochsalz        | 800   | 1460   |
| Schwefel        | 119   | 444    |
| Wachs           | ~ 40  | ~300   |
| Wasser          | 0     | 100    |
| Benzol          | 5     | 80     |
| Ethanol         | -117  | 78     |
| CO <sub>2</sub> | -78   | (subl) |
| Sauerstoff      | -219  | -183   |
| Stickstoff      | -210  | -196   |

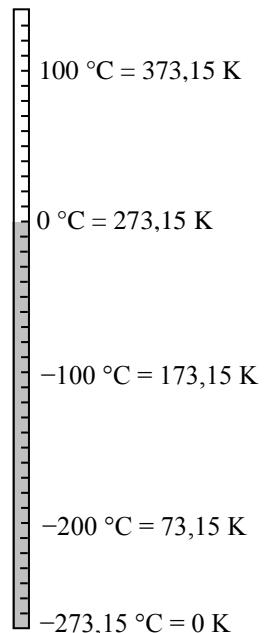
## Verdampfen und gasförmiger Zustand

Erst bei Erreichen der \_\_\_\_\_ **temperatur** reißen sich **alle** Teilchen voneinander los und verteilen sich \_\_\_\_\_ im Raum.

*Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 6*

### 2.0.4. Absolute und relative Temperatur

Zwei Körper besitzen die **gleiche Temperatur**, wenn sie längere Zeit in engem \_\_\_\_\_ miteinander waren. Die **Temperatur** messen wir als \_\_\_\_\_ einer bestimmten Flüssigkeit oder eines Gases, die sich in engem Kontakt mit der zu messenden Substanz befinden. Da sich verschiedene Thermometerflüssigkeiten wie z.B. \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ sowie alle **Gase** bei gemeinsamer Erwärmung im **gleichen Verhältnis** ausdehnen, geht man von einem \_\_\_\_\_ **Zusammenhang zwischen Temperatur und Ausdehnung** aus. Aus diesem Grund benötigt man für die Eichung eines Thermometers nur \_\_\_\_\_ **Temperaturen**, z.B. die von Eiwasser und kochendem Wasser. Man beschriftet die beiden entsprechenden Stellen am Steigrohr mit  $0^{\circ}\text{C}$  bzw.  $100^{\circ}\text{C}$  und unterteilt den dazwischen liegenden Abschnitt einfach in 100 **gleich große Teile**. So erhält man die **Celsius-Skala** der auf das Wasser bezogenen **relativen Temperatur 9**.



Verwendet man ein **Gasthermometer** mit geradem Steigrohr **ohne Vorratsblase**, so sieht man, dass sich die  $0^{\circ}\text{C}$ -Marke genau 273,15 Teile über dem Boden des Steigrohrs befindet. Bei  $-273,15^{\circ}\text{C}$  hätte das Gas also kein \_\_\_\_\_ mehr. Dieser Wert ist **unabhängig von der Art des verwendeten Gases** und wird daher als Nullpunkt der \_\_\_\_\_ **Temperatur T** mit der Einheit **Kelvin K** festgelegt. Erhöht man die Temperatur eines Stoffes durch Wärmezufuhr, so speichern die Teilchen die zugeführte \_\_\_\_\_ in Form von \_\_\_\_\_ **Energie**. Mit steigender Temperatur nimmt also die Eigenbewegung der Teilchen \_\_\_, mit sinkender Temperatur nimmt sie \_\_\_. Auch im **festen Zustand** \_\_\_\_\_ die Teilchen noch im Kristallgitter. Am absoluten Temperaturnullpunkt  $-273,15^{\circ}\text{C} = 0\text{ K}$  enthält ein Stoff keine \_\_\_\_\_ Energie mehr, denn sonst wäre es möglich, ihn durch Wärmeentzug noch weiter abzukühlen. Bei  $0\text{ K}$  findet also keinerlei Teilchen \_\_\_\_\_ mehr statt und es kann also an keinem Ort des \_\_\_\_\_ kälter werden als  $-273,15^{\circ}\text{C}$ !

*Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 7*

## 2.0.5. Die spezifische Wärmekapazität

- Um die Temperatur von 1 g Wasser um 1 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von 4,19 J zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 1 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_ J zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 5 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_ J zugeführt werden.

Einige Wärmekapazitäten:

| Stoff  | c in J/g·K |
|--------|------------|
| Wasser | 4,19       |
| Luft   | 1,00       |
| Eisen  | 0,98       |
| Kalk   | 0,81       |
| Blei   | 0,12       |

Um die Temperatur von Wasser mit der Masse **m** um  $\Delta T$  zu erhöhen, muss eine Wärmemenge **Q** (**quantité chaleureuse**) = \_\_\_\_\_ zugeführt werden.  $c = 4,19 \text{ J/g}\cdot\text{K}$  ist die **spezifische** (d.h. auf 1 g bezogene) **Wärmekapazität** (Wärmeaufnahmevermögen) des Wassers.

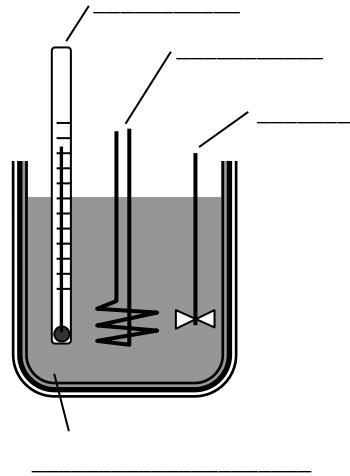
Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 8

## 2.0.6. Wärmemessung mit dem Kalorimeter

Die von einem System abgegebene oder aufgenommene \_\_\_\_\_ bestimmt man mit einem **Kalorimeter**. Es besteht aus einem wassergefüllten **Isoliergefäß** mit **Thermometer** und **Rührer**.

Um die \_\_\_\_\_ C des Kalorimeters zu bestimmen, misst man die Zeit  $\Delta t$ , die man benötigt, um mit einem elektrischen Tauchsieder bei der \_\_\_\_\_ U und der Stromstärke \_\_\_\_\_ eine \_\_\_\_\_ von  $\Delta T = 1 \text{ K}$  zu bewirken. Die vom Tauchsieder an das Kalorimeter abgegebene Wärme ist gleich der **elektrische Arbeit**  $Q = E_{\text{el}} = U \cdot I \cdot \Delta t$ . Die Wärmekapazität C des Kalorimeters berechnet sich dann zu  $C = \frac{Q}{\Delta T} = \dots$

Um die z.B. bei der Verbrennung von 1 g Benzin abgegeben \_\_\_\_\_ Q zu bestimmen, ersetzt man den Tauchsieder durch ein **Reagenzglas** mit 1 g Benzin, \_\_\_\_\_ es an und bestimmt den Temperaturanstieg  $\Delta T'$ . Der Verbrennungswärme ist dann  $Q = \dots$



Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 9

## 2.0.7. Ideale Gase

- Das Volumen eines idealen Gases wird allein durch den \_\_\_\_\_ bestimmt, den die Teilchen für ihre freie Bewegung benötigen. Die Art der Teilchen hat keinen \_\_\_\_\_ auf das Volumen. (**Satz von \_\_\_\_\_**)

2. Das Volumen eines idealen Gases ist \_\_\_\_\_ zur Teilchenzahl n und zur absoluten Temperatur T. Es ist \_\_\_\_\_ zum Druck p.
3. 1 Mol eines idealen Gases hat bei  $p = 1013 \text{ hPa}$  und  $T = 273,15 \text{ K}$  ein Volumen von  $V =$  \_\_\_\_\_ Litern.  
**(Molvolumen unter Normalbedingungen)**

je größer, desto größer  $\Rightarrow$  \_\_\_\_\_

| Teilchenzahl n<br>in Mol | Temperatur T<br>in Kelvin | Druck p<br>in hPa | Volumen V<br>in Litern |
|--------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|
| 1                        | 273,15                    | 1013              | 22,4                   |
| <b>2</b>                 | 273,15                    | 1013              |                        |
| 1                        | <b>546,30</b>             | 1013              |                        |
| 1                        | 273,15                    | <b>2026</b>       |                        |
| <b>2</b>                 | 273,15                    | <b>2026</b>       |                        |
| <b>2</b>                 | <b>136,57</b>             | <b>2026</b>       |                        |

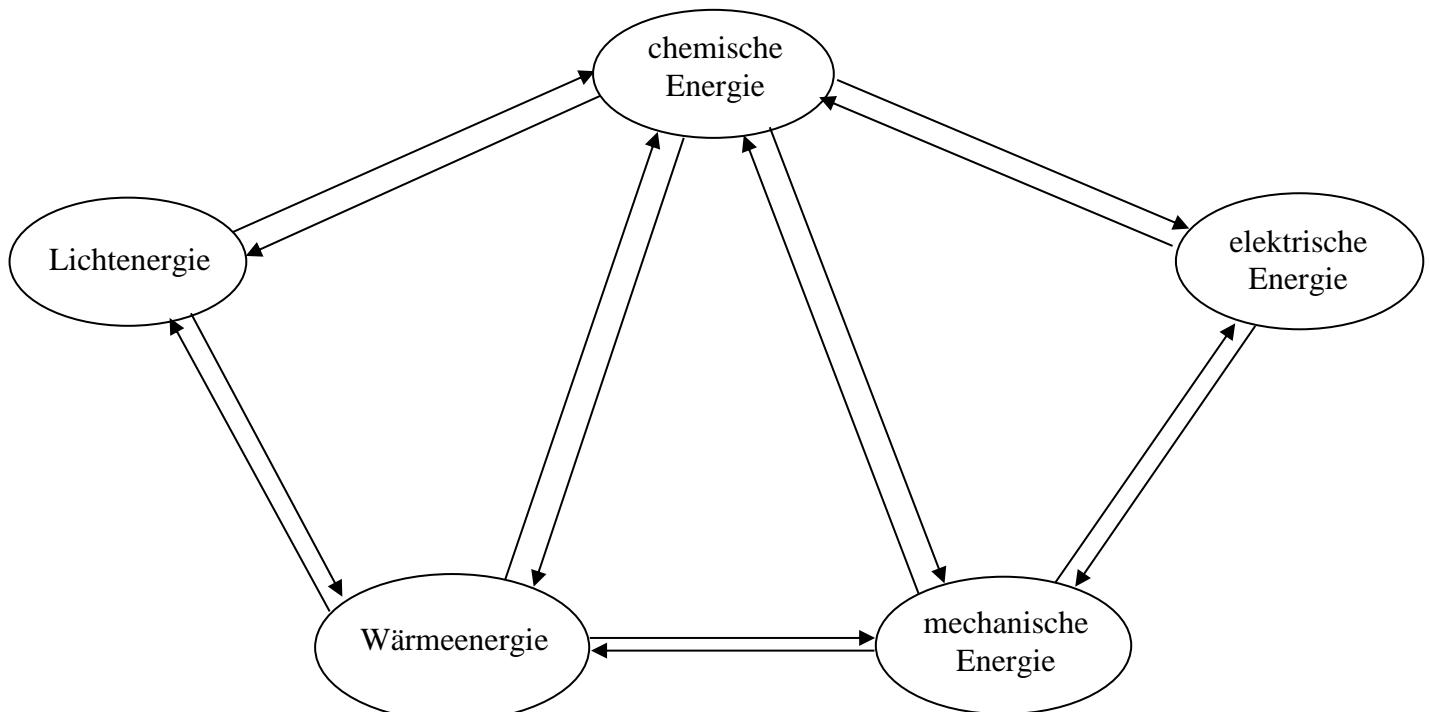
je größer, desto kleiner  $\Rightarrow$  \_\_\_\_\_

Das **ideale Gasgesetz**:  $p = R \cdot \underline{\quad} \Leftrightarrow p \cdot V = \underline{\quad}$  mit der **Gaskonstante**  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

*Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 10 - 13*

## 2.0.8. Energieformen

Beschreibe die Pfeile mit den folgenden Begriffen: Sonnenbad, Sonnenbrand, Akku entladen, Akku aufladen, Photosynthese der Pflanzen, Sahne schlagen, Teig kneten, Dynamo, Elektromotor, Feuer (zwei Mal), glühender Nagel, Verbrennungsmotor, Dampfmaschine, Eisengewinnung im Hochofen, Reibung



*Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 14 und 15*

## 2.0. Grundlagen

### 2.0.1. Der Aufbau der Stoffe aus kleinsten Teilchen

#### Versuch: Volumenverminderung beim Lösungsvorgang

##### Durchführung:

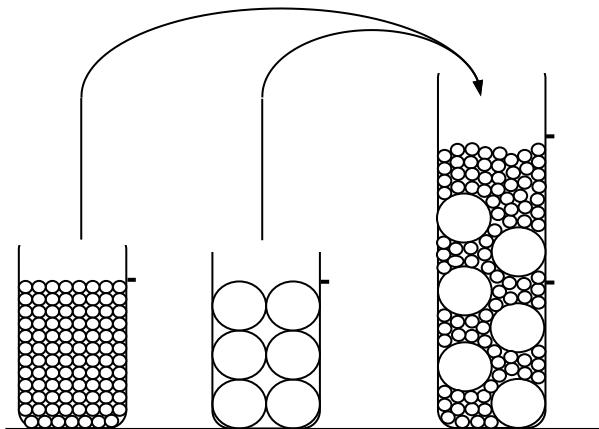
Man vermischt 20 ml destilliertes Wasser und 20 ml wasserfreien Alkohol in einem Messzylinder.

##### Beobachtung:

Die Mischung hat ein Volumen von 37 ml.

##### Erklärung:

Wasser und Alkohol bestehen aus verschiedenen großen **Teilchen**. Beim Mischungsvorgang füllen die kleinen Teilchen teilweise die Lücken zwischen den großen Teilchen, so dass die Mischung weniger Volumen beansprucht als die Summe der reinen Stoffe.



#### Diffusion und Brownsche Teilchenbewegung

Die selbständige Durchmischung flüssiger, gasförmiger oder gelöster Stoffe nennt man **Diffusion**. Beispiele sind die Ausbreitung von Salz und Essig in Wasser und von Parfüm in der Luft. Sie lässt sich mit der **Brownsschen Teilchenbewegung** erklären. Die Brownsche Teilchenbewegung nimmt mit steigender Temperatur zu.

#### Der Aufbau der Stoffe aus kleinsten Teilchen

Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen, die aufgrund ihrer geringen Größe mit dem **Auge** oder dem **Lichtmikroskop** nicht sichtbar sind. Nur bei der Abtastung der Oberflächen von **Feststoffen** mit dem **Rastertunnelmikroskop** sind sie als regelmäßige **Erhebungen** direkt erkennbar. Man unterscheidet

1. **Atome** (griech. **atomos** = untrennbar) = mit chemischen Reaktionen nicht mehr teilbare Teilchen.
2. **Elemente** = Stoffe, die nur aus einer Atomsorte bestehen.
3. **Periodensystem der Elemente** (PSE) = Tabelle aller Atomsorten
4. **Ordnungszahl** OZ = untere Zahl am Elementsymbol = Position des Elementes im PSE
5. **Massenzahl** MZ = obere Zahl am Elementsymbol = Masse von 1 Mol Atomen in g
6. 1 **Mol** =  $602 \cdot 200\,000\,000\,000\,000\,000 = 602,2$  Trilliarden
7. **Moleküle** (lat. **moles** = Last, Masse) = aus mehreren Atomen zusammengesetzte Teilchen
8. **Verbindungen** = aus verschiedenen Atomsorten zusammengesetzte Stoffe
9. **Ionen** (griech. **ionos** = wandernd) = elektrisch geladene Teilchen

#### Beispiele:

**Kohlenstoff:** 1 Mol  $^{12}\text{C}$ -**Atome** hat die Masse 12 g

**Phosphor:** 1 Mol  $^{31}\text{P}$ -**Atome** hat die Masse 31 g

**Sauerstoff:** Ein  $\text{O}_2$ -**Molekül** enthält 2  $^{16}\text{O}$ -**Atome**  $\Rightarrow$  1 Mol  $^{16}\text{O}_2$ -**Moleküle** hat die Masse  $2 \cdot 16 \text{ g} = 32 \text{ g}$

**Chlor:** Ein  $\text{Cl}_2$ -**Molekül** enthält 2  $^{35,5}\text{Cl}$ -**Atome**  $\Rightarrow$  1 Mol  $^{35,5}\text{Cl}_2$ -**Moleküle** hat die Masse  $2 \cdot 35,5 \text{ g} = 71 \text{ g}$

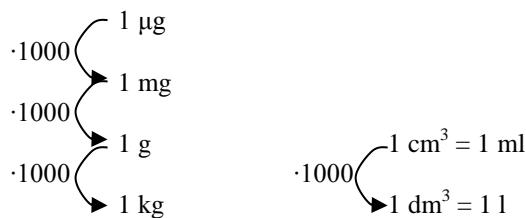
**Schwefeldioxid:** Ein  $\text{SO}_2$ -**Molekül** enthält 1  $^{32}\text{S}$ -**Atom** und 2  $^{16}\text{O}$ -**Atome**  $\Rightarrow$  1 Mol  $\text{SO}_2$  hat die Masse  $(1 \cdot 32 + 2 \cdot 16) \text{ g} = 64 \text{ g}$

**Ethan:** Ein  $\text{C}_2\text{H}_6$ -**Molekül** enthält 2  $^{12}\text{C}$ -**Atome** und 6  $^1\text{H}$ -**Atome**  $\Rightarrow$  1 Mol  $\text{C}_2\text{H}_6$  hat die Masse  $(2 \cdot 12 \text{ g} + 6 \cdot 1) \text{ g} = 30 \text{ g}$

## 2.0.2. Die Dichte

Die **Dichte**  $\rho = \frac{m}{V}$  eines Stoffes gibt an, welche **Masse** m ein gegebenes **Volumen** V dieses Stoffes besitzt.

### Einheiten für Masse und Volumen:



### Einige Dichten:

| Stoff     | $\rho / \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ |
|-----------|---------------------------------------|
| Luft      | 0,001                                 |
| Ethanol   | 0,8                                   |
| Eis       | 0,9                                   |
| Wasser    | 1,0                                   |
| Schwefel  | 2,1                                   |
| Aluminium | 2,7                                   |
| Eisen     | 7,9                                   |
| Blei      | 11,3                                  |
| Gold      | 19,3                                  |
| Iridium   | 22,6                                  |

### Beispiele:

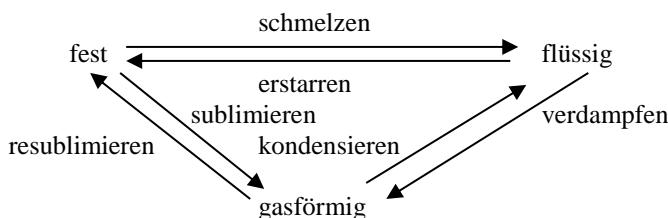
$$\text{Wasser: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{78,9 \text{ g}}{80 \text{ ml}} = \frac{0,98 \text{ g}}{1 \text{ ml}} = 0,98 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Kartoffel: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{52 \text{ g}}{38 \text{ ml}} = \frac{1,37 \text{ g}}{1 \text{ ml}} = 1,37 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Ethanol: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{40 \text{ g}}{50 \text{ ml}} = \frac{0,8 \text{ g}}{1 \text{ ml}} = 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

## 2.0.3. Aggregatzustände

Jeder Stoff kann in drei verschiedenen **Aggregatzuständen** auftreten. Dabei können zwei oder sogar drei Aggregatzustände nebeneinander existieren.



### Aggregatzustände und kleinste Teilchen

### Einige Schmelz- und Siedepunkte:

| Stoff           | Fp/°C | Sp/°C  |
|-----------------|-------|--------|
| Eisen           | 1535  | 2750   |
| Kochsalz        | 800   | 1460   |
| Wachs           | ~ 40  | ~300   |
| Wasser          | 0     | 100    |
| Ethanol         | -117  | 78     |
| CO <sub>2</sub> | -78   | (subl) |
| Sauerstoff      | -219  | -183   |
| Stickstoff      | -210  | -196   |

### Fester Zustand

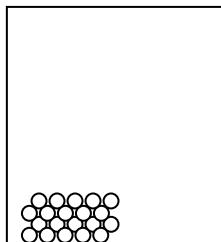
Im festen Zustand werden die Teilchen durch **elektrische Anziehungskräfte** in einem festen **Kristallgitter** zusammen gehalten. Wird ein Kristall erwärmt, so speichert es die zugeführte **Wärme** in Form von **Bewegungsenergie**. Die Teilchen **vibrieren** mit zunehmender Temperatur immer stärker um ihre Ruhelage, bis sie sich bei Erreichen der **Schmelztemperatur** von ihren festen Plätzen **losreißen**.

### Flüssiger Zustand und Verdunsten

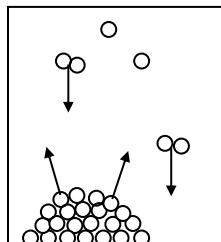
Im flüssigen Zustand bleiben die Teilchen aneinander haften und bewegen sich mit **unterschiedlichen Geschwindigkeiten**. Manche Teilchen sind so **schnell**, dass sie sich von der Oberfläche des Tropfens **losreißen**. Der Tropfen **verdunstet**. Unterhalb der **Siedetemperatur** sind die Teilchen im Gaszustand aber so langsam, dass sie beim Zusammentreffen mit anderen Teilchen aneinander **haften** bleiben. Das Gas **kondensiert** wieder zu kleinen Tröpfchen, die durch die Stöße der sie umgebenden Luftteilchen in der Schwebé gehalten werden und **sichtbaren Nebel** bilden. Wenn es warm wird, **verdunsten** die Tröpfchen und der Nebel löst sich auf. Wenn es kalt wird, **kondensiert** mehr Gas und die Nebeltröpfchen wachsen, bis sie als **Regentropfen** zu Boden fallen.

### Verdampfen und gasförmiger Zustand

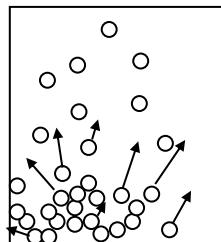
Erst bei Erreichen der **Siedetemperatur** reißen sich **alle** Teilchen voneinander los und verteilen sich **gleichmäßig** im Raum.



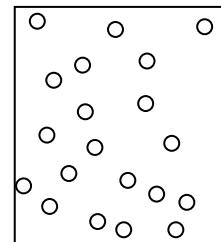
**fester Zustand**  
Die Teilchen vibrieren auf festen Plätzen im Kristallgitter



**flüssiger Zustand**  
Die Teilchen haften aneinander, sind aber im Tropfen frei beweglich (**Diffusion**)



**Verdampfen**  
Alle Teilchen reißen sich aus der Flüssigkeit los.



**gasförmiger Zustand**  
Die Teilchen sind im gesamten Raum frei beweglich (**Diffusion**)

## 2.0.4. Absolute und relative Temperatur

Zwei Körper besitzen die **gleiche Temperatur**, wenn sie längere Zeit in engem **Kontakt miteinander** waren. Die **Temperatur** messen wir als **Ausdehnung** einer bestimmten Flüssigkeit oder eines Gases, die sich in engem Kontakt mit der zu messenden Substanz befinden. Da sich verschiedene Thermometerflüssigkeiten wie z.B. **Alkohol** und **Quecksilber** sowie alle **Gase** bei gemeinsamer Erwärmung im **gleichen Verhältnis** ausdehnen, geht man von einem **proportionalen Zusammenhang zwischen Temperatur und Ausdehnung** aus. Aus diesem Grund benötigt man für die Eichung eines Thermometers nur **zwei Temperaturen**, z.B. die von Eiswasser und kochendem Wasser. Man beschriftet die beiden entsprechenden Stellen am Steigrohr mit  $0^\circ\text{C}$  bzw.  $100^\circ\text{C}$  und unterteilt den dazwischen liegenden Abschnitt einfach in **100 gleich große Teile**. So erhält man die **Celsius-Skala** der auf das Wasser bezogenen **relativen Temperatur 9**.

|  |
|--|
| $100^\circ\text{C} = 373,15\text{ K}$  |
| $0^\circ\text{C} = 273,15\text{ K}$    |
| $-100^\circ\text{C} = 173,15\text{ K}$ |
| $-200^\circ\text{C} = 73,15\text{ K}$  |
| $-273,15^\circ\text{C} = 0\text{ K}$   |

Verwendet man ein **Gasthermometer** mit geradem Steigrohr **ohne Vorratsblase**, so sieht man, dass sich die  $0^\circ\text{C}$ -Marke genau 273,15 Teile über dem Boden des Steigrohres befindet. Bei  $-273,15^\circ\text{C}$  hätte das Gas also kein **Volumen** mehr. Dieser Wert ist **unabhängig von der Art des verwendeten Gases** und wird daher als Nullpunkt der **absoluten Temperatur T** mit der Einheit **Kelvin K** festgelegt.

Erhöht man die Temperatur eines Stoffes durch Wärmezufuhr, so speichern die Teilchen die zugeführte **Wärme** in Form von **Bewegungsenergie**. Mit steigender Temperatur nimmt also die Eigenbewegung der Teilchen **zu** mit sinkender Temperatur nimmt sie **ab**. Auch im **festen Zustand** **vibrieren** die Teilchen noch im Kristallgitter. Am absoluten Temperaturnullpunkt  $-237,15^\circ\text{C} = 0\text{ K}$  enthält ein Stoff keine **Bewegungsenergie** mehr, denn sonst wäre es möglich, ihn durch Wärmeentzug noch weiter abzukühlen. Bei  $0\text{ K}$  findet also keinerlei Teilchen**bewegung** mehr statt und es kann also an keinem Ort des **Weltalls** kälter werden als  $-273,15^\circ\text{C}$ !

## 2.0.5. Die spezifische Wärmekapazität

- Um die Temperatur von 1 g Wasser um 1 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von 4,19 J zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 1 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von  $100 \cdot 4,19\text{ J} = 419\text{ J}$  zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 5 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von  $5 \cdot 100 \cdot 4,19\text{ J} = 2095\text{ J}$  zugeführt werden.

### Einige Wärmekapazitäten:

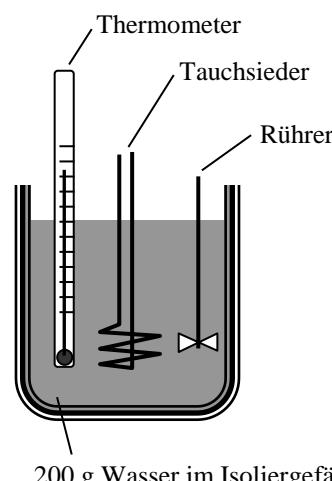
| Stoff  | c in J/g·K |
|--------|------------|
| Wasser | 4,19       |
| Luft   | 1,00       |
| Eisen  | 0,98       |
| Kalk   | 0,81       |
| Blei   | 0,12       |

Um die Temperatur von Wasser mit der Masse **m** um  $\Delta T$  zu erhöhen, muss eine Wärmemenge **Q** (**quantité chaleureuse**) =  $c \cdot m \cdot \Delta T$  zugeführt werden.  $c = 4,19\text{ J/g·K}$  ist die **spezifische** (d.h. auf 1 g bezogene) **Wärmekapazität** des Wassers.

## 2.0.6. Wärmemessung mit dem Kalorimeter

Die von einem System abgegebene oder aufgenommene Wärme bestimmt man mit **Kalorimeter**. Es besteht aus einer genau bestimmten Menge **Wasser mit Thermometer und Rührer in einem Isoliergefäß**.

Um die **Wärmekapazität C** des Kalorimeters zu bestimmen, misst man die **Zeit**  $\Delta t$ , die man benötigt, um mit einem elektrischen Tauchsieder bei der **Spannung U** und der Stromstärke **I** eine **Erwärmung** von  $\Delta T = 1\text{ K}$  zu bewirken. Die vom Tauchsieder an das Kalorimeter abgegebene Wärme ist gleich der **elektrische Arbeit Q = E<sub>el</sub> = U·I·Δt**. Die Wärmekapazität C des Kalorimeters berechnet sich dann zu  $C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{\Delta T}$ .



Um die z.B. bei der Verbrennung von 1 g Benzin abgegebene **Wärme**  $Q$  zu bestimmen, ersetzt man den Tauchsieder durch ein **Reagenzglas** mit 1 g Benzin, zündet es an und bestimmt den Temperaturanstieg  $\Delta T^\circ$ . Der Verbrennungswärme ist dann  $Q = C \cdot \Delta T^\circ$ .

## 2.0.7. Das Volumen idealer Gase

- Das Volumen eines Gases wird durch den **Raum** bestimmt, den die Teilchen für ihre freie Bewegung benötigen. Die Art der Teilchen hat keinen **Einfluss** auf das Volumen. (**Satz von Avogadro**)
- Das Volumen eines beliebigen Gases ist **proportional** zur Teilchenzahl  $n$  und zur absoluten Temperatur  $T$ . Es ist **antiproportional** zum Druck  $p$ .
- 1 Mol eines beliebigen Gases hat bei  $p = 1013 \text{ hPa}$  und  $T = 273,15 \text{ K}$  ein Volumen von  $V = 22,4 \text{ Litern}$ . (**Molvolumen unter Normalbedingungen**)

je größer, desto größer ⇒ **proportional**



| Teilchenzahl $n$<br>in Mol | Temperatur $T$<br>in Kelvin | Druck $p$<br>in hPa | Volumen $V$<br>in Litern |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1                          | 273,15                      | 1013                | 22,4                     |
| 2                          | 273,15                      | 1013                | 44,8                     |
| 1                          | 546,30                      | 1013                | 44,8                     |
| 1                          | 273,15                      | 2026                | 11,2                     |
| 2                          | 273,15                      | 2026                | 22,4                     |
| 2                          | 136,57                      | 2026                | 11,2                     |



je größer, desto kleiner ⇒ **antiproportional**

Das **ideale Gasgesetz**:  $p = R \cdot \frac{1}{p} \cdot n \cdot T \Leftrightarrow p \cdot V = n \cdot R \cdot T$  mit der **Gaskonstante**  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

## 2.0.8. Energieformen

