

2. Thermodynamik

Die **Thermodynamik** oder übersetzt Lehre von den **Wärmebewegungen** beschäftigt 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

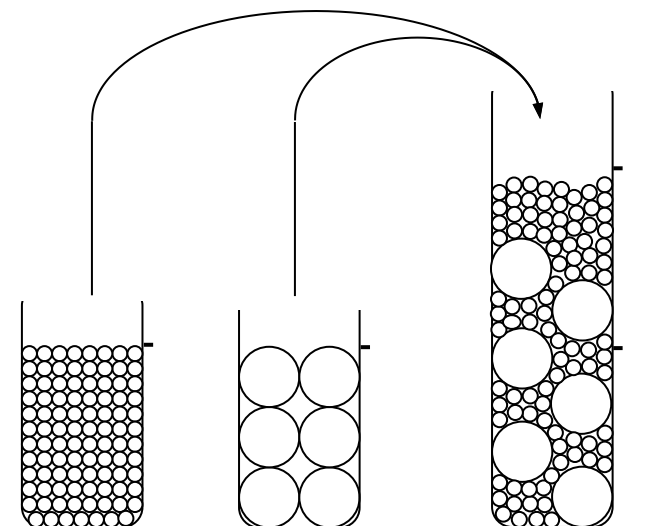
Man vermischt 20 ml destilliertes Wasser und 20 ml wasserfreien Alkohol in einem Messzylinder.

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**: = 602·200 000 000 000 000 000 = 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 ¹²C-Atome hat die Masse _____

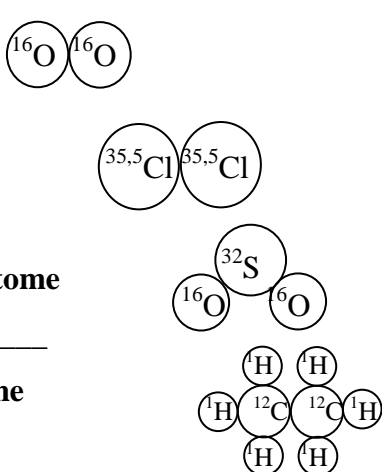
Phosphor: 1 Mol ³¹P-Atome hat die Masse _____

Sauerstoff: Ein O₂-Molekül enthält ___ ¹⁶O-Atome
 ⇒ 1 Mol ¹⁶O₂-Moleküle hat die Masse _____ = _____

Chlor: Ein Cl₂-Molekül enthält ___ ^{35,5}Cl-Atome
 ⇒ 1 Mol ^{35,5}Cl₂-Moleküle hat die Masse _____ = _____

Schwefeldioxid: Ein SO₂-Molekül enthält ___ ³²S-Atom und ___ ¹⁶O-Atome
 ⇒ 1 Mol SO₂ hat die Masse _____ = _____

Ethan: Ein C₂H₆-Molekül enthält ___ ¹²C-Atome und ___ ¹H-Atome
 ⇒ 1 Mol C₂H₆ hat die Masse _____ = _____

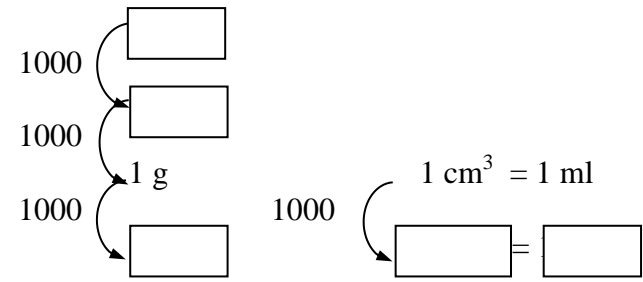


Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 1 - 4

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:



Beispiele:

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

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

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

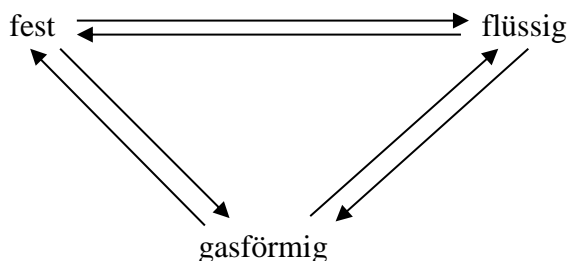
Einige Dichten

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

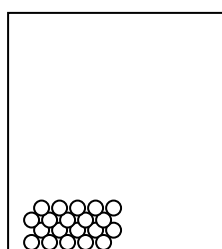
Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 5

2.0.3. Aggregatzustände

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

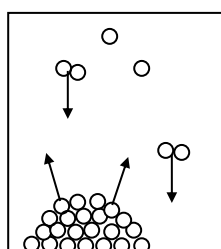


Aggregatzustände und kleinste Teilchen



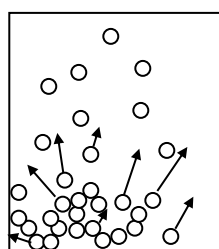
fester Zustand

Die Teilchen vibrieren auf festen Positionen im Kristallgitter



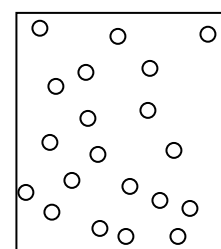
flüssiger Zustand

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**)

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
CO₂	-78	(subl)
Sauerstoff	-219	-183
Stickstoff	-210	-196

Fester Zustand

Im festen Zustand werden die Teilchen durch **elektrische** _____ in einem festen _____ zusammen gehalten. Wird ein Kristall erwärmt, so speichert es die zugeführte _____ 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 Schwebe 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.

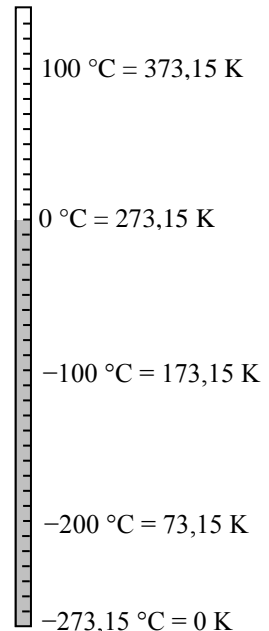
Verdampfen und gasförmiger Zustand

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 Eiswasser und kochendem Wasser. Man beschriftet die beiden entsprechenden Stellen am Steigrohr mit 0°C bzw. 100°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 ϑ** .



Verwendet man ein **Gasthermometer** mit geradem Steigrohr **ohne Vorratsblase**, so sieht man, dass sich die 0°C -Marke genau 273,15 Teile über dem Boden des Steigrohres 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 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 ΔT 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**.

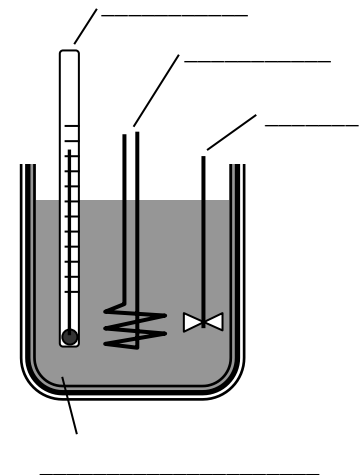
Um die _____ C des Kalorimeters zu bestimmen, misst man die Zeit Δt , die man benötigt, um mit einem elektrische Tauchsieder bei der _____ U und der Stromstärke ____ eine _____ von $\Delta T = 1 \text{ K}$ zu bewirken. Die vom Tauchsieder an das Kalorimeter abgegebene Wärme ist gleich der **elektrische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

Um die z.B. bei der Verbrennung von 1 g Benzin abgebenen _____ 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 $Q = \quad$.

Übungen: Aufgaben zu Grundlagen Nr. 9

2.0.7. Ideale Gase

1. 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 $V = \underline{\hspace{2cm}}$ Litern.
(Molvolumen unter Normalbedingungen)

je größer, desto größer \Rightarrow _____

Teilchenzahl n in Mol	Temperatur T in Kelvin	Druck p in hPa	Volumen V in Litern
1	273,15	1013	22,4
2	273,15	1013	
1	546,30	1013	
1	273,15	2026	
2	273,15	2026	
2	136,57	2026	

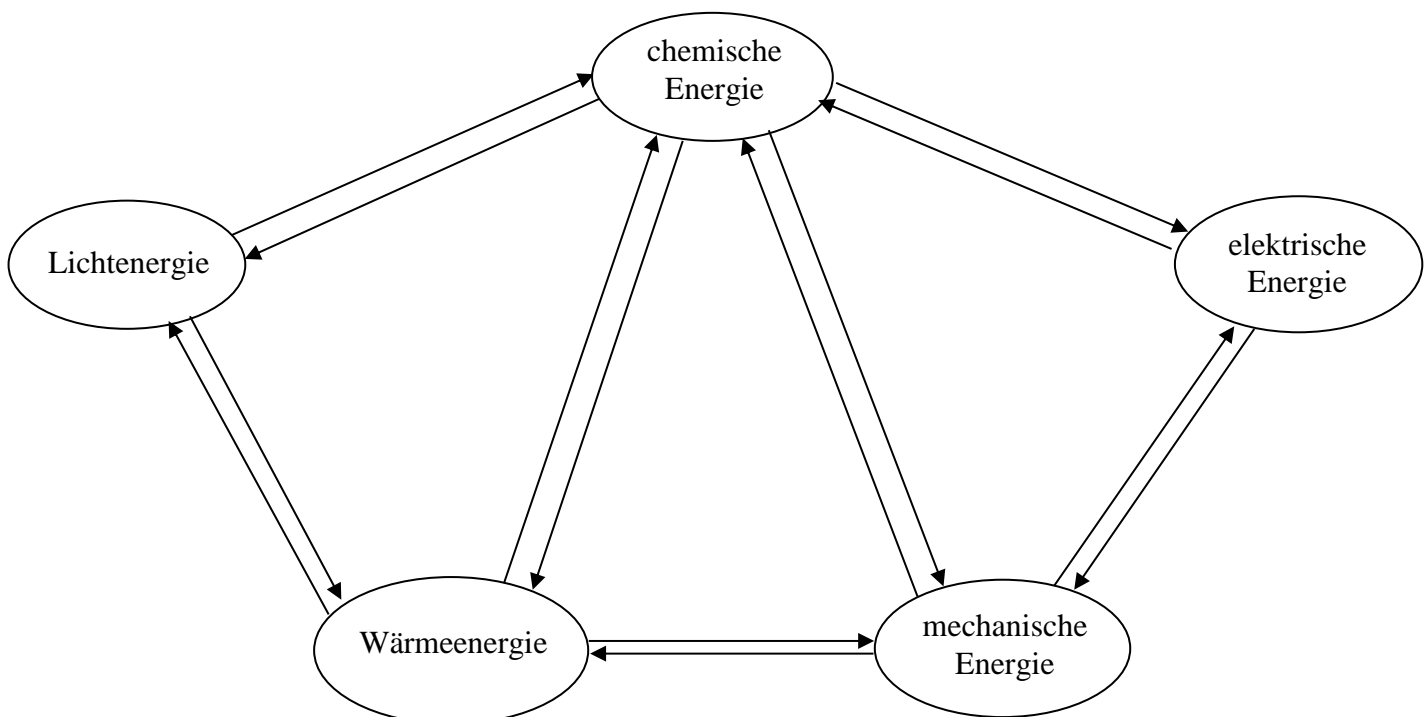
je größer, desto kleiner \Rightarrow _____

Das **ideale Gasgesetz**: $p = R \cdot \underline{\hspace{2cm}} \Leftrightarrow p \cdot V = \underline{\hspace{2cm}}$ 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

Beschrifte 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:

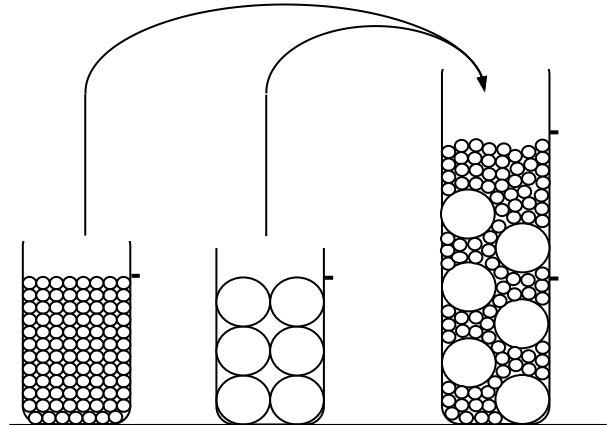
Man vermischt 20 ml destilliertes Wasser und 20 ml wasserfreien Alkohol in einem Messzylinder.

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 **Brownschen 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** = 602·200 000 000 000 000 000 = 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}C -**Atome** hat die Masse 12 g

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

Sauerstoff: Ein O_2 -**Molekül** enthält 2 ^{16}O -**Atome** \Rightarrow 1 Mol $^{16}\text{O}_2$ -**Moleküle** hat die Masse $2 \cdot 16 \text{ g} = 32 \text{ g}$

Chlor: Ein Cl_2 -**Molekül** enthält 2 $^{35,5}\text{Cl}$ -**Atome** \Rightarrow 1 Mol $^{35,5}\text{Cl}_2$ -**Moleküle** hat die Masse $2 \cdot 35,5 \text{ g} = 71 \text{ g}$

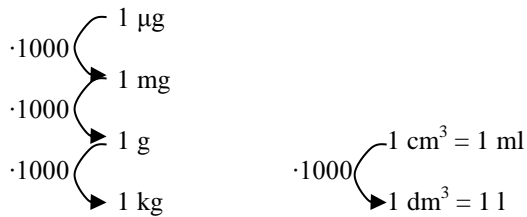
Schwefeldioxid: Ein SO_2 -**Molekül** enthält 1 ^{32}S -**Atom** und 2 ^{16}O -**Atome** \Rightarrow 1 Mol SO_2 hat die Masse $(1 \cdot 32 + 2 \cdot 16) \text{ g} = 64 \text{ g}$

Ethan: Ein C_2H_6 -**Molekül** enthält 2 ^{12}C -**Atome** und 6 ^1H -**Atome** \Rightarrow 1 Mol C_2H_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:



Beispiele:

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

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

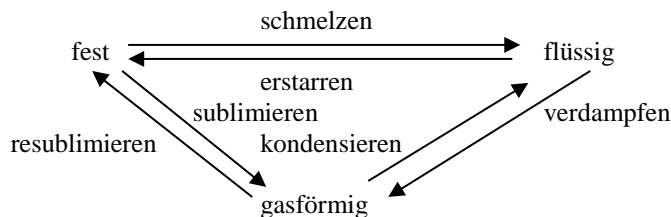
$$\text{Ethanol: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{40 \text{ g}}{50 \text{ ml}} = \frac{0,8 \text{ g}}{1 \text{ ml}} = 0,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

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

2.0.3. Aggregatzustände

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



Einige Schmelz- und Siedepunkte:

Stoff	Fp/°C	Sp/°C
Eisen	1535	2750
Kochsalz	800	1460
Wachs	~ 40	~300
Wasser	0	100
Ethanol	-117	78
CO₂	-78	(subl)
Sauerstoff	-219	-183
Stickstoff	-210	-196

Aggregatzustände und kleinste Teilchen

Fester Zustand

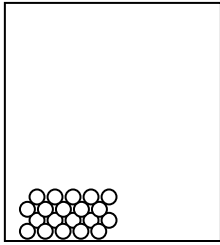
Im festen Zustand werden die Teilchen durch **elektrische Anziehungskräfte** in einem festen **Kristallgitter** zusammengehalten. Wird ein Kristall erwärmt, so speichert es die zugeführte **Wärme** in Form von **Bewegungsenergie**. Die Teilchen **vibrieren** mit zunehmender Temperatur immer stärker um 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 Schwebe 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.

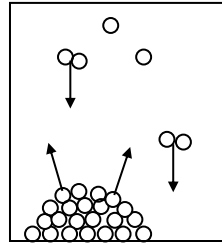
Verdampfen und gasförmiger Zustand

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



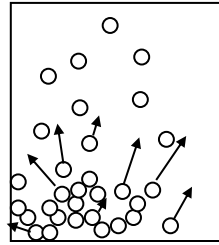
fester Zustand

Die Teilchen vibrieren auf festen Plätzen im Kristallgitter



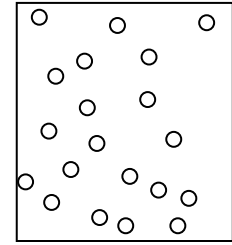
flüssiger Zustand

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



Verdampfen

Alle Teilchen reißen sich aus der Flüssigkeit los.

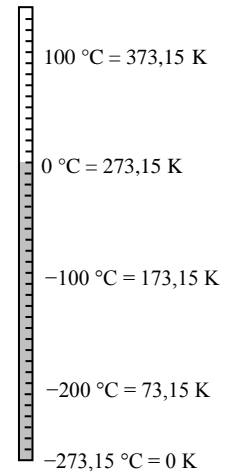


gasförmiger Zustand

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°C bzw. 100 °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 ϑ** .



Verwendet man ein **Gasthermometer** mit geradem Steigrohr **ohne Vorratsblase**, so sieht man, dass sich die 0°C-Marke genau 273,15 Teile über dem Boden des Steigrohres befindet. Bei -273,15 °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 -273,15 °C = 0 K enthält ein Stoff keine **Bewegungsenergie** mehr, denn sonst wäre es möglich, ihn durch Wärmeentzug noch weiter abzukühlen. Bei 0 K findet also keinerlei Teilchen**bewegung** mehr statt und es kann also an keinem Ort des **Weltalls** kälter werden als -273,15°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 **100·4,19 J = 419 J** zugeführt werden.
- Um die Temperatur von 100 g Wasser um 5 K zu erhöhen, muss eine Wärmemenge von **5·100·4,19 J = 2095 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

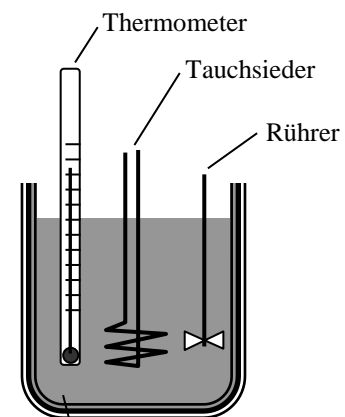
Um die Temperatur von Wasser mit der Masse **m** um ΔT zu erhöhen, muss eine Wärmemenge **Q (quantité calorifique) = c·m· ΔT** zugeführt werden. c = 4,19 J/g·K ist die **spezifische** (d.h. auf 1 g bezogene) **Wärmekapazität** des Wassers.

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 Δt** , die man benötigt, um mit einem elektrische Tauchsieder bei der **Spannung U** und der Stromstärke **I** eine **Erwärmung** von $\Delta T = 1$ K zu bewirken. Die vom Tauchsieder an das Kalorimeter abgegebene Wärme ist gleich der **elektrische Arbeit** $Q = E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$. Die Wärmekapazität C des

Kalorimeters berechnet sich dann zu $C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{\Delta T}$.



200 g Wasser im Isoliergefäß

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 ΔT . Der Verbrennungswärme ist dann $Q = C \cdot \Delta T$.

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 $V = \underline{22,4}$ Litern. (**Molvolumen unter Normalbedingungen**)

je größer, desto größer \Rightarrow **proportional**

Teilchenzahl n in Mol	Temperatur T in Kelvin	Druck p in hPa	Volumen V 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 \Rightarrow **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

