

Wärmelehre

Temperatur

Die Temperatur kennen Sie schon sehr lange. Im Sommer ist es wärmer als im Winter, dies bedeutet die Temperatur ist im Sommer als im Winter. Haben Sie ist Ihre Körpertemperatur um ein paar höher als normal.

Um die Temperatur eines Stoffs zu messen benutzt man ein Zum Messen bringt man das Thermometer und den Stoff dessen man messen möchte in thermischen Die Temperatur des Thermometers ändert sich dadurch so lange, bis die des Stoffs erreicht ist. Nun kann man die Temperatur am Thermometer ablesen.

Es gibt verschiedene Temperaturskalen, Sie kennen, und Diese unterscheiden sich durch unterschiedliche Temperaturfixpunkte. Um eine Temperaturskala zu definieren, braucht man zwei Bei der Celsius Skala benutzt man den und den von Wasser als Fixpunkte und setzt diese auf 0°C und 100°C .

Eine modernere Temperaturskala ist die Diese orientiert sich am absoluten der Temperatur. Durch diese sind nur positive Temperaturen möglich. Die Kelvinskala hat die selbe Schrittweite wie die 0 K entspricht einer von $-273,15^{\circ}\text{C}$.

Atomtheorie der Materie

Materie, egal in welchem Aggregatzustand, besteht aus, die sich unterschiedlich binden.

In Gasen formen Atome oft Diese Gasteilchen können sich bewegen.

Bei Körpern, ordnen sich die Atome in einem Kristallgitter an. Jedes Atom hat einen festen Platz mit festen benachbarten, den es nicht verlassen kann.

In sind Atome oder Moleküle so dicht beieinander, dass die einzelnen Flüssigkeitsteilchen untereinander eingehen. Werden diese Bindungen gebrochen, können die Flüssigkeitsteilchen ihre verändern und an einer anderen Stelle neue formen.

Innere Energie

Fügt man einem Gas zu, z.B. durch Wärme, so erhöht sich die Geschwindigkeit mit der sich die Gasteilchen bewegen. Es gilt das Gesetz der kinetischen Energie aus der Mechanik:

Wird einer Energie zugeführt, dann werden die Bindungen zwischen den einzelnen Flüssigkeitsteilchen Positionswechsel zwischen den Flüssigkeitsteilchen sind nun und kommen daher vor. Eine zähflüssige Flüssigkeit fließt nun

Auch in Körpern schwächen sich die Bindungen zwischen den Atomen ab. Diese werden aber nie so schwach, dass die Atome ihre wechseln können. Die Länge der Bindungen wird aber Damit wird die des Körpers kleiner.

Durch Zufuhr von Energie werden die Teilchen in einem Medium Die innere Energie U des Materials sich.

Das ideale Gas

Das ideale Gas ist ein Modellsystem das eingeführt wird, um das Verhalten von Gasen zu erklären. Viele reale Gase verhalten sich bei niedrigen Drücken wie das ideale Gas. Eigenschaften des idealen Gases sind:

- Das ideale Gas besteht aus punktförmigen "Atomen" ohne Volumen.
- Die "Atome" des idealen Gases wechselwirken nicht miteinander. Das heisst es gibt weder Anziehung noch Abstossung zwischen den "Atomen".
- Die "Atome" sind ständig in Bewegung. Wenn sie mit der begrenzenden Gefässwand kollidieren, geschieht dies ohne Energieverlust.

Im folgenden wollen wir die Eigenschaften des idealen Gases untersuchen.

Zusammenhang von Druck und Temperatur beim idealen Gas

In einem Experiment wird ein verdünntes Gas in einem Glaskolben erwärmt. Für einige festgelegte Temperaturen wird der Druck des Gases gemessen. In einem zweiten Durchgang des Experiments wird die Gasmenge leicht erhöht. Das Volumen und die Gasmenge sind während des gesamten Experiments konstant. In der nachfolgenden Tabelle sind Temperatur und Druck für die zwei Durchgänge des Experiments angegeben.

Temperatur	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
Durchgang 1	100,2 hPa	106,6 hPa	114,7 hPa	122,3 hPa	130,0 hPa	136,3 hPa
Durchgang 2	149,9 hPa	161,0 hPa	172,5 hPa	182,4 hPa	194,0 hPa	205,5 hPa

AUFGABE 1:

- Zeichnen Sie die Messwerte aus der Tabelle in ein Tp -Diagramm ein.
- Beschreiben Sie wie sich der Druck in Abhängigkeit zur Temperatur verändert.
- Was passiert, wenn Sie die Messwerte des Diagramms auf den Druck von 0 hPa extrapolieren?

Gesetz von Boyle-Mariotte

Im folgenden wollen wir untersuchen wie Druck und Volumen eines Gases miteinander zusammenhängen. Dabei soll die Gasmenge, also die Anzahl von Gasatomen (Gasmolekülen) konstant sein. Ausserdem wollen wir die Temperatur konstant halten.

Der Druck idealer Gase bei gleichbleibender Temperatur (isotherme Zustandsänderung) und gleichbleibender Stoffmenge verhält sich umgekehrt proportional zum Volumen. Erhöht man den Druck auf ein Gas, wird durch den erhöhten Druck das Volumen verkleinert. Verringert man den Druck, so dehnt es sich aus. Dieses Gesetz wurde unabhängig von zwei Physikern entdeckt, dem Iren Robert Boyle (1662) und dem Franzosen Edme Mariotte (1676).

Es gilt

$$p \cdot V = \text{konstant} \quad \text{oder} \quad p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2.$$

AUFGABE 2: Ein Gas bei Normaldruck (1013 hPa) füllt ein Volumen von $1,5 \text{ m}^3$. Wie hoch ist der Druck, nachdem das Volumen auf 1 m^3 reduziert wurde?

Durch die letzten zwei Experimente haben wir zwei Eigenschaften des idealen Gases kennengelernt. Im ersten Teil haben wir gesehen, dass das Verhältnis von Druck und Temperatur konstant ist ($p/T = \text{konst.}$). Das Gesetz von Boyle-Mariotte besagt, dass das Produkt von Druck und Volumen konstant ist ($p \cdot V = \text{konst.}$).

Diese zwei Zusammenhänge lassen sich durch einen ersetzen.

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant}$$

AUFGABE 3: Das Volumen eines Gases von 5l und einem Druck von 1013 hPa wird durch Kompression halbiert. Gleichzeitig wird das Gas von 15°C auf 95°C erwärmt. Wie hoch ist der Enddruck?

AUFGABE 4: Der Gasdruck in einem Gasthermometer mit konstantem Volumen betrage 0,4 bar am Gefrierpunkt und 0,546 bar am Siedepunkt des Wassers.

- Bei welcher Temperatur beträgt der Druck 0,1 bar?
- Wie hoch ist der Druck bei der Temperatur bei der Schwefel siedet? ($\vartheta = 444,6^\circ\text{C}$)

Gasdruck und Gasmasse

In einem Experiment wird das Gewicht von 1L Neon bei 0°C und 1013hPa bestimmt. Dann pumpt man Neonatome aus dem Gefäß und misst Druck und Gewicht. Die folgende Tabelle zeigt die Messwerte des Experiments.

Druck (hPa)	1013	750	500	250
Gewicht (g)	0,9	0,67	0,44	0,22

AUFGABE 5:

- Zeichnen Sie die Messwerte aus der Tabelle in ein $m - p$ -Diagramm ein.
- Wie ändert sich die Masse mit dem Druck?

Das Gewicht des Gases ist proportional zur Anzahl der Atome in dem Gas.

Die Menge eines Gases, das aus N Atomen oder Molekülen besteht, kann durch seine Masse m oder durch seine Stoffmenge n beschrieben werden. Es gilt:

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M},$$

dabei ist $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ Teilchen/mol die Avogadro'sche Zahl und M die molare Masse.

AUFGABE 6: Die molare Masse von Sauerstoff O_2 beträgt ca. 32 g/mol. Wie viele Mol Sauerstoff sind dann in einem Kilogramm?

Gasmasse und Gassorte

In einem Experiment wird das Gewicht von verschiedenen Gasen bei konstantem Volumen von 1l, konstantem Druck von 1bar und konstanter Temperatur von 22°C gemessen.

Vervollständigen Sie die Tabelle.

Gassorte	Masse m (g)	Molare Masse M (g/mol)	Stoffmenge n (mol)
H ₂	0,082		
He	0,163		
N ₂	1,143		
CO ₂	1,795		
SF ₆	5,958		

Zustandsgleichung des idealen Gases

Nun werden wir die drei Gasgesetze zu einem Zusammenfassen.

Wir haben gesehen, dass für ein ideales Gas die Beziehung

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant}$$

gilt.

Ausserdem ist für ein ideales Gas Druck p und Masse m verknüpft:

$$\frac{p}{m} = \text{konstant.}$$

Im letzten Abschnitt haben wir gesehen, dass

$$\frac{m}{M} = \text{konstant}$$

ist.

Daraus können wir

$$\frac{p \cdot V \cdot M}{T \cdot m} = \text{konstant} = R$$

schreiben. Das gibt die Zustandsgleichung des idealen Gases

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T.$$

Die Formel enthält nun alle Zustandsgrößen eines Gases. Die Konstante nennen wir R . Sie heisst auch Gaskonstante und hat den Wert $R = 8,314 \text{ J/molK}$. Die Gaskonstante R ist das Produkt aus Boltzmann-Konstante k_B und Avogadro-Zahl N_A .

Alternativ kann man die Zustandsgleichung des idealen Gases auch mit der Boltzmann-Konstanten k_B schreiben. Es gilt:

$$p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T.$$

Die Boltzmann-Konstante hat einen Wert von $k_B = 1,3806504 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

AUFGABE 7: Welches Volumen nimmt 1 mol eines Gases bei 0°C und 1 bar ein?

AUFGABE 8: 1 mol eines Gases nimmt ein Volumen von 10 l bei einem Druck von 1 bar ein. Wie hoch ist seine Temperatur in Kelvin?

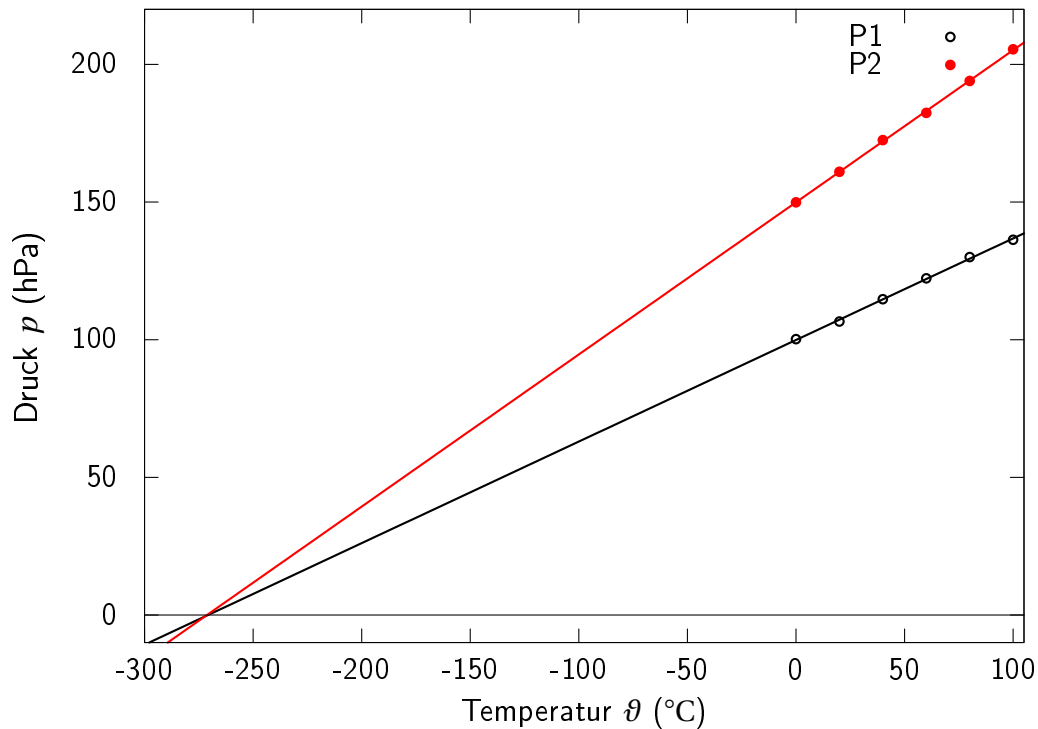
AUFGABE 9: Eine bestimmte Gasmenge werde bei konstantem Druck gehalten. Um welchen Faktor ändert sich ihr Volumen, wenn die Temperatur von 50°C auf 100°C erhöht wird.

AUFGABE 10: Wie viele Mol Neon sind in einem Volumen von 1 cm^3 bei einer Temperatur von 0°C und 1 bar? Wie viele Atome Neon sind das?

Musterlösungen

LÖSUNG 1:

a) Hier das p - T -Diagramm.



b) Druck und Temperatur sind proportional.

c) Beim Druck von 0 Pa sollten sich beide Kurven schneiden. Der Schnittpunkt ist bei Kurven ist im Idealfall bei $\vartheta = -273,15$ °C. Das ist der absolute Nullpunkt der Temperatur. Dieser bekommt den Wert Null (0 K). Null Kelvin.

LÖSUNG 2:

$$p \cdot V = \text{konstant} \rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \rightarrow p_2 = \frac{V_1}{V_2} \cdot p_1 = \frac{1,5 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \cdot 101\,300 \text{ Pa} = 151\,950 \text{ Pa}$$

LÖSUNG 3:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant} \rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow p_2 = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot p_1 = 2 \cdot \frac{368 \text{ K}}{288 \text{ K}} \cdot 101\,300 \text{ Pa} = 258\,880 \text{ Pa}$$

LÖSUNG 4:

a)

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant} \rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} \cdot T_1 = \frac{1}{4} \cdot 1 \cdot 273 \text{ K} = 68,25 \text{ K}$$

b)

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant} \rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow p_2 = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot p_1 = 1 \cdot \frac{717,75 \text{ K}}{273,15 \text{ K}} \cdot 400 \text{ hPa} = 1051,1 \text{ hPa}$$

LÖSUNG 5: Masse und Druck des Gases sind bei konstantem Volumen proportional.

LÖSUNG 6:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1000 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 31,25 \text{ mol}$$

LÖSUNG 7:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J/molK} \cdot 273 \text{ K}}{100000 \text{ Pa}} = 0,022697 \text{ m}^3 = 22,71$$

LÖSUNG 8:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R} = \frac{100000 \text{ Pa} \cdot 0,01 \text{ m}^3}{1 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J/molK}} = \frac{1000 \text{ Pa m}^3}{8,314 \text{ J/K}} = 120,28 \text{ K}$$

LÖSUNG 9:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant} \rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = 1 \cdot \frac{373 \text{ K}}{323 \text{ K}} = 1,15$$

LÖSUNG 10:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J/molK} \cdot 273 \text{ K}} = \frac{1 \cdot 10^{-1} \text{ Pa m}^3}{2269,7 \text{ J/mol}} = 4,4058 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$n = \frac{N}{N_A} \rightarrow N = n \cdot N_A = 4,4058 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol} = 2,6523 \cdot 10^{19}$$