

## Acht Fragen zur Wärmelehre \* Zusammenfassung für die Klasse 10a (ns)

1. Wie kommt man auf die absolute Temperatur  $T$ , was versteht man unter dem absoluten Nullpunkt?  
Wie rechnet man von der Celsius-Temperatur  $\vartheta$  in die Kelvin-Temperatur-Skala um?
2. Geben Sie die Zustandsgleichung idealer Gase an.  
Was beschreibt diese Zustandsgleichung?
3. Zum Erwärmen eines Körpers benötigt man Arbeit bzw. Energie. Wovon hängt diese Arbeit ab?  
Was versteht man unter der spezifischen Wärmekapazität  $c$  eines bestimmten Materials?  
In welcher Einheit gibt man diese Größe an. Wie lautet der Wert von  $c$  für Wasser?
4. Was versteht man unter der inneren Energie eines Körpers?  
Was hat die innere Energie mit dem Energieerhaltungssatz zu tun?  
Wie nimmt die innere Energie eines Körpers bei Temperaturerhöhung zu?
5. Was versteht man unter dem Begriff Wärme  $Q$  bzw. Wärmearbeit  $Q$ ?  
Bei welchen Vorgängen spielt diese Wärmearbeit eine wichtige Rolle?  
Was versteht man unter dem Begriff der Wärmeleistung  $P$ ?  
Welche "Geräte" mit einer Wärmeleistung benutzt man im Alltag? Geben Sie typische Werte für die zugehörigen Wärmeleistungen an.
6. Was versteht man unter der Brownschen Bewegung kleiner Teilchen? Wie kommt diese Bewegung zu Stande? Was hat sie mit der inneren Energie zu tun?
7. Wann spricht man von einer Änderung des Aggregatzustandes?  
Was kann man über die Temperatur bei Änderung des Aggregatzustandes aussagen?  
Was versteht man unter der Schmelz- bzw. Verdampfungsenergie?  
Wann spricht man von Verdunstungskälte? In welchen Situationen ist diese Verdunstungskälte für einen Menschen angenehm bzw. unangenehm?
8. Nennen Sie Maschinen, mit denen man innere Energie in technisch nutzbare mechanische Energie umwandeln kann.  
Warum bezeichnet man innere Energie oft auch als entwertete Energie?

### Drei kleine Aufgaben:

- a) Ein Luftballon enthält 1,2 Liter Luft des Drucks 1800 hPa bei einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$ . In der Sonne erhitzt sich diese Luft auf  $55^\circ\text{C}$ ; hierbei nimmt das Volumen um 3,5 % zu. Wie ändert sich der Druck im Ballon?
- b) Durch einen "aufgedrehten" Heizkörper strömen pro Minute 20 Liter Wasser, das sich dabei um  $3,5^\circ\text{C}$  abkühlt. Welche Wärmearbeit gibt der Heizkörper in 30 Minuten ab? Welche Wärmeleistung hat dieser Heizkörper?
- c) In einen Topf mit 1,0kg Wasser der Temperatur  $70^\circ\text{C}$  werden 500g Schnee der Temperatur  $0^\circ\text{C}$  gegeben. Welche Temperatur stellt sich nach dem Schmelzen des Schnees ein? Welche vereinfachenden Annahmen liegen Ihrer Rechnung zu Grunde?

Angaben:  $c_{\text{Wasser}} = 4,19 \frac{\text{J}}{\text{g K}}$  ; spez. Schmelzenergie von Eis:  $335 \frac{\text{J}}{\text{g}}$

## Antworten

1. Abgeschlossene Gasmengen dehnen sich bei Temperaturerhöhung unabhängig von der Gassorte in gleicher Weise aus: Bei Temperaturerniedrigung verkleinern sie ihr Volumen und zwar so, dass bei  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  jede Gasmenge gerade das Volumen 0 hat.  
Wählt man  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  als Nullpunkt der so genannten absoluten Temperatur  $T$ , so gilt für eine abgeschlossene Gasmenge (bei konstantem Druck  $p$ ):  $V$  ist proportional zu  $T$ , also  $\frac{V}{T} = \text{konst.}$   
Umrechnungen:  $T = (273 + \frac{\vartheta}{^{\circ}\text{C}})\text{K}$  bzw.  $\vartheta = (\frac{T}{\text{K}} - 273)\text{ }^{\circ}\text{C}$
2.  $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$  für eine abgeschlossene Gasmenge gilt  $\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant}$ ,  
wobei  $p$  der Druck,  $V$  das Volumen und  $T$  die absolute Temperatur dieser Gasmenge ist.
3. Die Arbeit  $W$  ist proportional zur Masse  $m$  und der Temperaturerhöhung  $\Delta\vartheta$  des Körpers.  
 $W = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$  wobei  $c$  eine Materialkonstante, die so genannte spez. Wärmekapazität ist.  
 $[c] = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}} = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$  (Hinweis:  $\Delta\vartheta$  kann man in  $^{\circ}\text{C}$  oder in  $\text{K}$  angeben!)  $c_{\text{Wasser}} = 4,19 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$
4. Verrichtet man Reibarbeit (Verformungsarbeit) an einem Körper, so nimmt dessen Temperatur zu. Die mechanische Reibarbeit scheint verschwunden! Nimmt man an, dass diese Reibarbeit zur Erhöhung der "inneren Energie" des Körpers diene (erkennbar an der Temperaturerhöhung), so gilt ein erweiterter Energieerhaltungssatz.  $W_{\text{Reib}} = \Delta E_i = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$
5. Bringt man zwei Körper unterschiedlicher Temperatur in Kontakt, so gleicht sich deren Temperatur an. Der heißere Körper gibt so viel seiner inneren Energie an den kälteren Körper ab, bis die Temperaturen gleich sind. Es gilt dabei  $\Delta E_{i, \text{ab}} = \Delta E_{i, \text{auf}}$ .  
Diese übertragene nichtmechanische Arbeit nennt man Wärmearbeit  $Q$  oder kurz Wärme  $Q$ .  
Mit dem Ansatz  $Q_{\text{ab}} = Q_{\text{auf}}$  kann man z.B. Mischungstemperaturen berechnen.  
Die Wärmeleistung  $P = \frac{Q}{t}$  gibt die abgegebene Wärmearbeit  $Q$  pro Zeiteinheit  $t$  an.  
Tauchsieder, Herdplatte, Heizkörper besitzen typische Wärmeleistungen im Bereich von  $500\text{W}$  bis hin zu einigen Kilowatt.
6. Rauchteilchen führen eine unregelmäßige Zitterbewegung in Luft aus. Diese Zitterbewegung wird durch die ungeordnete Bewegung der Moleküle der Luft bewirkt. Bei Temperaturerhöhung nimmt diese Brownsche Bewegung zu. Folgerung:  
Die innere Energie entspricht der kinetischen Energie der Atome bzw. Moleküle. Je heißer ein Körper, desto höher ist die mittlere kinetische Energie der Atome bzw. Moleküle.
7. Geht ein Körper vom festen in den flüssigen bzw. vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über, so spricht man von einer Änderung des Aggregatzustandes. Bei dieser Änderung bleibt die Temperatur konstant, obwohl Energie benötigt wird (Schmelzenergie bzw. Verdampfungsenergie). Beim Übergang von gasförmig in flüssig, bzw. von flüssig in fest wird die entsprechende Energie wieder frei. Beim Verdunsten einer Flüssigkeit wird die benötigte Verdampfungsenergie beteiligten Körpern entzogen, die den Verlust dieser Energie als Verdunstungskälte "spüren". Beispiele: Schwitzender Körper kühlt ab. Beim Baden friert man leicht, wenn man aus dem Wasser steigt.
8. Kolbendampfmaschine, Dampfturbinen, Verbrennungsmotoren (Ottomotor, Dieselmotor).  
Innere Energie kann man (ohne zusätzlichen Aufwand) nicht vollständig in mechanische Energie zurückverwandeln, deshalb der Begriff entwertete Energie.

## Lösungen zu den drei Aufgaben

$$\text{a) } \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} = \frac{1800 \text{ hPa} \cdot V_1 \cdot (273+55) \text{ K}}{(273+20) \text{ K} \cdot 1,035 V_1} = 1947 \text{ hPa}$$

Der Druck nimmt um  $147 \text{ hPa} \approx 1,5 \cdot 10^2 \text{ hPa}$  zu.

b) Pro Minute:

20 Liter Wasser entsprechen 20 kg Wasser

$$\text{abgegebene Wärmearbeit: } Q_{\text{ab}} = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta = 4,19 \frac{\text{J}}{\text{g K}} \cdot 20 \text{ kg} \cdot 3,5 \text{ K} = 293 \text{ kJ}$$

in 30 min also  $Q = 30 \cdot 293 \text{ kJ} = 8,8 \text{ kJ}$

$$\text{Wärmeleistung } P = \frac{293 \text{ kJ}}{60 \text{ s}} = 4,9 \text{ kW}$$

c) Zum Schmelzen der 500g Schnee wird die Wärmearbeit  $Q_E = 335 \frac{\text{J}}{\text{g}} \cdot 500 \text{ g} = 168 \text{ kJ}$  benötigt.

Dazu müssen sich die 1000g Wasser von  $70^\circ \text{ C}$  um  $\Delta\vartheta_1$  abkühlen.

$$Q_E = c_1 \cdot m_1 \cdot \Delta\vartheta_1 \Rightarrow \Delta\vartheta_1 = \frac{Q_E}{c_1 \cdot m_1} = \frac{168 \text{ kJ}}{4,19 \frac{\text{J}}{\text{g K}} \cdot 1000 \text{ g}} = 40 \text{ K}$$

Das Wasser kühlt sich also beim Schmelzen des Eises um  $40^\circ \text{ C}$  ab und hat dann noch  $30^\circ \text{ C}$ .

Nun liegen 500g Eiswasser der Temperatur  $0^\circ \text{ C}$  und 1000g Wasser der Temperatur  $30^\circ \text{ C}$  vor und mischen sich zu 1500g mit der Mischtemperatur  $\vartheta_m$ .

$$c_1 \cdot 1000 \text{ g} \cdot (30^\circ \text{ C} - \vartheta_m) = c_1 \cdot 500 \text{ g} \cdot (\vartheta_m - 0^\circ \text{ C}) \Rightarrow \\ 60^\circ \text{ C} - 2\vartheta_m = \vartheta_m \Rightarrow \vartheta_m = 20^\circ \text{ C}$$

Vereinfachende Annahme: Kein Wärmeaustausch mit der Umgebung! Insbesondere kein Wärmeaustausch mit dem Topf.