

## B) Wärme

Um die Temperatur eines thermodynamischen Systems zu erhöhen oder zu erniedrigen, muss man ihm eine Wärmemenge  $Q$  zuführen oder entziehen.

Alte Einheit:  $1 \text{ Kalorie} = 1 \text{ cal}$

Diese ist definiert als:

Ein cal ist die Wärmemenge, die man 1g Wasser unter Normaldruck zuführen muss, um es von  $14,5^\circ\text{C}$  auf  $15,5^\circ\text{C}$  zu erwärmen.

Begriff der Wärme war früher problematisch (Versuch von Steudner) (Wärmesubstanz „Kalorie“). Mit Betrachtung über ideales Gas wissen wir:

bei Erhöhung von  $T$  wird die Energie des Gases erhöht

$\Rightarrow$  Wärmemenge  $\Leftrightarrow$  Energie

und zwar

$$1 \text{ cal} = 4,185 \text{ J}$$

$$[Q] = \text{J}$$

### Spezifische Wärme:

Führt man einem System Wärme zu, so erhöht sich seine Temperatur

$$\Delta T \approx \frac{\Delta Q}{m}$$

$$\Delta T \approx \frac{\Delta Q}{m}$$

$\Delta Q \hat{=}$  zugeführte Wärmemenge  
 $m = \text{Masse}$

$$\hookrightarrow \Delta Q = c m \Delta T$$

also

$$c = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \quad (*)$$

$$[c] = \frac{J}{kg \cdot K}$$

das nennt man spezifische Wärme

Definition:

Spezifische Wärme ist die Wärme, die man einer Masseneinheit zuführen muss, um seine Temperatur um 1 Grad zu erhöhen.

oder

Definition Molwärme (spezifische Wärme eines Mols):

Die Molwärme ist die Wärmemenge, die man einem Mol eines Stoffes zuführen muss, um die Temperatur um 1 Grad zu erhöhen.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$C \hat{=} \text{großes } c \quad \nabla$$

für  $n$  Mole:

$$\boxed{\Delta Q = n C \Delta T} \quad [C] = \frac{J}{\text{Mol} \cdot K}$$

Vergleiche mit \*  $\rightarrow m c = n C$

$$\hookrightarrow \boxed{M \cdot c = C} \quad M \hat{=} \text{Molmasse}$$

Man unterscheidet zwei verschiedene Arten von spezifischer Wärme:

$$C_{1p} \text{ und } C_{1v} \text{ bzw. } c_p \text{ und } c_v$$

$C_{1p}, c_p \hat{=} \text{spezifische Wärme (Molwärme)}$   
für Wärmezufuhr unter der Be-  
dingung  $\boxed{p = \text{konstant}}$   $\nabla$

Bzw.  $c_v, c_v$  = spezifische Wärme (Molwärme)  
bei konstant gehaltenem Volumen

Bedeutung der spezifischen Wärme:

Mit Überlegungen von oben über die innere Energie und die Freiheitsgrade kann man aus der spezifischen Wärmen einiges über den mikroskopischen Aufbau der „Stoffe“ erfahren.

Erklärung:

Die Molwärme ist die Wärme, die man zuführen muss, um die Temperatur um ein Grad zu erhöhen, d.h. die innere Energie erhöht sich um :

$$\Delta Q \Rightarrow \underline{\Delta U} = \int \frac{1}{2} R \quad (\Delta T = 1 \text{ K})$$

aber Vorsicht

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T (=1 \text{ K})} \geq \int \frac{1}{2} R \quad (c_p \text{ oder } c_v \text{ ?})$$

Beispiel: Spezifische Wärme des Festkörpers

Für ausreichend hohe Temperaturen findet man einen festen Wert für die spezifische Wärme  $C_v$  der Festkörper.

Dulong-Petit Gesetz:

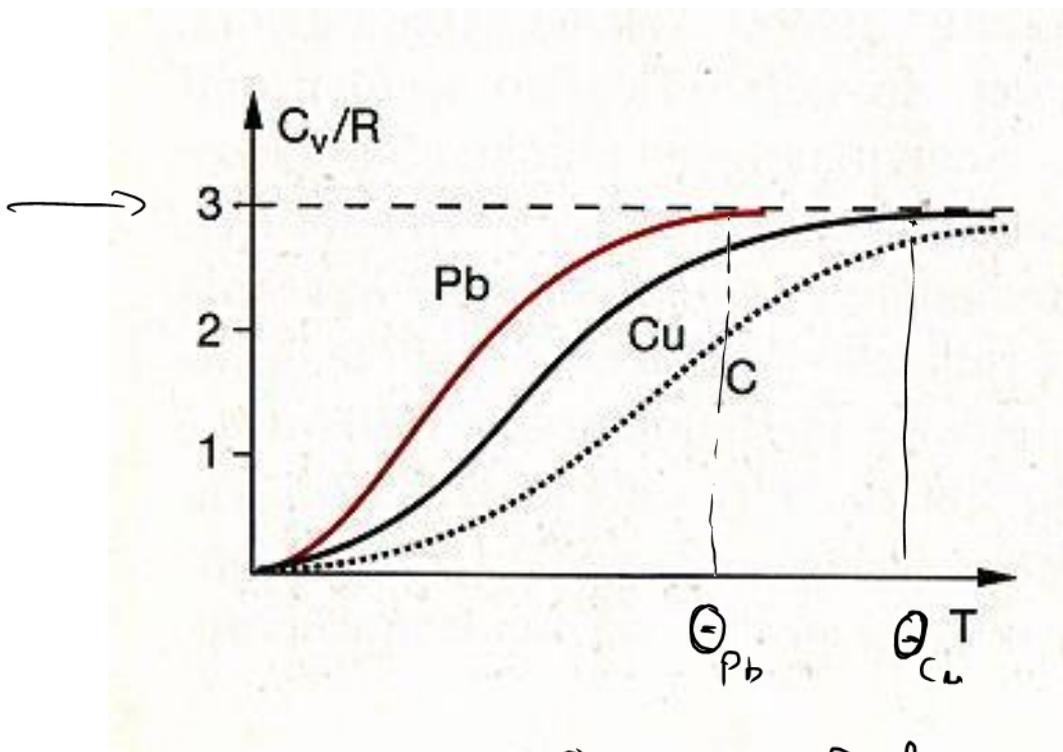
Bei genügend hohen Temperaturen haben alle Festkörper die gleiche, temperaturunabhängige Molwärme  $C_v = 3R$ .

$$\boxed{f = 6}$$

Einige Werte [in J/(Mol K)] bei Raumtemperatur:

$C_V$

Aluminium	23,4	} $\approx 3R$
Wismut	25,3	
Cadmium	24,6	
Kupfer	23,8	
Germanium	23,3	
Gold	24,5	
Blei	25,4	



Quelle: Demtröder

$\Theta_{\text{Debye}}$  = Debye - Temperatur

↳ 6 "Freiheitsgrade": Gitterschwingungen longitudinal & 2x transversal aus denen alle Schwingungen zusammengesetzt werden können, jeweils muß transl. & rot. Energiebeitrag berücksichtigt werden.

## C) 1. Hauptsatz der Thermodynamik

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik ist eine Verallgemeinerung des Energiesatzes der Mechanik. Er berücksichtigt die innere Energie und die Wärme als Energie.

### 1. Hauptsatz der Thermodynamik:

Die Summe der einem System von außen zugeführten Wärme und der von außen zugeführten Arbeit ist gleich der Zunahme der inneren Energie:

$$\boxed{\Delta U = \Delta Q + \Delta W}$$

$\Delta U \hat{=}$  Änderung der inneren Energie

$\Delta Q > 0 \rightarrow$  Wärme wird dem System zugeführt

$\Delta Q < 0 \rightarrow$  Wärme dem System entzogen

$\Delta W \hat{=}$  Arbeit am (+) oder vom (-) System geleistet wird.

Formulierung von H. v. Helmholtz (1847):

Es ist unmöglich, eine periodisch arbeitende Maschine zu bauen, die mehr Energie liefert als ihr zugeführt wird.  
„Unmöglichkeit des Perpetuum Mobile 1. Art“

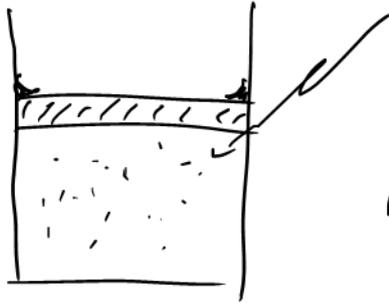
Anwendung bzw. Veranschaulichung des 1. Hauptsatzes für das ideale Gas:

a) Dem Gas, das in einem festen Volumen eingeschlossen ist, wird von außen Wärme zugeführt, d.h.

$$V = \text{konst} \quad , \quad \Delta Q > 0$$

Ergebnis aus Überlegung:

$v = \text{konstant}$



$$\Delta Q \rightarrow \Delta T \rightarrow \Delta U$$

also  $\boxed{\Delta Q = \Delta U}$   $\wedge$   $\boxed{\Delta W = 0}$  !

$\Delta Q \uparrow$

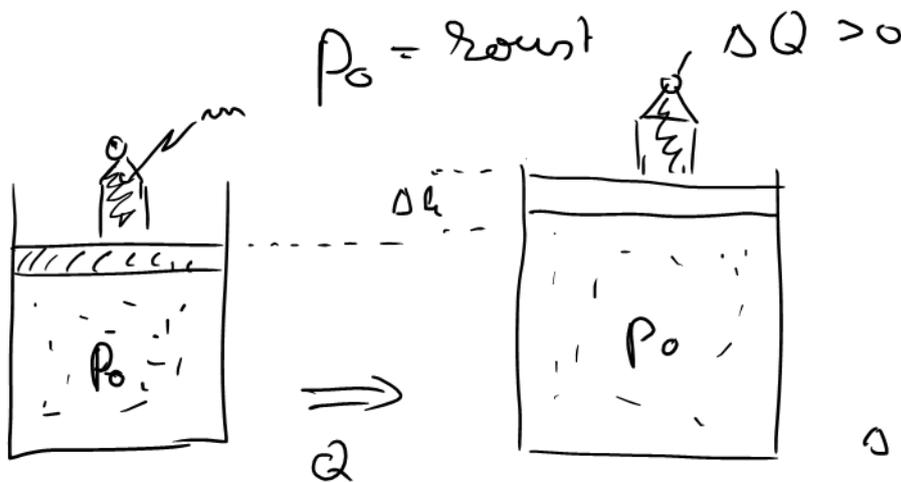
$$C_{V} = \frac{\Delta Q_{\text{mol}}}{\Delta T} = \frac{\Delta U_{\text{mol}}}{\Delta T} = \underline{\underline{f \frac{1}{2} R}}$$

Die Molwärme eines idealen Gases bei konstantem Volumen ist:

$$\boxed{C_{V} = f \frac{1}{2} R}$$

bzw:  $C_V$  gibt die Änderung der inneren Energie eines Mols eines idealen Gases bei Temperaturänderung um 1 Grad an.

**b)** Dem Gas wird von außen Wärme zugeführt, dabei soll sein Druck konstant bleiben.



aus Überlegungs  
 $\Delta Q \rightarrow \Delta T \rightarrow \Delta U$   
 aber  $\Delta W \neq 0$  !