

Wärmelehre

- 0. HS der TD
„2 Systeme, die im therm. GG stehen, besitzen die gleiche Temperatur“
- thermische Ausdehnung

$$\epsilon_T \sim \alpha \quad \frac{\Delta l}{l} \sim \alpha$$

$$l(T) = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \propto \left[\frac{1}{K}\right]$$

$$V(T) = V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta T) \quad \gamma \left[\frac{1}{K}\right]$$

α : Ausdehnungskoeffizient

γ : Volumenausdehnungskoeffizient

für viele Festkörper $\gamma = 3 \cdot \alpha$

- Wärmekapazität

$$\Delta Q = C \cdot \Delta T = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$C_1 \cdot T_1 + C_2 \cdot T_2 = (C_1 + C_2) \cdot T_m$$

- Entropie

„Maß für Unordnung“

„Wahrscheinlichkeit eines Zustandes“

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \left[\frac{J}{K}\right] \quad S = k_B \cdot \ln(N_R) \quad N_R = \frac{N}{N_0}$$

↑ Wahrscheinlichkeit

geschlossenes System $\Delta S \geq 0$

wenn $\Delta S = 0$: Vorgang reversibel (isentrop)

- 3. HS der TD

$$\lim_{T \rightarrow 0} S(T) = 0$$

- ideale Gasgleichung

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

- innere Energie U

(jeder Freiheitsgrad besitzt $\frac{1}{2} k_B T$ Energie)

$$U = \frac{f}{2} N k_B \cdot T$$

für 1-atomiges Gas: $U = \frac{3}{2} N k_B T$

- Maxwell-Boltzmann-Geschwindigkeits-Verteilung

$$\frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}}$$

- 1. HS der TD

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

z.B. Kompression: $\Delta W = -p \cdot \Delta V$

- Zustandsänderung im idealen Gas

- (a) isochor $\Delta V = 0$

$$T \sim p$$

$$\Delta W = -p \cdot \Delta V = 0$$

$$\Delta U = \Delta Q = c_V \cdot \Delta T$$

- (b) isobar $\Delta p = 0$

$$T \sim V$$

$$\Delta U = c_V \cdot \Delta T$$

Wärmekapazität

- (c) isotherm $\Delta T = 0$

$$p \sim \frac{1}{V}$$

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W = c_V \cdot \frac{\Delta T}{0} = 0$$

$$\Delta Q = -\Delta W$$

$$\Delta W = -N k_B T \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

- (d) adiabatisch $\Delta Q = 0$

$$p \sim \frac{1}{V^\gamma}$$

$$\Delta U = \underbrace{\Delta Q}_0 + \Delta W = c_V \cdot \Delta T$$

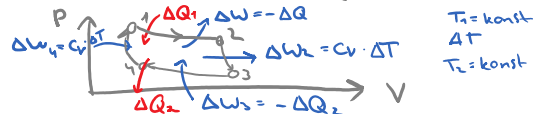
$$\Delta W = c_V \cdot \Delta T$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Poisson-Gleichung

$$\gamma: \text{Isentropenexponent} \quad \frac{C_p}{C_v} \approx 1,4$$

- Carnot-Maschine



1 → 2: isotherme Expansion

$$\Delta T = 0, p \cdot V = \text{konst.}, \Delta Q_1 > 0$$

2 → 3: adiabatische Expansion

$$\Delta Q = 0; T_1 \rightarrow T_2 < T_1$$

3 → 4: isotherme Kompression

$$\Delta T = 0, p \cdot V = \text{konst.}, \Delta Q_2 < 0$$

4 → 1: adiabatische Kompression

$$\Delta Q = 0, T_2 \rightarrow T_1 > T_2$$

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_4 = \Delta W_1 + \Delta W_3 < 0$$

- Carnot-Maschine als Motor: $\Delta W < 0$

warm wird kälter, kalt wird kälter

- Wirkungsgrad $\mu = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ← kalt

$$\mu = \frac{-\Delta W}{\Delta Q}$$

- 2. HS der TD

$$\text{max. } \mu \text{ ist } \mu = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

keine Wärmekraftmaschine kann Wärme vollständig in Arbeit umwandeln

Es ist nicht möglich, ohne zugeführte Energie Wärme aus einem kaltem Reservoir in ein warmes zu bringen

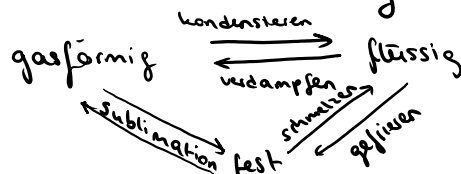
Für die Entropie in abgeschlossenen Systemen gilt: $\Delta S \geq 0$

- Wärme transport

$$I_Q = \frac{\lambda \cdot A}{L} \Delta T \quad [W]$$

λ : Wärmeleitfähigkeit $[\frac{W}{m \cdot K}]$

- Phasenumwandlung



Konstanten / Sonstiges

$$\text{Lichtgeschwindigkeit } c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad - \quad k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} J$$

(b) isobar $\Delta p = 0$

$$T \sim V$$

$$\Delta U = c_v \cdot \Delta T$$

$$\Delta W = -p \cdot \Delta V = 0$$

$$\Delta Q = \Delta U - \underbrace{\Delta W}_0 = c_p \cdot \Delta T \quad c_p = c_v + Nk_B$$

Wärmekapazität
bei konst. p

Konstanten / Sonstiges

- Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$
- 1 Mol enthält $6 \cdot 10^{23}$ Teilchen
- $n = \frac{N}{V}$
- $0 K = -273,15^\circ C$
- Luftdruck: 1 bar
- $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
- $R = 8,31 \frac{J}{K \cdot mol}$ (Gaskonstante)
- $m_H = 3,6 \frac{kg}{m^3}$
- Wasserdichte: $1000 \frac{kg}{m^3}$