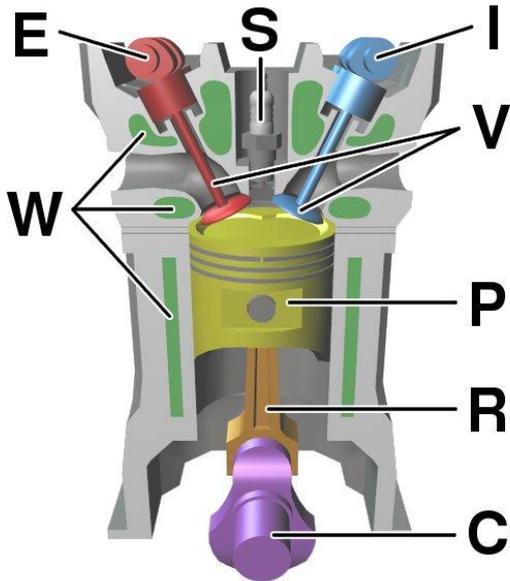


Thermodynamik/ Kreisprozesse



Temperaturen immer in Kelvin einsetzen !!!

$$0\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}$$

Wärme Q und Temperatur T

Wärme Q :

- Absolute, im System vorhandene thermische Energie
- $[Q] = \text{J}$

Temperatur T :

- Eigenschaft des Materials
- Verknüpft mit Q über Masse m und spezifischer Wärmekapazität c
- $[T] = \text{K}, ^\circ\text{C}, ^\circ\text{F}$

Aufgabe 1:

Welche Temperatur stellt sich beim Mischen zweier Gläser Wasser ein? (Glas 1: $V=100 \text{ ml}$, $T=10^\circ\text{C}$; Glas 2: $V=300\text{ml}$, $T=40^\circ\text{C}$; die Dichte des Wassers sei in beiden Gläsern gleich.)

Aufgabe 1

Ansatz:

$$Q = c \cdot m \cdot T = c \cdot \rho \cdot V \cdot T$$

$$Q_{\text{ges}} = Q_1 + Q_2 = c \cdot \rho \cdot (V_1 \cdot T_1 + V_2 \cdot T_2)$$

$$c_{\text{Wasser}} = 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\rho_{\text{Wasser}} = 0,998 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{Misch}} &= \frac{Q_{\text{ges}}}{c \cdot \rho \cdot (V_1 + V_2)} = \frac{V_1 \cdot T_1 + V_2 \cdot T_2}{V_1 + V_2} \\ &= \frac{100 \text{ ml} \cdot 283,15 \text{ K} + 300 \text{ ml} \cdot 313,15 \text{ K}}{400 \text{ ml}} = 305,65 \text{ K} = 32,5 \text{ °C} \end{aligned}$$

Zustandsgleichung des idealen Gases

Was ist ein ideales Gas?

- Gasteilchen haben keine räumliche Ausdehnung -> Punkte
- Gasteilchen üben keine Kräfte aufeinander aus
- Gasteilchen stoßen untereinander und mit der Wand

Zustandsgleichungen des idealen Gases:

Thermische Zustandsgleichung:

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

Kalorische Zustandsgleichung:

$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T = \frac{3}{2} \cdot N \cdot k_B \cdot T$$

Thermische Zustandsänderungen:

- Isotherm (konstante Temperatur):
- Isobar (konstanter Druck):
- Isochor (konstantes Volumen):

Gesetz von **Boyle-Mariotte**

Gesetz von **Gay-Lussac**

Gesetz von **Amontons**

➤ **Ergeben sich direkt aus thermischer Zustandsgleichung**

- Adiabatische Zustandsänderung:

$$(p \cdot V)^\kappa = \text{const.}$$

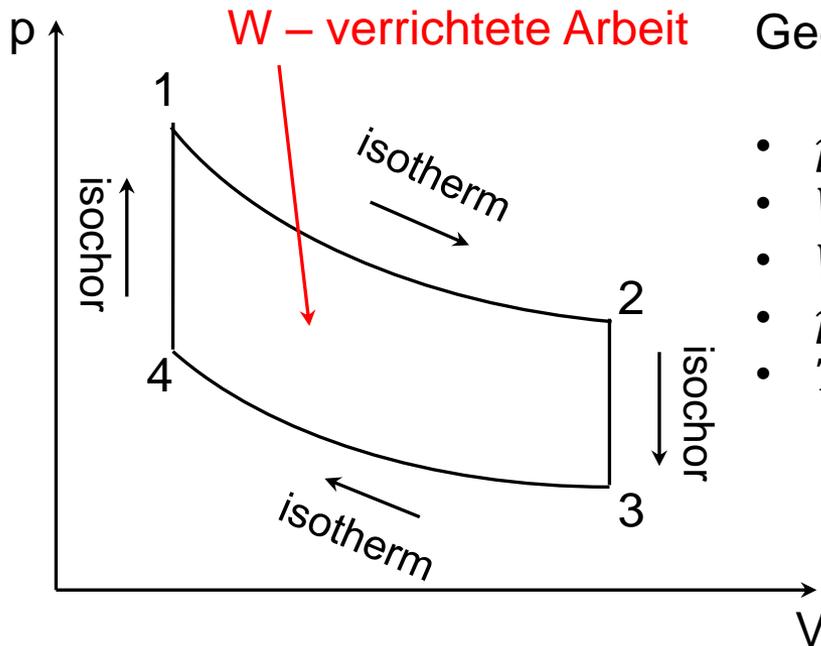
Aufgabe 2: Kreisprozess

Eine Wärmekraftmaschine, betrieben durch ein ideales Gas, durchläuft den folgenden Kreisprozess:

1. Isotherme Expansion von V_1 nach V_2 , bei der Temperatur T_1
2. Isochore Abkühlung von T_1 nach T_2 bei einem Volumen V_2
3. Isotherme Kompression von V_2 nach V_1 bei der Temperatur T_2
4. Isochore Erwärmung von T_2 nach T_1 bei einem Volumen V_1

Zeichnen Sie das zugehörige p-V- und p-T- Diagramm des Kreisprozesses.

Aufgabe 2: Kreisprozess



Gegeben seien nun:

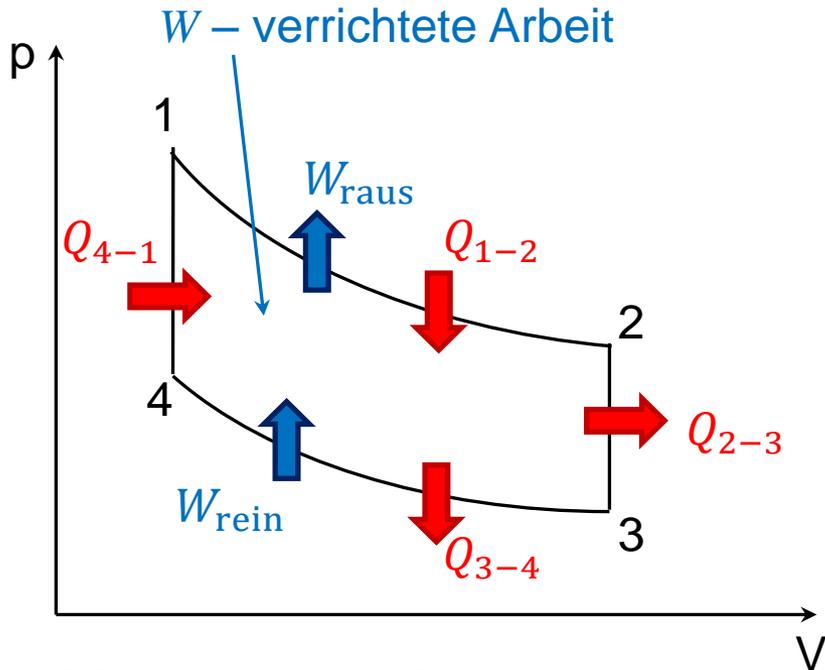
- $p_1 = 0,45 \text{ MPa}$
- $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$
- $V_2 = 2 \text{ m}^3$
- $p_4 = 0,15 \text{ MPa}$
- $T_1 = 600 \text{ K}$

Ergebnisse:

- $p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2} = 0,1125 \text{ MPa}$
- $p_3 = \frac{p_4 \cdot V_1}{V_2} = 0,0375 \text{ MPa}$
- $T_{3,4} = \frac{T_1 \cdot p_3}{p_2} = 200 \text{ K}$

- Berechnen Sie $p_2, p_3, T_{3,4}$.
- An welchen Schritten des Kreisprozesses wird Wärme hinzu/abgeführt und Arbeit verrichtet?
- Berechnen Sie die Wärmezufuhr/abfuhr und effektive Arbeit.
- Berechnen den Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine
- Berechnen Sie die Leistung bei 3 Durchläufen pro Sekunde

Aufgabe 2: Kreisprozess



- Wirkungsgrad?
- Vergleich mit Carnot-Wirkungsgrad

$$\Delta U = \Delta W + \Delta Q \longrightarrow \Delta U_{1-2,3-4} = 0$$

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

$$Q_{1-2} = n \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = 311,92 \text{ kJ}$$

$$Q_{3-4} = -n \cdot R \cdot T_3 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = -103,97 \text{ kJ}$$

$$\Delta Q_{4-1,2-3} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \cdot R \cdot \Delta T$$

$$= \frac{3}{2} \cdot p \cdot V \cdot \frac{\Delta T}{T}$$

$$Q_{4-1} = \frac{3}{2} p_1 \cdot V_1 \cdot \frac{T_1 - T_3}{T_1} = 225 \text{ kJ}$$

$$Q_{2-3} = \frac{3}{2} p_2 \cdot V_2 \cdot \frac{T_3 - T_1}{T_1} = -225 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{eff}} = W_{\text{raus}} + W_{\text{rein}}$$

$$= - \left(\int_{V_1}^{V_2} p(V) dV + \int_{V_3}^{V_4} p(V) dV \right)$$

$$= -n \cdot R \cdot \left(\int_{V_1}^{V_2} \frac{T_1}{V} dV + \int_{V_3}^{V_1} \frac{T_3}{V} dV \right)$$

$$= -n \cdot R \cdot (T_1 - T_3) \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Aufgabe 2: Kreisprozess

Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{|W_{\text{eff}}|}{Q_{\text{rein}}} = \frac{|207,15 \text{ kJ}|}{Q_{1-2} + Q_{4-1}} = 0,39$$

Carnot-Wirkungsgrad:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_n}{T_h} = 1 - \frac{T_3}{T_1} = 0,67$$

Leistung:

$$P = W_{\text{eff}} \cdot \frac{3}{s} = 621,45 \text{ kW}$$

Welchen Wirkungsgrad hat die Wärmekraftmaschine, wenn die Wärme Q_{2-3} dem System nicht entnommen, sondern als Q_{4-1} wieder hinzugeführt wird?

$$\eta = \frac{|W_{\text{eff}}|}{Q_{\text{rein}}} = \frac{|207,15 \text{ kJ}|}{Q_{1-2}} = 0,67$$

<http://www.k-wz.de/vmotor/stirling.html>

Welchen Zweck hat eine Maschine, die dem Kreisprozess genau entgegengesetzt folgt?

