$$S = \frac{\delta Q}{T}$$

δQ_{23}
δQ_{34}
δQ_{41}
geht verloren

Die Carnot-Maschine hat die Wärmemenge ΔQ_1 dem Reservoir entnommen. Die abgegebene Wärmemenge ΔQ_2 geht im Allgemeinen verloren. Deshalb definiert man als Wirkungsgrad der Maschine die von ihr verrichtete Arbeit dividiert durch die von ihr bei der Temperatur T_1 aufgenommene Wärmeenergie ΔQ_1. Dann wird der Wirkungsgrad der Carnot-Maschine

$$\eta = \left|\frac{\Delta W}{\Delta Q_1}\right| = \frac{R(T_1 - T_2)\cdot \ln(V_2/V_1)}{R\cdot T_1 \cdot \ln(V_2/V_1)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (10.87)$$

Carnot-Prozess

Wirkungsgrad vom Carnot-Prozess

$$\eta = \frac{T_{12} - T_{34}}{T_{12}}$$

c) $\delta Q_{12} + \delta Q_{41} = 311\,916 \text{ J}$

d) $\eta = \frac{\Delta W}{311\,916 \text{ J}} = \frac{|\overbrace{-311\,916 \text{ J}}^{1-2} + \overbrace{103\,972 \text{ J}}^{3-4}|}{311\,916 \text{ J}} = \frac{2}{3}$

Aufgabe 1 (10 Punkte):

In dem abgebildeten Kreisprozess eines idealen Gases sind die Größen $p_1 = 4{,}5\,\text{bar}$, $V_1 = 0{,}5\,\text{m}^3$, $V_2 = 2\,\text{m}^3$, $p_4 = 1{,}5\,\text{bar}$ und $T_{12} = 600\,\text{K}$ gegeben.

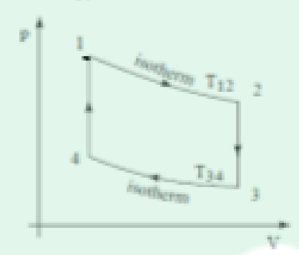
(a) Berechnen Sie die Größen p_2, p_3, T_{34}.

(b) Wie groß ist die mechanische Arbeit, die beim einmaligen Durchlaufen des Prozesses gewonnen wird?

(c) Wie groß ist die Wärmemenge, die hierzu vom heißen Wärmereservoir aufgenommen wird?

(d) Welchen thermischen Wirkungsgrad hat der Kreisprozess dieser Wärmekraftmaschine?

(e) Vergleichen Sie diesen Wirkungsgrad mit dem eines Carnot-Prozesses zwischen den gleichen Temperaturen T_{12} und T_{34}.



$$\Delta U = \delta Q + \Delta W$$
$$= \delta Q - p\,dV$$
$$U = \frac{3}{2} N \cdot k_B \cdot T$$
$$= \frac{3}{2} n \cdot \underbrace{N_A \cdot k_B}_{R} \cdot T = \frac{3}{2} nRT$$

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

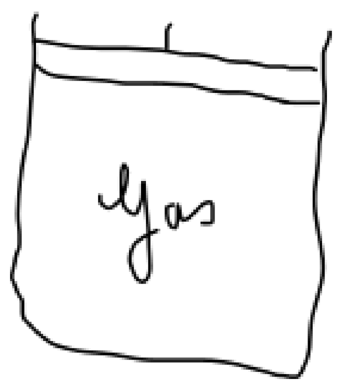
isotherm:
$p \cdot V = \text{const.}$

a) $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} = 4{,}5\,\text{bar} \cdot \frac{0{,}5\,\text{m}^3}{2\,\text{m}^3} = 1{,}125\,\text{bar}$$

$$p_4 \cdot V_1 = p_3 \cdot V_2 \Rightarrow p_3 = p_4 \cdot \frac{V_1}{V_2} = 1{,}5\,\text{bar} \cdot \frac{0{,}5\,\text{m}^3}{2\,\text{m}^3} = 0{,}375\,\text{bar}$$

$$\frac{p}{T} = \text{const.} \qquad \frac{p_2}{T_{12}} = \frac{p_3}{T_{34}} \Rightarrow T_{34} = \frac{p_3}{p_2} \cdot T_{12} = \frac{0{,}375\,\text{bar}}{1{,}125\,\text{bar}} \cdot 600\,\text{K} = 200\,\text{K}$$



b) $\eta = \frac{|\Delta W|}{|\Delta Q|}$

$\underline{1 \to 2:}$ $W = -p \cdot dV =$

$$= -\int_{V_1}^{V_2} p(V)\, dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{p_1 \cdot V_1}{V}\, dV =$$

$$p(V) \cdot V = n \cdot R \cdot T = p_1 \cdot V_1$$
$$p(V) = \frac{p_1 \cdot V_1}{V}$$

$$= -p_1 \cdot V_1 \cdot [\ln(V)]_{V_1}^{V_2} = -p_1 \cdot V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$
$$= -4{,}5 \cdot 10^5\,\text{Pa} \cdot 0{,}5\,\text{m}^3 \cdot \ln\left(\frac{2\,\text{m}^3}{0{,}5\,\text{m}^3}\right)$$
$$= -311\,916 \text{ J}$$

$$\Delta U \underset{T=\text{const}}{=} 0 = \delta Q + \Delta W$$
$$\Rightarrow \delta Q = 311\,916 \text{ J}$$

$\underline{2 \to 3:}$

$$W = -p \cdot dV = 0$$
$$\delta Q = \Delta U =$$
$$= U(T_{34}) - U(T_{12})$$

$\underline{3 \to 4:}$

$$W = -p \cdot dV =$$
$$= -\int_{V_3}^{V_4} p(V)\, dV = -\int_{V_2}^{V_1} \frac{p_3 \cdot V_2}{V}\, dV$$
$$= -p_3 \cdot V_2 \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) =$$
$$= -0{,}375 \cdot 10^5\,\text{Pa} \cdot 2\,\text{m}^3 \cdot \ln\left(\frac{0{,}5\,\text{m}^3}{2\,\text{m}^3}\right)$$
$$\approx 103\,972 \text{ J}$$
$$\delta Q = -103\,972 \text{ J}$$

$\underline{4 \to 1:}$ $W = 0$

$$\delta Q = U(T_{12}) - U(T_{34})$$
$$= \frac{3}{2} N \cdot k_B \cdot (T_{12} - T_{34})$$