

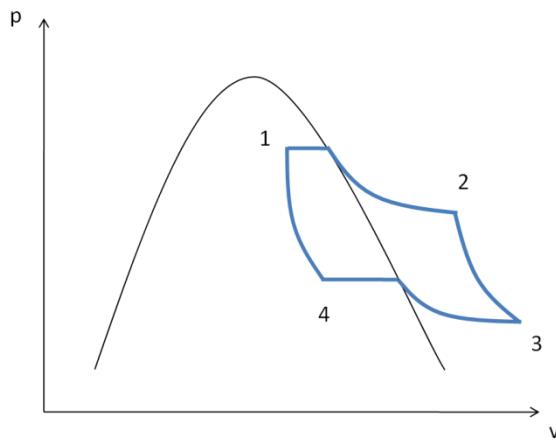
# Thermodynamik I Rechenübung 11

## Musterlösung

---

### Aufgabe 1

- a) Zeichnen Sie den Kreisprozess qualitativ in ein p-v Diagramm



- b) Bestimmen Sie die spezifische Arbeit und Wärmeübergang für jeden Teilprozess

$$q_{12} = \int_1^2 T ds = T_1 \cdot (s_2 - s_1) = 588.38 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{Tab. A2, A4: } s_1 = 5.417 \frac{kJ}{kgK} \quad s_2 = 6.542 \frac{kJ}{kgK}$$

$$w_{12} = q_{12} - u_2 + u_1 = 207.58 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{Tab. A2, A4: } u_1 = 2298 \frac{kJ}{kg} \quad u_2 = 2678.8 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{23} = 0 \text{ (adiabat)}$$

$$w_{23} = u_2 - u_3 = 72.01 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_2 = s_3$$

$$s_3, T_3: \text{Tab. A4: } u_3 = 2606.79 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{34} = \int_3^4 T ds = T_3 \cdot (s_4 - s_3) = -532.125 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_4 = s_1$$

$$w_{34} = q_{34} - u_4 + u_3 = -88.75 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_4, T_3 : \text{Tab. A4: } u_4 = 2163.41 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{41} = 0 \text{ (adiabat)}$$

$$w_{41} = u_4 - u_1 = -134.59 \frac{kJ}{kg}$$

c) Spezifische Entropieerzeugung

$$s_{erz} = 0, \text{ da reversibel}$$

d) Thermische Effizienz

$$\eta_{th} = \frac{w_{nutz}}{q_{zu}} = \frac{w_{12} + w_{23} + w_{34} + w_{41}}{q_{12}} = 1 - \frac{T_K}{T_H} = 9.56\%$$

e) Bessere Effizienz

Nein, die oben beschriebene Maschine ist eine Carnotmaschine und bildet die obere Grenze der möglichen Effizienz.

## Aufgabe 2

a) Masse des Gases welche vom Tank ins Kolbensystem fliesst

$$pV = mRT \quad R = \frac{8.314 \frac{kJ}{kmolK}}{28.01 \frac{g}{mol}} = 296.82 \frac{J}{kgK}$$

$$V_T = \frac{m_{T,1}RT_T}{p_{T,1}} = 1.039 m^3$$

$$m_{T,2} = \frac{p_{T,2}V_T}{RT_T} = 3 kg \Rightarrow \Delta m_T = 2 kg$$

b) Richtung und Menge der Wärme

$$\Delta E = \Delta U_K = Q_K - W_K + \Delta m(h_{350K})$$

$$W_K = p_K \Delta V_K = p_K \cdot \frac{\Delta m RT_K}{p_K} = 172.16 kJ$$

$$\Delta U_K = \frac{\bar{u}_{290K}}{M_{N_2}} \Delta m = 429.92 kJ$$

Tab. A-23

$$\Delta U_K = Q_K - W_K + \Delta m \frac{\bar{h}_{350K}}{M_{N_2}}$$

$$Q_K = \Delta U_K + W_K - \Delta m \frac{\bar{h}_{350K}}{M_{N_2}} = -124.80 kJ$$

Das Vorzeichen ist negativ, das bedeutet die Wärme wird vom Kolben an die Umgebung abgegeben.

c) Erzeugte Entropie des Gesamtsystems

$$\Delta U_T = \frac{\bar{u}_{350K}}{M_{N_2}} (-\Delta m) = -519.1 kJ \quad \text{Tab. A-23}$$

$$Q_T = \Delta U_T + \cancel{W}_T + \Delta m \frac{\bar{h}_{350K}}{M_{N_2}} = 207.78 kJ$$

$$S_{erz} = S_2 - S_1 - \sum_i \frac{Q_i}{T_i}$$

$$S_1 = m_{T,1} \cdot s_{T,1} + m_{K,1} s_{K,1}$$

$$S_2 = (m_{T,1} - \Delta m) \cdot s_{T,2} + (m_{K,1} + \Delta m) \cdot s_{K,1}$$

$$\begin{aligned}
S_2 - S_1 &= (m_{T,1} - \Delta m) \cdot s_{T,2} + (m_{K,1} + \Delta m) \cdot s_{K,1} - m_{T,1} \cdot s_{T,1} - m_{K,1} s_{K,1} \\
S_2 - S_1 &= m_{T,1} (s_{T,2} - s_{T,1}) + \Delta m (s_{K,1} - s_{T,2}) \\
S_2 - S_1 &= m_{T,1} \left[ s_{350K}^o - s_{350K}^o - R \ln \left( \frac{p_{T,2}}{p_{T,1}} \right) \right] + \Delta m \left[ s_{290K}^o - s_{350K}^o - R \ln \left( \frac{p_K}{p_{T,2}} \right) \right] = 606 \frac{J}{K}
\end{aligned}$$

$$p_K = \frac{M_{Kolben} \cdot g}{A} + p_0 = 2.001 \text{ bar}$$

$$S_{erz} = S_2 - S_1 - \frac{Q_T}{T_T} - \frac{Q_K}{T_K} = 0.443 \frac{kJ}{K}$$

### Aufgabe 3

a) notwendige Arbeit des Kompressors

$$\begin{aligned}
0 &= \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m} \left( h_1 - h_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g [z_1 - z_2] \right) \\
0 &= 0.4 \dot{W} - \dot{W} + \dot{m} \left( h_1 - h_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g [z_1 - z_2] \right) \\
\dot{m} &= \dot{V} \cdot \rho_{Wasser} = 0.083 \frac{kg}{s} \\
v_1 &= \frac{\dot{V}}{A} = 0.1667 \frac{m}{s} \\
h_1 &= 83.96 \frac{kJ}{kg}, \quad h_2 = 88.14 \frac{kJ}{kg} \quad \text{Tab. A-2} \\
\dot{W} &= \frac{\dot{m} \left( h_1 - h_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g [z_1 - z_2] \right)}{0.6} = -819W
\end{aligned}$$

b) Exergiedifferenz des Wasser und Exergieverlustrate des Kompressors

$$\begin{aligned}
s_1 &= 0.2966 \frac{kJ}{kgK}, \quad s_2 = 0.3109 \frac{kJ}{kgK} \\
\dot{Ex}_2 - \dot{Ex}_1 &= \dot{m} \cdot [h_2 - h_1 - T_0 (s_2 - s_1) + \Delta ke + \Delta pe] = 149.9W \\
\dot{Ex}_{verl} &= T_0 \cdot \dot{S}_{erz} = T_0 \cdot \left( \dot{m} \cdot [s_2 - s_1] - \frac{\dot{Q}_{Komp}}{T_{ob}} \right) = 648.5W
\end{aligned}$$

## Aufgabe 4

a) Massenstrom des Kühlmittels

$$\dot{Q}_{Raum} = \dot{m}_{Raum} (h_{18^\circ C} - h_{35^\circ C}) = -0.5666 kW$$

$$h_{18^\circ C} = 291.16 \frac{kJ}{kg} \quad h_{35^\circ C} = 308.23 \frac{kJ}{kg} \quad \text{Tab. A-22}$$

$$\dot{m} = \frac{-\dot{Q}_{Raum}}{h_1 - h_4}$$

$$h_1 = 256.31 \frac{kJ}{kg} \quad \text{Tab. A-18}$$

$$h_3 = q_{Kond} + h_2 = 240 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{Ventil ist isenthalp:} \quad h_4 = h_3$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{Raum}}{h_1 - h_4} = 0.035 \frac{kg}{s}$$

b) Wärmestrom des Kompressors

$$\dot{Q}_{Komp} = \dot{W} - \dot{m}(h_1 - h_2) = -1.97 kW$$

c) Exergiedifferenz

$$h_{32^\circ C} = 305.22 \frac{kJ}{kg} \quad s^0_{32^\circ C} = 1.71865 \frac{kJ}{kgK} \quad s^0_{35^\circ C} = 1.72845 \frac{kJ}{kgK} \quad s^0_{18^\circ C} = 1.67145 \frac{kJ}{kg} \quad \text{Tab. A-22}$$

$$\dot{Ex}_{2,Raum} - \dot{Ex}_{1,Raum} = \dot{m}_{Raum} \left[ h_{18^\circ C} - h_{35^\circ C} - T_0 \cdot (s^0_{18^\circ C} - s^0_{35^\circ C}) \right] = 10.5 W$$

$$\dot{m}_{Um} = \frac{\dot{m} q_{Kond}}{h_{35^\circ C} - h_{32^\circ C}} = 0.697 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{Ex}_{2,Umg} - \dot{Ex}_{1,Umg} = \dot{m} \left[ h_{35^\circ C} - h_{32^\circ C} - T_0 \cdot (s^0_{35^\circ C} - s^0_{32^\circ C}) \right] = 14.6 W$$