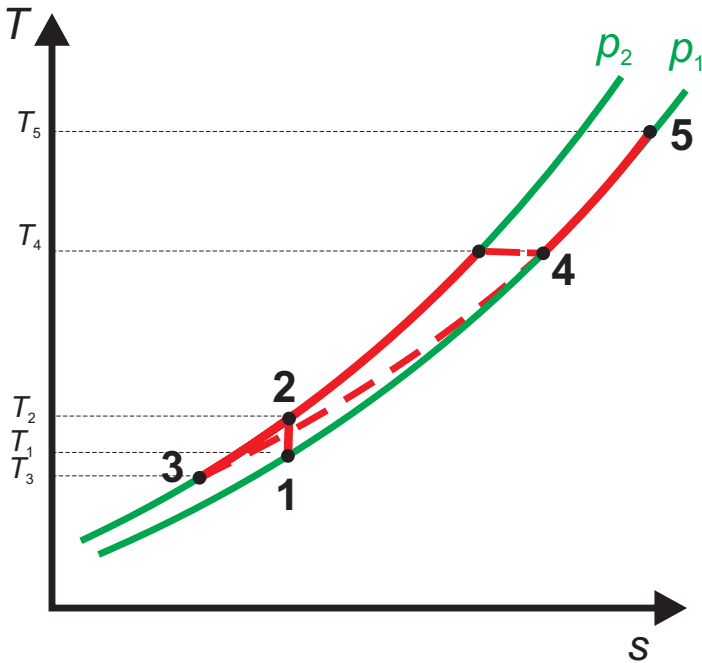


Musterlösung Aufgabe 1: «ideales Gas»

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 5 PUNKTE



II. TEILAUFGABE B) 5 PUNKTE

1 → 2 : reversibel adiabate Verdichtung:

$$p \cdot v^\kappa = \text{const.} \Rightarrow p_1 \cdot v_1^\kappa = p_2 \cdot v_2^\kappa \quad \text{mit} \quad p \cdot v = R \cdot T$$

$$\Rightarrow \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1-\kappa} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^\kappa \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}}$$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{c_p - \frac{R_m}{M}} = \frac{1.066}{1.066 - \frac{8.314472}{28.96}} = 1.3686$$

$$T_2 = (273.15 + 200)K \cdot \left(\frac{0.95}{1} \right)^{\frac{1-1.3686}{1.3686}} = 479.73 \text{ K}$$

$$P_{12} = \dot{m} \cdot w_{t,12} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

$$\Rightarrow \dot{m} = \frac{P_{12}}{c_p \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{1000 \text{ kW}}{1.066 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (479.73 - 473.15)K} = 142.57 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

III. TEILAUFGABE C) ⇒ 3 PUNKTE

$$\dot{H}_3 = \dot{H}_2 + \dot{H}_U \Rightarrow \dot{m}_3 \cdot c_p \cdot T_3 = \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot T_2 + \dot{m}_U \cdot c_p \cdot T_U$$

$$\dot{m}_L \cdot c_p \cdot T_3 = 0.75 \cdot \dot{m}_L \cdot c_p \cdot T_2 + 0.25 \cdot \dot{m}_L \cdot c_p \cdot T_U$$

$$T_3 = 0.75 \cdot 479.73 \text{ K} + 0.25 \cdot 298.15 \text{ K} = 434.335 \text{ K}$$

IV. TEILAUFGABE D) ⇒ 2 PUNKTE

$$\dot{Q}_{34} + P_{34} = \Delta \dot{H}_{34} \quad \text{mit} \quad P_{34} = 0$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{34} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_4 - T_3) = 142.57 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1.066 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot ((630 + 273.15) - 434.335) \text{ K} = 71.25 \text{ MW}$$

V. TEILAUFGABE E) ⇒ 2 PUNKTE

$$\dot{Q}_{51} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_1 - T_5)$$

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_5 - T_4) = 10 \text{ MW}$$

$$\Rightarrow T_5 = T_4 + \frac{\dot{Q}_{45}}{\dot{m}_L \cdot c_p} = 630^\circ \text{C} + \frac{10 \cdot 10^3 \text{ kW}}{142.57 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1.066 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}} = 695.80^\circ \text{C} = 968.95 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_{51} = 142.57 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1.066 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (200 - 695.8) \text{ K} = -75.35 \text{ MW}$$

VI. TEILAUFGABE F) ⇒ 3 PUNKTE

$$A_{ges.} = \frac{\dot{Q}_{34}}{q_H} = \frac{71.23 \text{ MW}}{800 \cdot 10^{-6} \text{ MW/m}^2} = 89062.5 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{A_{ges.}}{A_H} = \frac{89062.5}{120} = 742.18 \rightarrow 743$$

VII. TEILAUFGABE G) ⇒ 4 PUNKTE

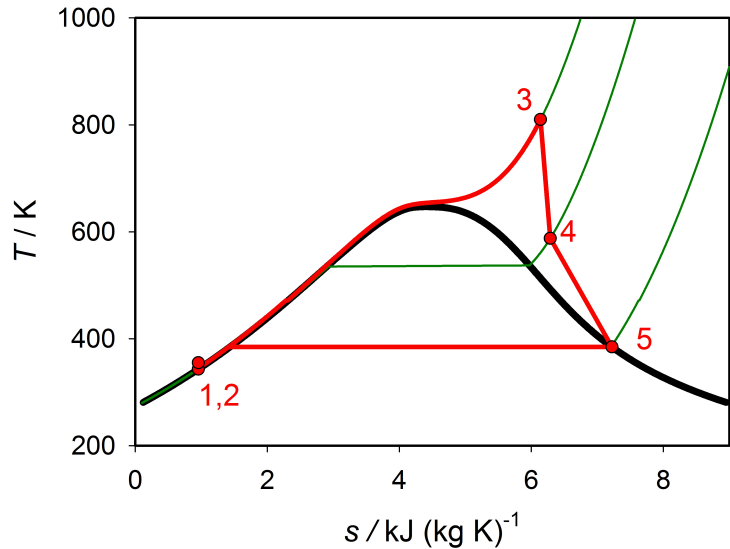
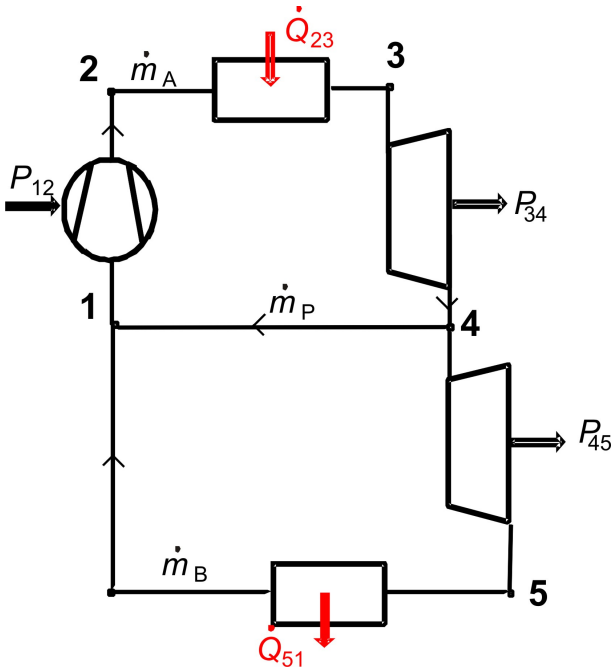
$$\dot{E}_{51} = \left(1 - \frac{T_a}{T_m}\right) \cdot \dot{Q}_{51}$$

$$T_m = \frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{c_p \cdot (T_1 - T_5)}{c_p \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_5}\right)} = \frac{(473.15 - 968.95)}{\ln\left(\frac{473.15}{968.95}\right)} = 691.68 \text{ K}$$

$$\dot{E}_{51} = \left(1 - \frac{298.15}{691.68}\right) \cdot (-75.35 \text{ MW}) = -42.87 \text{ MW}$$

Musterlösung Aufgabe 2:

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 8 PUNKTE



II. TEILAUFGABE B) ⇒ 3 PUNKTE

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_A \cdot (h_3 - h_2)$$

$$h_1 = h(0,15 \text{ MPa}, 70^\circ\text{C}) = 293,316 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_1 = s_2 = 0,9551 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Interpolation mit s_2 und $p_2 = 25 \text{ MPa}$:

$$h_2 = 313,46 + \frac{0,9551 - 0,9405}{0,9405 - 1,0004} \cdot (313,46 - 334,16) = 318,5054 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h(25 \text{ MPa}, 540^\circ\text{C}) = 3306,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{23} = 125 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (3306,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 318,5054 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) = 373,499 \text{ MW}$$

III. TEILAUFGABE C) ⇒ 7 PUNKTE

$$\dot{m}_P, \dot{m}_B = ?$$

$$P_{\text{nutz}} = |P_{34}| + |P_{45}| = |\dot{m}_A \cdot (h_4 - h_3)| + |\dot{m}_B \cdot (h_5 - h_4)|$$

$$\Rightarrow \dot{m}_B = \frac{P_{\text{nutz}} - |\dot{m}_A \cdot (h_4 - h_3)|}{|h_5 - h_4|}$$

$$\eta_{s,T} = \frac{w_{t,34}}{w_{t,34s}} = \frac{h_4 - h_3}{h_{4s} - h_3} \Rightarrow h_4 = \eta_{s,T} \cdot (h_{4s} - h_3) + h_3$$

$$s_3 = s_{4s} = 6,1416 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Interpolation h_{4s} mit s_{4s} und $p_4 = 5$ MPa:

$$h_{4s} = 2886,294 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_5 = h''(1,5 \text{ bar}) = 2693,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow h_4 = 0,8 \cdot (2886,294 - 3306,5) + 3306,5 = 2970,335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_B = \frac{54,24 \text{ MW} - |125 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (2970,335 - 3306,5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}|}{|(2693,1 - 2970,335) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}|} = 44,076 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_P = \dot{m}_A - \dot{m}_B = 80,924 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

IV. TEILAUFGABE D) \Rightarrow 6 PUNKTE

$$\Delta \dot{E}_v = |\Delta \dot{E}_{51} + \Delta \dot{E}_{FW}|$$

$$\Delta \dot{E}_{51} = (1 - \frac{T_a}{T_m}) \cdot \dot{Q}_{51}$$

$$\dot{Q}_{51} = \dot{m}_B \cdot (h_1 - h_5) = 44,076 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (293,16 - 2693,3) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -105,7798 \text{ MW}$$

$$T_m = \frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{h_1 - h_5}{s_1 - s_5} = \frac{293,16 - 2693,1}{0,9551 - 7,223} = 382,894 \text{ K}$$

$$s_1 = s(0,15 \text{ MPa}, 70^\circ\text{C}) = 0,9551 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s_5 = s''(0,15 \text{ MPa}) = 7,223 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\Delta \dot{E}_{51} = (1 - \frac{293,15}{382,894}) \cdot -105,7798 \text{ MW} = -24,79 \text{ MW}$$

$$\Delta \dot{E}_{FW} = \dot{m}_w \cdot (\Delta h - T_a \cdot \Delta s)$$

$$ds = \frac{dh - vdp}{T} \Rightarrow vdp = 0 \Rightarrow \Delta s = \int_{F_1}^{F_2} \frac{c_{p,w} \cdot dT}{T} = c_{p,w} \cdot \ln\left(\frac{T_{F_2}}{T_{F_1}}\right)$$

$$\Rightarrow \Delta \dot{E}_{FW} = \dot{m}_w \cdot \left(c_{p,w} \cdot (T_{F_2} - T_{F_1}) - T_a \cdot c_{p,w} \cdot \ln\left(\frac{T_{F_2}}{T_{F_1}}\right) \right)$$

$$= 645 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,20 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot \left((104,065 - 65) \text{ K} - 293,15 \text{ K} \cdot \ln\left(\frac{377,215}{338,15}\right) \right) = 19006,78 \text{ kW} = 19 \text{ MW}$$

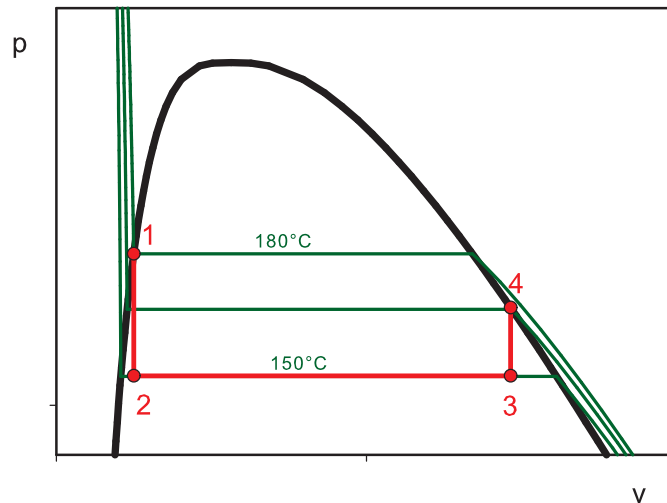
$$\Delta \dot{E}_v = |-24,79 \text{ MW} + 19 \text{ MW}| = |-5,79 \text{ MW}| = 5,79 \text{ MW}$$

V. TEILAUFGABE E) \Rightarrow 4 PUNKTE

- Strom ist reine Exergie, man würde dementsprechend (wertvolle) reine Exergie in Anergie umwandeln (riesige Exergieverluste erzeugen)
- Unter normalen Umständen ist Fernwärme günstiger
- Die Abwärme des Kraftwerks muss ohnehin „weggeschafft werden“, es ist nachhaltiger/effizienter diese für das Heizen zu nutzen als einfach an die Umgebung abzugeben
- ...

Musterlösung Aufgabe 3: «Kolben-Zylinder-System»

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 4 PUNKTE



II. TEILAUFGABE B) ⇒ 2 PUNKTE

$$T_1 = 453,15 \text{ K} \rightarrow p_{s,1} = 1,9809 \text{ MPa}$$

$$T_2 = 423,15 \text{ K} \rightarrow p_2 = 1,1423 \text{ MPa}$$

$$m = V_0 \cdot \rho_1 = 0,005 \text{ m}^3 \cdot 562,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2,81425 \text{ kg}$$

III. TEILAUFGABE C) ⇒ 4 PUNKTE

$$\rho_1 = \rho_2 = 562,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$x_2 = \frac{1/\rho_2 - 1/\rho'(423,15\text{K})}{1/\rho''(423,15\text{K}) - 1/\rho'(423,15\text{K})} = \frac{1/562,85 - 1/619,23}{1/24,467 - 1/619,23} = 0,004121$$

$$m_D = x_2 \cdot m_{ges} = 0,004121 \cdot 2,81425 \text{ kg} = 0,0115975 \text{ kg}$$

$$V_D = \frac{m_D}{\rho''} = \frac{0,0116 \text{ kg}}{24,467 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,0004741 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_D}{V_{ges}} = \frac{0,0004741 \cdot 1000 \text{ dm}^3}{5 \text{ dm}^3} = 9,48\%$$

IV. TEILAUFGABE D) ⇒ 6 PUNKTE

$$W_{23}^V = m \cdot \left(- \int_2^3 p dv \right) = -m \cdot p \cdot (v_3 - v_2)$$

$$p_2 = p_3 = 1,1423 \text{ MPa}$$

$$v_2 = \frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{562,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,001777 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho_3 = \frac{1}{x_3 \cdot (1/\rho'' - 1/\rho') + 1/\rho'} = \frac{1}{0,7 \cdot (1/24,467 - 1/619,23) + 1/619,23} = 34,3708 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_3 = 1/\rho_3 = 0,02915 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow W_{23}^V = -87,996 \text{ kJ}$$

$$Q_{23} + W_{23}^V = \Delta U_{23}$$

$$\Rightarrow Q_{23} = \Delta U_{23} - m \cdot p \cdot \Delta v_{23} = \Delta H_{23} = m \cdot (h_3 - h_2)$$

$$h_2 = x_2 \cdot (h'' - h') + h' = 0,004121 \cdot (599,75 - 227,18) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 227,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 228,715 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = x_3 \cdot (h'' - h') + h' = 0,7 \cdot (599,75 - 227,18) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 227,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 487,979 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow Q_{23} = 729,634 \text{ kJ}$$

V. TEILAUFGABE E) ⇒ 2 PUNKTE

Isobare Zustandsänderungen sind im Naßdampfgebiet immer isotherm. Die zugeführte Wärme wird vom Fluid als Verdampfungsenthalpie aufgenommen und führt damit zum Phasenübergang eines Anteils der Flüssigkeit zu Dampf.

VI. TEILAUFGABE F) ⇒ 3 PUNKTE

$$\rho_4 = \rho_3 = 34,3708 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Punkt 4 auf Taulinie → Interpolation zwischen 433,15 K und 443,15 K.

$$T_4 = \frac{34,3708 - 30,139}{37,048 - 30,139} \cdot (443,15 - 433,15) \text{K} + 433,15 \text{K} = 439,275 \text{K}$$

VII. TEILAUFGABE G) ⇒ 7 PUNKTE

$$Q_{34} + W_{34}^V = \Delta U_{34} \Rightarrow Q_{34} - m \int_3^4 p dv = \Delta U_{34}$$

$$\text{mit } dv=0 \text{ und } h = u + pv \Rightarrow \Delta h = \Delta u + v\Delta p + p\Delta v \Rightarrow \Delta u = \Delta h - v\Delta p$$

$$\Rightarrow Q_{34} = m \cdot (\Delta h_{34} - v_3 \Delta p_{34})$$

h_4 interpoliert mit ρ_4 :

$$h_4 = \frac{34,3708 - 30,139}{37,048 - 30,139} (615,48 - 608,07) \frac{kJ}{kg} + 608,07 \frac{kJ}{kg} = 612,6087 \frac{kJ}{kg}$$

p_4 interpoliert mit ρ_4 :

$$p_4 = \frac{34,3708 - 30,139}{37,048 - 30,139} (1,6621 - 1,3838) MPa + 1,3838 MPa = 1,5543 MPa$$

$$Q_{34} = 2,814 kg \cdot \left[(612,6087 - 487,979) \frac{kJ}{kg} - 0,02915 \frac{m^3}{kg} (1554,3 - 1142,3) kPa \right] = 317,102 kJ$$

$$\Delta t = \frac{Q_{34}}{\dot{Q}} = \frac{317,102 kJ}{0,1 kW} = 3171,02 s = 52,85 min$$