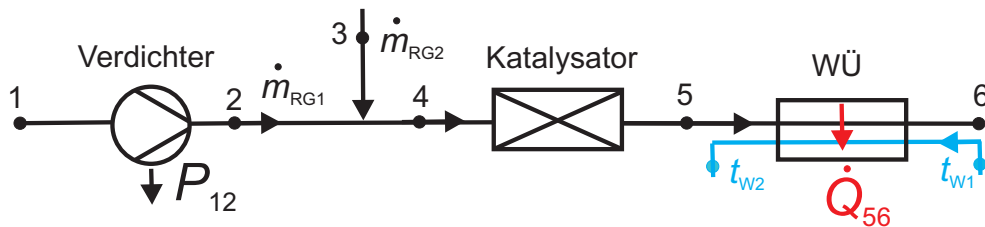
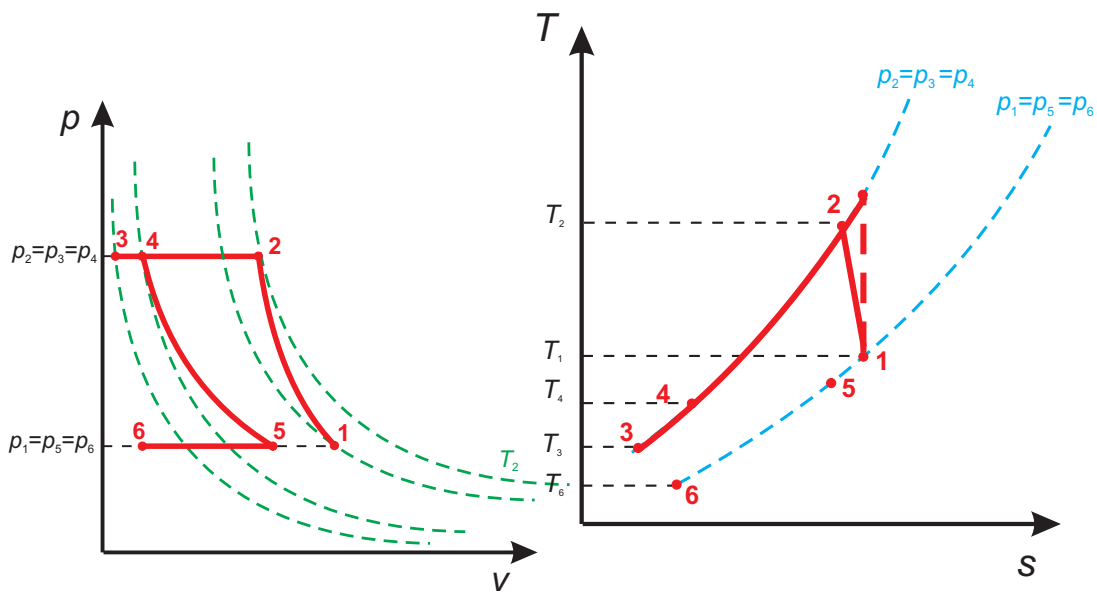


Musterlösung Aufgabe 1: «ideales Gas»

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 1 PUNKT



II. TEILAUFGABE B) 3 PUNKTE



III. TEILAUFGABE C) ⇒ 3 PUNKTE

$$p_1 = 1 \text{ bar}, \quad t_1 = 350^\circ\text{C}$$

$$p_2 = 1.3 \text{ bar}, \quad t_2 = 390^\circ\text{C}$$

1 → 2: polytrophe Zustandsänderung: $p \cdot v^n = \text{const.}$

$$\Rightarrow n = \frac{1}{1 - \frac{\ln(T_2/T_1)}{\ln(p_2/p_1)}} = \frac{1}{1 - \frac{\ln\left(\frac{390+273.15}{350+273.15}\right)}{\ln(1.3/1)}} = 1.3108$$

$$w_{t,12} = \frac{n \cdot R \cdot T_1}{n-1} \cdot \left(\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right)$$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \Rightarrow c_v = \frac{c_p}{\kappa} = \frac{0.95}{1.4} = 0.6786 \frac{kJ}{kg}$$

$$R = c_p - c_v = (0.95 - 0.6786) \frac{kJ}{kgK} = 0.271 \frac{kJ}{kgK}$$

$$w_{t,12} = \frac{1.3108 \cdot 0.271 \cdot (350 + 273.15)}{1.3108 - 1} \cdot \left(\left(\frac{1.3}{1} \right)^{\frac{1.3108-1}{1.3108}} - 1 \right) = 45.714 \frac{kJ}{kg}$$

$$P_{12} = \dot{m}_{RG1} \cdot w_{t,12} = 35 \frac{kg}{s} \cdot 45.714 \frac{kJ}{kg} = 1.6 MW$$

IV. TEILAUFGABE D) \Rightarrow 2 PUNKTE

$$q_{12} = (c_p - \frac{n \cdot R}{n-1}) \cdot (T_2 - T_1) = (0.95 - \frac{1.3108 \cdot 0.271}{1.3108 - 1}) \frac{kJ}{kgK} \cdot (390 - 350) K = -7.7 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_{RG1} \cdot q_{12} = 35 \frac{kg}{s} \cdot (-7.7 \frac{kJ}{kg}) = -270 kW$$

V. TEILAUFGABE E) \Rightarrow 2 PUNKTE

$$\dot{H}_2 + \dot{H}_3 = \dot{H}_4$$

$$\dot{m}_{RG1} \cdot h_2 + \dot{m}_{RG2} \cdot h_3 = (\dot{m}_{RG1} + \dot{m}_{RG2}) \cdot h_4$$

$$\dot{m}_{RG1} \cdot c_p \cdot T_2 + \dot{m}_{RG2} \cdot c_p \cdot T_3 = \dot{m}_{RG1} \cdot c_p \cdot T_4 + \dot{m}_{RG2} \cdot c_p \cdot T_4$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{RG2} = \frac{\dot{m}_{RG1} \cdot c_p \cdot (T_4 - T_2)}{c_p \cdot (T_3 - T_4)} = \frac{\dot{m}_{RG1} \cdot (T_4 - T_2)}{(T_3 - T_4)} = \frac{35 \cdot (300 - 390)}{230 - 300} = 45 \frac{kg}{s}$$

VI. TEILAUFGABE F) \Rightarrow 3 PUNKTE

$$\dot{E}_{45} = \dot{m}_{ges.} \cdot [\Delta h_{45} - T_a \cdot \Delta s_{45}]$$

$$\Delta h_{45} = c_p \cdot (T_5 - T_4) = 0.95 \frac{kJ}{kgK} \cdot (330 - 300) K = 28.5 \frac{kJ}{kg}$$

$$ds = \frac{dh - vdp}{T} = \frac{dh - RTdp/p}{T}$$

$$\Rightarrow \Delta s = c_p \cdot \ln\left(\frac{T_5}{T_4}\right) - R \cdot \ln\left(\frac{p_5}{p_4}\right)$$

$$= \left[0.95 \cdot \ln\left(\frac{330 + 273.15}{300 + 273.15}\right) - 0.271 \cdot \ln\left(\frac{1}{1.3}\right) \right] \frac{kJ}{kgK} = 0.11957 \frac{kJ}{kgK}$$

$$\Rightarrow \dot{E}_{45} = (35 + 45) \cdot [28.5 - 283.15 \cdot 0.11957] = -428 kW$$

VII. TEILAUFGABE G) ⇒ 5 PUNKTE

$$|\dot{Q}_W| = |\dot{Q}_{RG,ab}|$$

$$\dot{Q}_{RG,ab} = \dot{m}_{RG,ges} \cdot c_{p,RG} \cdot (T_6 - T_5)$$

$$\dot{Q}_W = \dot{m}_W \cdot c_{p,W} \cdot (T_{W2} - T_{W1})$$

$$\Rightarrow \dot{m}_W = \frac{\dot{m}_{RG,ges} \cdot c_{p,RG} \cdot (T_6 - T_5)}{-c_{p,W} \cdot (T_{W2} - T_{W1})} = \frac{80 \cdot 0.95 \cdot (120 - 330)}{-4.18 \cdot (100 - 60)} = 95.45 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{E}_V = |\Delta \dot{E}_{RG}| - |\Delta \dot{E}_W|$$

$$\dot{E}_{RG} = \dot{m}_{RG} \cdot [\Delta h_{56} - T_a \cdot \Delta s_{56}]$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{RG} &= \dot{m}_{RG} \cdot c_{p,RG} \cdot (T_6 - T_5 - T_a \cdot \ln(\frac{T_6}{T_5})) \\ &= 80 \cdot 0.95 \cdot (120 - 330 - 283.15 \cdot \ln(\frac{120 + 273.15}{330 + 273.15})) = -6.75 \text{ MW} \end{aligned}$$

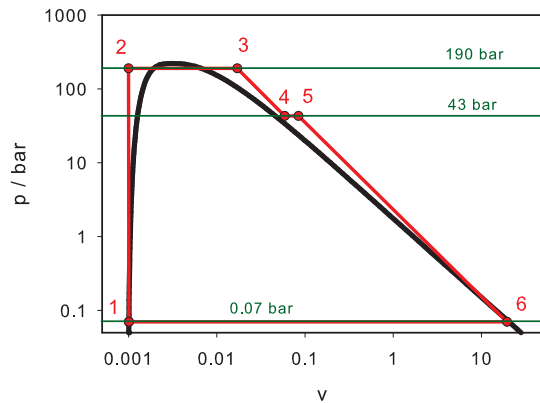
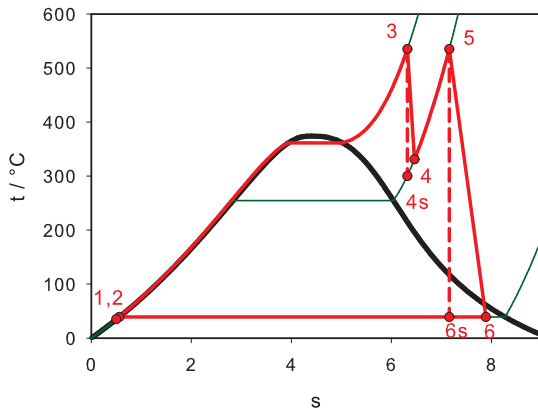
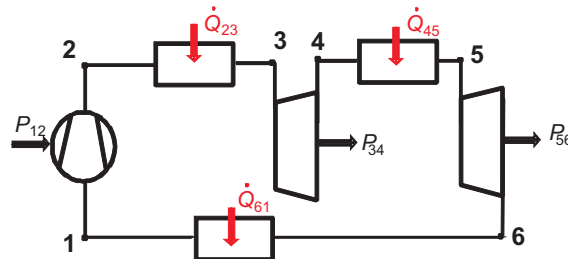
$$\dot{E}_W = \dot{m}_W \cdot [\Delta h_W - T_a \cdot \Delta s_W]$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_W &= \dot{m}_W \cdot c_{p,W} \cdot (T_{W,2} - T_{W,1} - T_a \cdot \ln(\frac{T_{W,2}}{T_{W,1}})) \\ &= 95.45 \cdot 4.18 \cdot (100 - 60 - 283.15 \cdot \ln(\frac{100 + 273.15}{60 + 273.15})) = 3.15 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \dot{E}_V = 6.75 - 3.15 = 3.6 \text{ MW}$$

Musterlösung Aufgabe 2: «Kreisprozess»

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 5 PUNKTE



II. TEILAUFGABE B) 5 PUNKTE

$$P_{34} = \dot{m} \cdot (h_4 - h_3) \quad , \quad P_{56} = \dot{m} \cdot (h_6 - h_5)$$

Zustand 4: $p_4 = 43 \text{ bar}$, $t_4 = 331^\circ\text{C}$

Interpolation: $h_4 = 3021.0 + \frac{3047.5 - 3021.0}{335 - 325} \cdot (331 - 325) = 3036.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$q_{UH} = h_3 - h_{2''} = 896.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{2''} = h''(190 \text{ bar}) = 2466.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow h_3 = q_{UH} + h_{2''} = 896.4 + 2466.8 = 3363.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow P_{34} = 120 \text{ kg/s} \cdot (3036.9 - 3363.2) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -39.156 \text{ MW}$$

$$h_5 = h(43 \text{ bar}, 535^\circ\text{C}) = 3523.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_6 = h' + x_6 \cdot (h'' - h') = 163.35 + 0,95 \cdot (2571.7 - 163.35) = 2451.28 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow P_{56} = 120 \text{ kg/s} \cdot (2451.28 - 3523.1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -128.618 \text{ MW}$$

III. TEILAUFGABE C) ⇒ 3 PUNKTE

$$\eta_{th} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{|P_{34} + P_{56}|}{\dot{Q}_{23} + \dot{Q}_{45}}$$

$P_{12} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) = 0$ (Antriebsleistung der Kesselspeisepumpe soll vernachlässigt werden)

$$\Rightarrow h_2 = h_1 = h'(0.07 \text{ bar}) = 163.35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m} \cdot (h_3 - h_2) = 120 \text{ kg/s} \cdot (3363.2 - 163.35) = 383.982 \text{ MW}$$

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m} \cdot (h_5 - h_4) = 120 \text{ kg/s} \cdot (3523.1 - 3036.9) = 58.344 \text{ MW}$$

$$\eta_{th} = \frac{|-128.618 + (-39.156)|}{383.982 + 58.344} = 0.379 = 38 \%$$

IV. TEILAUFGABE D) ⇒ 2 PUNKTE

$$\eta_{ex} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{|P_{34} + P_{56}|}{\dot{E}_{\dot{Q}_{23}} + \dot{E}_{\dot{Q}_{45}}}$$

$$\dot{E}_{\dot{Q}_{23}} = \left(1 - \frac{T_a}{T_{m,23}}\right) \cdot \dot{Q}_{23} \quad \text{mit} \quad T_{m,23} = \frac{\Delta h_{23}}{23}$$

$$s_2 = s(h = 163.35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, p = 190 \text{ bar})$$

$$\text{Interpolation: } s_2 = 0.4867 + \frac{0.5252 - 0.4867}{171.9 - 160} \cdot (163.35 - 160) = 0.4975 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s_3 = s(h = 3363.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, p = 190 \text{ bar})$$

$$\text{Interpolation: } s_3 = 6.3006 + \frac{6.3374 - 6.3006}{3378.0 - 3348.3} \cdot (3363.2 - 3348.3) = 6.319 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$T_{m,23} = \frac{3363.2 - 163.35}{6.319 - 0.4975} = 549.66 \text{ K}$$

$$\dot{E}_{\dot{Q}_{23}} = \left(1 - \frac{293.15}{549.66}\right) \cdot 383.982 = 179.193 \text{ MW}$$

$$\dot{E}_{\dot{Q}_{45}} = \left(1 - \frac{T_a}{T_{m,45}}\right) \cdot \dot{Q}_{45} \quad \text{mit} \quad T_{m,45} = \frac{\Delta h_{45}}{\Delta s_{45}}$$

$$\text{Interpolation: } s_4 = s(43 \text{ bar}, 331^\circ\text{C}) = 6.4353 + \frac{6.4793 - 6.4353}{335 - 325} \cdot (331 - 325) = 6.4617 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$s_5 = s(43 \text{ bar}, 535^\circ\text{C}) = 7.1572 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$T_{m,45} = \frac{3523.1 - 3036.9}{7.1572 - 6.4617} = 699.065 \text{ K}$$

$$\dot{E}_{\dot{Q}_{45}} = \left(1 - \frac{293.15}{699.065}\right) \cdot 58.344 = 33.88 \text{ MW}$$

$$\eta_{ex} = \frac{|-128.618 - 39.156|}{179.193 + 33.88} = 0.787 = 78.7\%$$

Musterlösung Aufgabe 3:

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 2 PUNKTE

$\omega' = 0.9$ (Flüssigkeitsvolumenanteil) ⇒ $\omega'' = 1 - \omega' = 0.1$ (Dampfvolumenanteil)

$$\omega'' = \frac{\rho - \rho'}{\rho'' - \rho'} = \frac{\rho - \frac{1}{v'}}{\frac{1}{v''} - \frac{1}{v'}}$$

$$\Rightarrow \rho = \omega'' \cdot \left(\frac{1}{v''} - \frac{1}{v'} \right) + \frac{1}{v'} = 0.1 \cdot \left(\frac{1}{0.44646} - \frac{1}{0.0013} \right) + \frac{1}{0.0013} = 692.532 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{ges} = \rho \cdot V = 692.532 \cdot 0.4 = 277.013 \text{ kg}$$

II. TEILAUFGABE B) ⇒ 2 PUNKTE

$$\Delta p = \frac{F}{A} \quad \text{mit } F = g \cdot m \quad \Rightarrow \Delta p = \frac{g \cdot m}{A} = \frac{g \cdot \rho \cdot V}{A} = \frac{g \cdot \rho \cdot h \cdot A}{A} = g \cdot \rho \cdot h$$

$$p_2 = p_1 + \Delta p = p_1 + g \cdot \rho \cdot h$$

$$= 1 \text{ bar} + 1/0,0013 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot 2 \text{ m} = 115092 \text{ Pa} = 1.15092 \text{ bar}$$

III. TEILAUFGABE C) ⇒ 3 PUNKTE

$$m_2 = m_1 - \Delta m = 276.013 \text{ kg}$$

$$v_2 = \frac{V}{m_2} = 0.001449 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v'' \text{ Zustand 2: interpolieren bei } p_2 = 1.15092 \text{ bar} \quad \rightarrow \quad v_2'' = 0.38362 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v'}{v'' - v'} = 0.00039028$$

$$m_2'' = m_2 \cdot x_2 = 0.10772 \text{ kg}$$

$$x_1 = \frac{1/\rho_1 - v'}{v'' - v'} = \frac{1/654.182 - 0.0013}{0.44646 - 0.0013} = 0.00032343$$

$$m_1'' = m_1 \cdot x_1 = 0.08959 \text{ kg}$$

$$\Delta m_{Verd.12} = m_2 - m_1 = 0.001813 \text{ kg}$$

IV. TEILAUFGABE D) ⇒ 5 PUNKTE

Entnahme bis nur noch Gas vorhanden

$$\rho_{nach\ Entn.} = \frac{1}{v_2''} = \frac{1}{0.38362} = 2.6068 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{bei geringerer Dichte wäre Druck zu klein})$$

$$m_{\text{entn.}} = m_{\text{ges.}} - \rho_{\text{nachEntn.}} \cdot V_{\text{ges.}} = 277.013 - 2.6068 \cdot 0.4 = 275.970 \text{ kg}$$