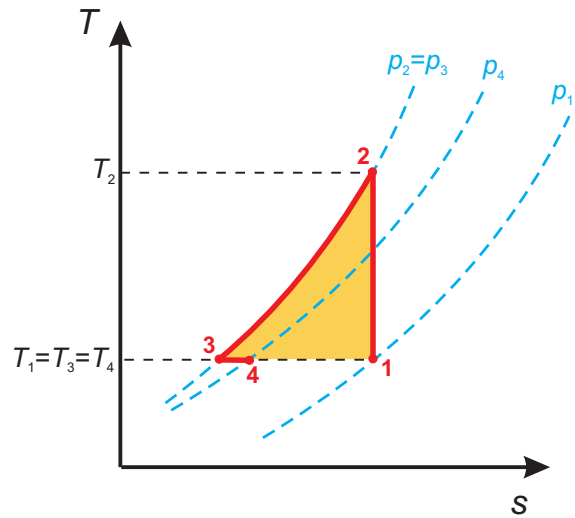
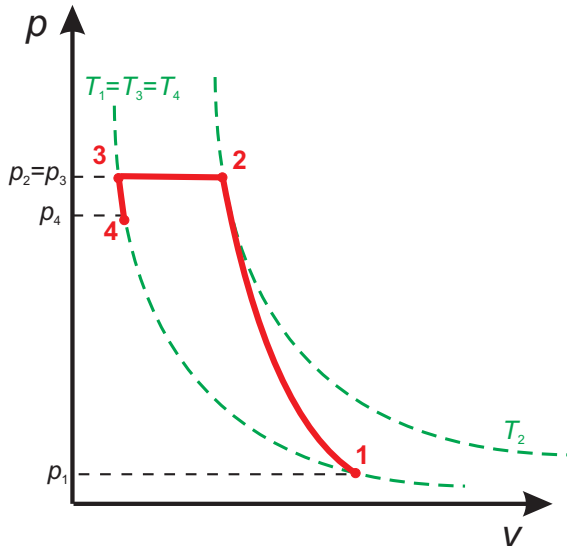


Musterlösung Aufgabe 1: «ideales Gas»

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 4 PUNKTE



II. TEILAUFGABE B) 3 PUNKTE

1 → 2: isentrope Verdichtung:

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

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

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{c_p - R} = \frac{1.007}{1.007 - 0.2871} = 1.399$$

$$R = \frac{R_m}{M} = \frac{8.314472 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}}{28.96 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = 287.1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$T_2 = (273.15 + 18) \cdot \left(\frac{3}{50}\right)^{\frac{1-1.399}{1.399}} = 649.52 \text{ K}$$

$$w_{t,12} = c_p \cdot (T_2 - T_1) = 1.007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (649.52 - (273.15 + 18)) \text{ K} = 360.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

III. TEILAUFGABE C) ⇒ 1 PUNKTE

$$q_{23} = c_p \cdot (T_3 - T_2) = 1.007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot ((273.15 + 18) - 649.52) \text{ K} = -360.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

IV. TEILAUFGABE D) ⇒ 2 PUNKTE

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad \text{mit} \quad \rho = \frac{p}{R \cdot T} \quad \text{und} \quad \dot{V} = \frac{V}{\tau}$$

$$\Rightarrow \dot{m} = \frac{p_4 \cdot V}{\tau \cdot R \cdot T_4} = \frac{45 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{60 \text{ s} \cdot 287.1 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot (273.15 + 18) \text{ K}} = 5.38 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

$$m = \dot{m} \cdot \tau = 5.38 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 60 \text{ s} = 322.8 \text{ g}$$

$$P_{12} = \dot{m} \cdot w_{t,12} = 5.38 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 360.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.9415 \text{ kW}$$

V. TEILAUFGABE E) ⇒ 2 PUNKTE

1 → 2*: isotherme Verdichtung:

$$P_{12*} = \dot{m} \cdot w_{t,12*} = \dot{m} \cdot \int_1^2 v dp = \dot{m} \cdot \int_1^2 \frac{R \cdot T}{p} dp = \dot{m} \cdot R \cdot T_1 \int_1^2 \frac{dp}{p} = \dot{m} \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$P_{12*} = 5.38 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 287.1 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot (273.15 + 18) \text{ K} \cdot \ln\left(\frac{50}{3}\right) = 1.27 \text{ kW}$$

VI. TEILAUFGABE F) ⇒ 3 PUNKTE

$$\dot{E}_V = \dot{m} \cdot [\Delta h_{23} - T_a \cdot \Delta s_{23}] = \dot{m} \cdot \left[c_p \cdot (T_3 - T_2) - T_a \cdot c_p \cdot \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \right]$$

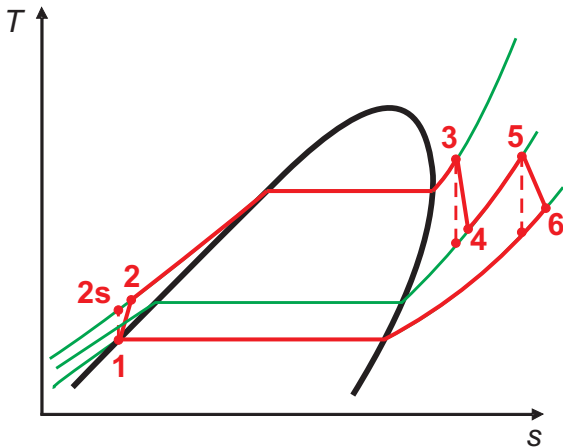
$$\dot{E}_V = 5.38 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \left[1.007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (273.15 + 18 - 649.52) - (273.15 + 18) \cdot 1.007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot \ln\left(\frac{273.15 + 18}{649.52}\right) \right]$$

$$\dot{E}_V = -0.676 \text{ kW}$$

Fläche: s. a) T,s-Diagramm

Musterlösung Aufgabe 2: «Kreisprozess, 18 Punkte»

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 3 PUNKTE



II. TEILAUFGABE B) ⇒ 2 PUNKTE

$$t_1 = 30^\circ\text{C}, p_1 = 0.10917 \text{ MPa}, h_1 = h'(30^\circ\text{C}) = 4.99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$p_2 = 0.9 \text{ MPa}, \eta_{s,12} = 0.7$$

$$s_{2s} = s_1 = 0.0165 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \Rightarrow h_{2s} = 6.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{s,12} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \Rightarrow h_2 = \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{s,12}} + h_1 = \frac{6.29 - 4.99}{0.7} + 4.99 = 6.847 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_{12} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) = 15 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (6.847 - 4.99) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 27.855 \text{ kW}$$

III. TEILAUFGABE C) ⇒ 3 PUNKTE

$$t_3 = 111^\circ\text{C}, p_3 = 0.9 \text{ MPa} \Rightarrow h_3 = 472.90 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m} \cdot (h_3 - h_2) = 15 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (472.90 - 6.847) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 6.99 \text{ MW}$$

$$\frac{p_3}{p_4} = 3 \Rightarrow p_4 = \frac{0.9}{3} = 0.3 \text{ MPa}$$

$$s_3 = s_{4s} = 1.2950 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \Rightarrow h_{4s} = h(0.3 \text{ MPa}, 1.2950 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}) = 432.31 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{s,34} = \frac{h_4 - h_3}{h_{4s} - h_3} \Rightarrow h_4 = \eta_{s,34} \cdot (h_{4s} - h_3) + h_3 = 0.8 \cdot (432.31 - 472.90) + 472.90 = 440.428 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$t_5 = 111^\circ\text{C}, p_5 = p_4 = 0.3 \text{ MPa} \Rightarrow h_5 = 494.49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{45} = \dot{m} \cdot (h_5 - h_4) = 810.93 \text{ kW}$$

IV. TEILAUFGABE D) ⇒ 2 PUNKTE

$$P_{34} = \dot{m} \cdot (h_4 - h_3) = -487.08 \text{ kW}$$

$$P_{56} = \dot{m} \cdot (h_6 - h_5)$$

$$p_6 = p_1 = 0.10917 \text{ MPa}$$

$$s_5 = s_{6s} = 1.4635 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \Rightarrow h_{6s} = 452.81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{s,56} = \frac{h_6 - h_5}{h_{6s} - h_5} \Rightarrow h_6 = \eta_{s,56} \cdot (h_6 - h_5) + h_5 = 461.146 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_{56} = \dot{m} \cdot (h_6 - h_5) = -500.16 \text{ kW}$$

V. TEILAUFGABE E) 2 PUNKTE

$$\eta_{th} = \frac{|P_{Nutz}|}{\dot{Q}_{23} + \dot{Q}_{45}} = \frac{|P_{12} + P_{34} + P_{56}|}{\dot{Q}_{23} + \dot{Q}_{45}} = \frac{|27.855 - 487.08 - 500.16| \text{ kW}}{6.99 \text{ MW} + 810.93 \text{ kW}} = \frac{|-959.385|}{7800.93} = 12.3 \%$$

VI. TEILAUFGABE F) ⇒ 3 PUNKTE

$$\eta_{ex} = \frac{|P_{Nutz}|}{\dot{E}_{23} + \dot{E}_{45}}$$

$$\dot{E}_{23} = \left(1 - \frac{T_a}{T_{m,23}}\right) \cdot \dot{Q}_{23} = \dot{m} \cdot [h_3 - h_2 - T_a \cdot (s_3 - s_2)]$$

$$\dot{E}_{45} = \left(1 - \frac{T_a}{T_{m,45}}\right) \cdot \dot{Q}_{45} = \dot{m} \cdot [h_5 - h_4 - T_a \cdot (s_5 - s_4)]$$

$$s_3 = 1.2950 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}, s_5 = 1.4635 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\text{Interpolation bei } p_2 = 0.9 \text{ bar und } h_2 = 6.847 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} :$$

$$s_2 = 0.0165 + (0.0187 - 0.0165) \cdot \frac{6.847 - 6.29}{7.92 - 6.29} = 0.01725 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\text{Interpolation bei } p_4 = 0.3 \text{ bar und } h_4 = 440.428 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} :$$

$$s_4 = 1.2950 + (1.3474 - 1.2950) \cdot \frac{440.428 - 432.31}{451.09 - 432.31} = 1.31765 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{|P_{Nutz}|}{\dot{m} \cdot (h_3 - h_2 - T_a(s_3 - s_4) + h_5 + h_4 - T_a(s_5 - s_4))} = 58.2 \%$$

VII. TEILAUFGABE G) ⇒ 3 PUNKTE

Bei den vorgegebenen Temperaturverhältnissen ist der Prozess der Anlage A besser ausgelegt, da $\eta_{ex,A} > \eta_{ex,B}$ ist. Der thermische Wirkungsgrad der Anlage B ist grösser, da auch das Temperaturverhältnis der Anlage höher ist.

Musterlösung Aufgabe 3:

I. TEILAUFGABE A) ⇒ 1 PUNKT

$$p_1 = p_s(T = 20^\circ\text{C}) = 5,917 \text{ bar}$$

II. TEILAUFGABE B) ⇒ 3 PUNKTE

$$\dot{m} = 40 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow m_{1,\text{ges}} = \dot{m} \cdot \tau = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 19 \text{ min} = 45,6 \text{ kg}$$

$$\rho_1 = \frac{m_{1,\text{ges}}}{V_{\text{ges}}} = \frac{45,6 \text{ kg}}{0,05 \text{ m}^3} = 912 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$x_1 = \frac{1/\rho_1 - 1/\rho'(20^\circ\text{C})}{1/\rho''(20^\circ\text{C}) - 1/\rho'(20^\circ\text{C})} = 0,006606$$

$$V_{1,\text{fl}} = \frac{m_{1,\text{fl}}}{\rho'(20^\circ\text{C})} = \frac{(1 - x_1) \cdot m_{1,\text{ges}}}{\rho'(20^\circ\text{C})} = 0,04081 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Halbkugel}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{6} \cdot (0,3 \text{ m})^3 = 0,007069 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{zyl,fl}} = V_{1,\text{fl}} - V_{\text{Halbkugel}} = 0,033741 \text{ m}^3 \Rightarrow H_{\text{zyl,fl}} = \frac{V_{\text{zyl,fl}}}{A_{\text{zyl}}} = \frac{0,033741 \text{ m}^3}{\pi/4 \cdot (0,3 \text{ m})^2} = 0,4774 \text{ m}$$

$$\boxed{h} = \frac{d}{2} + H_{\text{zyl,fl}} = \frac{0,3 \text{ m}}{2} + 0,4774 \text{ m} = \boxed{0,6274 \text{ m}}$$

III. TEILAUFGABE C) ⇒ 5 PUNKTE

$$p_2 = p_s(T = 45^\circ\text{C}) = 11,538 \text{ bar} = 0,1154 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

⇒ Der Behälter hält dem Druck stand!

Kein Dampf ⇒ $\rho' = \rho_1$

Interpolation bei $\rho' = \rho_1$:

$$\boxed{T_{\text{max}}} = 65^\circ\text{C} + \frac{\rho_1 - \rho'(65^\circ\text{C})}{\rho'(70^\circ\text{C}) - \rho'(65^\circ\text{C})} \cdot (70 - 65) \text{ K} = \boxed{65,284^\circ\text{C}}$$

$$\boxed{p_{\text{max}}} = p_s(65^\circ\text{C}) + \frac{T_{\text{max}} - 65^\circ\text{C}}{70^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}} \cdot (p_s(70^\circ\text{C}) - p_s(65^\circ\text{C})) = \boxed{18,463 \text{ bar}}$$

Das R1234yf liegt jetzt komplett flüssig vor. Bei weiterem Druckanstieg würde der Druck überproportional zunehmen!

IV. TEILAUFGABE D) ⇒ 6 PUNKTE

Zustand 3: vor der Entnahme bei 30°C

Zustand 4: nach der Entnahme bei 30°C

$$\dot{m}_{\text{entnahme}} = 7,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,0020833 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \Delta m_{34} = \tau \cdot \dot{m}_{\text{entnahme}} = 5 \text{ h} \cdot 7,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 37,5 \text{ kg}$$

$$m_{4,\text{ges}} = m_{1,\text{ges}} - \Delta m_{34} = 8,1 \text{ kg}$$

$$\rho_4 = \frac{m_{4,\text{ges}}}{V_{\text{ges}}} = 162 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$x_4 = \frac{1/162 - 1/\rho'(30^\circ\text{C})}{1/\rho''(30^\circ\text{C}) - 1/\rho'(30^\circ\text{C})} = 0,2389$$

$$\Rightarrow m_{4,\text{gas,Flasche}} = x_4 \cdot m_{4,\text{ges}} = 1,9353 \text{ kg}$$

$$\boxed{m_{4,\text{fl}}} = (1 - x_4) \cdot m_{4,\text{ges}} = \boxed{6,1647 \text{ kg}}$$

$$m_{4,\text{gas}} = m_{4,\text{gas,Flasche}} + \Delta m_{34} = 39,4353 \text{ kg}$$

$$\rho_3 = \rho_1 = 912 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow x_3 = \frac{1/\rho_3 - 1/\rho'(30^\circ\text{C})}{1/\rho''(30^\circ\text{C}) - 1/\rho'(30^\circ\text{C})} = 0,00751$$

$$H_3 = m_{1,\text{ges}} \cdot (x_3 \cdot h''(30^\circ\text{C}) + (1 - x_3) \cdot h'(30^\circ\text{C})) = 3563,66 \text{ kJ}$$

$$H_4 = h''(30^\circ\text{C}) \cdot m_{4,\text{gas}} + h'(30^\circ\text{C}) \cdot m_{4,\text{fl}} = 9085,03 \text{ kJ}$$

$$\Rightarrow \boxed{\dot{Q}_{34}} = \Delta H_{34} = \boxed{5521,37 \text{ kW}}$$

V. TEILAUFGABE E) ⇒ 2 PUNKTE

