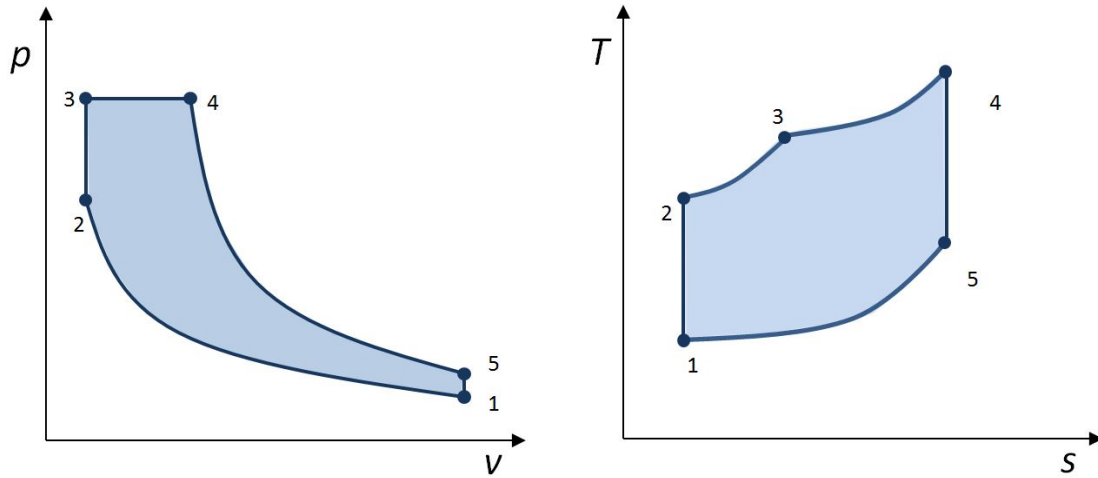


Musterlösung Aufgabe 1: «Dieselmotor, Ideales Gas»

Teilaufgabe a) ⇒ 5 Punkte



Teilaufgabe b) ⇒ 3 Punkte

$$w_{Nutz} = \sum w^v = \sum w^t = \sum q$$

Teilaufgabe c) ⇒ 12 Punkte

$$w_{Nutz} = \sum w^v = \sum w^t = \sum q$$

$$w_{Nutz} = w_{12}^v + w_{34}^v + w_{45}^v = c_v(T_2 - T_1) - R(T_4 - T_3) + c_v(T_5 - T_4)$$

$$w_{Nutz} = w_{12}^t + w_{23}^t + w_{45}^t + w_{51}^t = c_p(T_2 - T_1) + R(T_3 - T_2) + c_p(T_5 - T_4) + R(T_1 - T_5)$$

$$w_{Nutz} = q_{23} + q_{34} + q_{51} = c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3) + c_v(T_1 - T_5)$$

$$\text{Stoffdaten: } R = \frac{R_m}{M} = \frac{8,31446 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol K}}}{28,965 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0,2871 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$c_v = c_p - R = 0,8209 \text{ kJ/kgK} \quad ; \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v} = 1,3497$$

Isentrope Kompression von Umgebungszustand auf $v_2 = v_1/18$.

$$T_2 = T_1 \cdot (v_1/v_2)^{(\kappa-1)} = 300 \text{ K} \cdot 18^{(1,3497-1)} = 824,217 \text{ K}$$

$$p_2 = p_1 \cdot (v_1/v_2)^\kappa = 0,1 \text{ MPa} \cdot 18^{1,3497} = 4,945 \text{ MPa}$$

Isochore Verbrennung auf $p_3 = 1,2 \cdot p_2 = 5,934 \text{ MPa}$.

$$T_3 = T_2(p_3/p_2) = 989,06 \text{ K}$$

$$q_{23} = c_v(T_3 - T_2) = 135,328 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Wärmezufuhr } q_{zu} = q_{23} + q_{34} = 1000 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow q_{34} = q_{zu} - q_{23} = 864,672 \text{ kJ/kg} = c_p(T_4 - T_3)$$

$$\Rightarrow T_4 = 1769,45 \text{ K}$$

$$(v_4/v_3) = (T_4/T_3) = 1,78902$$

Isentrope Expansion bis $v_5 = v_1$.

$$T_5 = T_4 \cdot (v_4/v_5)^{(\kappa-1)} = 789,311 \text{ K} \quad \text{mit: } (v_4/v_5) = \frac{v_4/v_3}{v_1/v_2}$$

$$\Rightarrow w_{Nutz} = 598,3 \text{ kJ/kg}$$

Teilaufgabe d) \Rightarrow 3 Punkte

$$\eta_{th} = \frac{w_{Nutz}}{p_{zu}} = 59,83 \%$$

Teilaufgabe e) \Rightarrow 3 Punkte

Vom Motor angesaugte Masse Luft pro Arbeitstakt:

$$m_L = V \cdot \rho = 6 \cdot 0,00177 \text{ m}^3 \frac{0,1 \text{ MPa}}{0,2871 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} 300 \text{ K}} = 0,01233 \text{ kg}$$

$$P = m \cdot w_{Nutz} \cdot N = -116,824 \text{ kW} \quad \text{mit } N = \frac{n}{2 \cdot 60} = \frac{1900}{2 \cdot 60} \frac{\text{Arbeitstakte}}{\text{s}}$$

Teilaufgabe f) \Rightarrow 3 Punkte

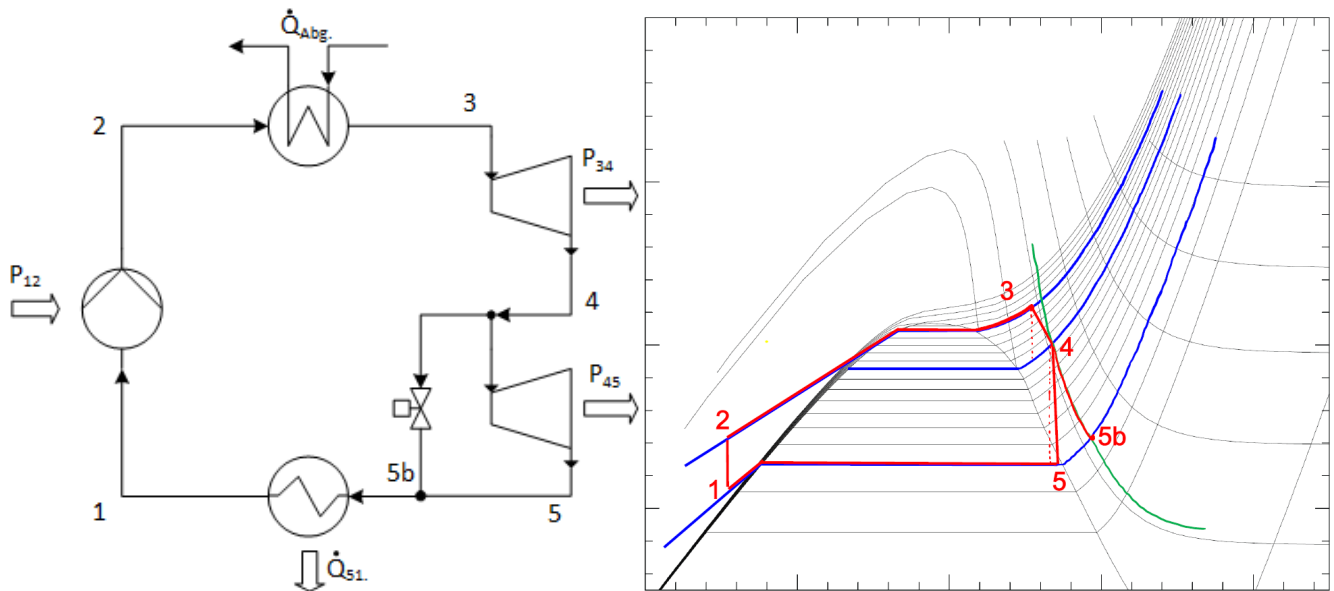
Reibungsverluste, Wärmeverluste, Verluste bei Ladungswechsel, nicht verbrannter Brennstoff, ...

Musterlösung Aufgabe 2: «ORC-Prozess mit Methanol»

Teilaufgabe a) ⇒ 10 Punkte

Anlagenschema

T, s-Diagramm



Teilaufgabe b) ⇒ 3 Punkte

$$\dot{Q}_{Abgas} = \dot{m}_{Abgas} \cdot c_p \cdot (T_{aus} - T_{ein}) = 0,25 \frac{kg}{s} \cdot 1,066 \frac{kJ}{kgK} \cdot (350 - 110) = 63,96 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{orc,zu} = -\dot{Q}_{Abgas} = \dot{m}_{orc}(h_3 - h_2) \quad (h_3 \text{ aus Tabelle ablesen, } h_2 \text{ vorgegeben})$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{orc} = \frac{\dot{Q}_{Abgas}}{h_3 - h_2} = \frac{63,96 \text{ kW}}{(1427 - (-77,14)) \frac{kJ}{kg}} = 0,04251 \frac{kg}{s}$$

Teilaufgabe c) ⇒ 8 Punkte

$$P_{Nutz} = \dot{m} \cdot w_{Nutz}^t$$

$$w_{Nutz} = w_{12} + w_{34} + w_{45} \quad \text{Pumpe und beide Turbinen sind adiabat}$$

$$w_{Nutz} = (h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) + (h_5 - h_4)$$

h_1 und h_3 ablesen aus Tabelle, h_2 vorgegeben

$$s_{4s} = s_3 \quad \rightarrow \text{Interpolation von } h_{4s}$$

$$h_{4s} = 1401,47 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_{s,T} = \frac{h_{4,s} - h_3}{h_4 - h_3} \Rightarrow h_4 = 1404,05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Zustand 5 im NDG bei 40 °C mit: $x = 0,99 \Rightarrow h_5 = h' + x(h'' - h')$

$$h_5 = 1066,78 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow P_{Nutz} = 15,21 \text{ kW}$$

$$\eta_{th} = \frac{P_{Nutz}}{\dot{Q}_{zu}} = 23,8 \%$$

Teilaufgabe d) \Rightarrow 1 Punkte

Ergänzung im T, s -Diagramm

Teilaufgabe e) \Rightarrow 5 Punkte

$$\eta_{ex} = \frac{P_{Nutz}}{\dot{E}_{zu}}$$

$$P_{Nutz} = \dot{m}_{orc} \cdot (w_{12} + w_{34}) + 0,5 \cdot \dot{m}_{orc} \cdot w_{45} = 8,05 \text{ kW}$$

$$\dot{E}_{zu} = \left(1 - \frac{T_a}{T_{m,23}}\right) \cdot \dot{Q}_{zu}$$

$$T_m = \frac{h_3 - h_2}{s_3 - s_2} = 427,39 \text{ K} \quad \text{mit } s_2 = s_1 = -0,24718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow \dot{E}_{zu} = 20,09 \text{ kW}$$

$$\Rightarrow \eta_{ex} = 40,07 \%$$

Musterlösung Aufgabe 3: «Stickstoff-Tank»

Teilaufgabe a) ⇒ 2 Punkte

$$T_1 = 77,35 \text{ K (abgelesen)}$$

$$p_2 = 230000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2,3 \text{ bar} = 0,23 \text{ MPa}$$

$$T_2 = 85,05 \text{ K (abgelesen)}$$

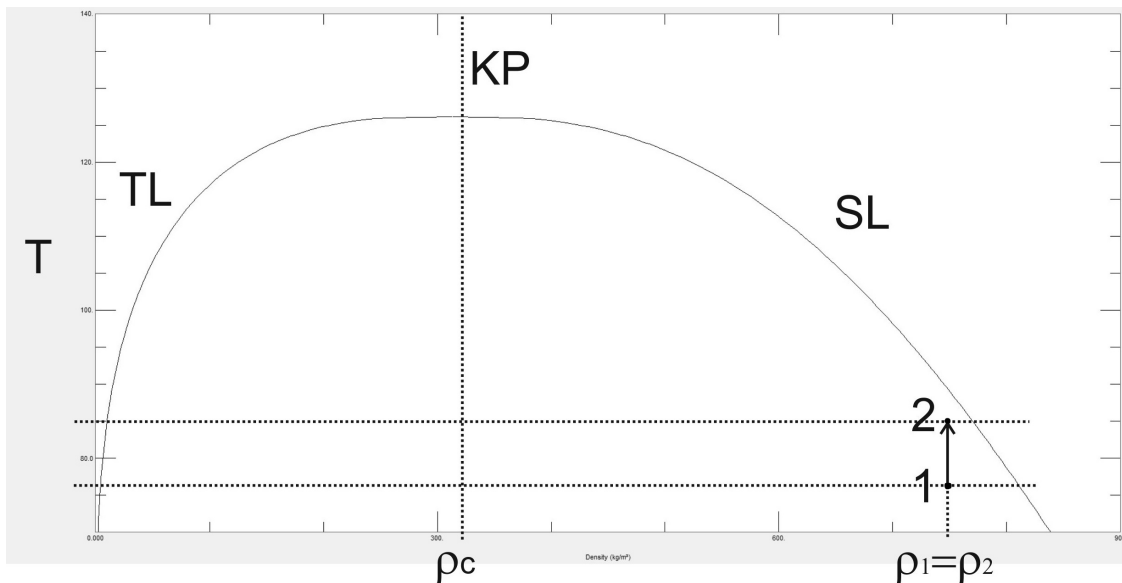
Teilaufgabe b) ⇒ 4 Punkte

$$\omega_1 = \frac{\rho_1 - \rho'}{\rho'' - \rho'} \Rightarrow \rho_1 = \omega_1 \cdot (\rho'' - \rho') + \rho'$$

$$\rho_1 = 0,08 \cdot (4,61 - 806,09) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 806,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 741,97 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_1 = \rho_1 \cdot V_1 = 741,97 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 36,5 \text{ m}^3 = 27081,96 \text{ kg}$$

Teilaufgabe c) ⇒ 5 Punkte



Die Phasengrenze verschiebt sich nach oben, da $\rho_1 = \rho_2 > \rho_c$ und somit bei einem weiteren isochoren Temperaturanstieg ein Zustand auf der Siedelinie erreicht würde, also nur noch Flüssigkeit im Tank vorläge.

Teilaufgabe d) ⇒ 7 Punkte

$$Q = m \cdot \Delta u_{12}$$

$$u_1 = \frac{\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_1'}}{\frac{1}{\rho_1'} - \frac{1}{\rho_1}} \cdot (u_1'' - u_1') + u_1' = \frac{\frac{1}{741,97} - \frac{1}{806,09}}{\frac{1}{4,61} - \frac{1}{806,09}} \cdot (55,19 - (-122,15)) \frac{kJ}{kg} + (-122,15) \frac{kJ}{kg} = -122,06 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_2 = \frac{\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_2'}}{\frac{1}{\rho_2'} - \frac{1}{\rho_2}} \cdot (u_2'' - u_2') + u_2' = \frac{\frac{1}{741,97} - \frac{1}{769,88}}{\frac{1}{9,87} - \frac{1}{769,88}} \cdot (59,08 - (-106,35)) \frac{kJ}{kg} + (-106,35) \frac{kJ}{kg} = -106,27 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q = 27081,96 \text{ kg} \cdot (-106,27 - (-122,062)) \frac{kJ}{kg} = 427700,4 \text{ kJ}$$

$$\dot{Q} = 25 \text{ kW} = 25 \frac{kJ}{s}$$

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{427700,4 \text{ kJ}}{25 \frac{kJ}{s}} = 17108 \text{ s} \approx 4 \text{ h } 45 \text{ min}$$

Teilaufgabe e) \Rightarrow 6 Punkte

$$\rho_{VB, A} = \omega_{VB, A} \cdot (\rho_A'' - \rho_A') + \rho_A' = \frac{6,5 \text{ m}^3}{7 \text{ m}^3} \cdot (9,87 - 769,88) \frac{kg}{m^3} + 769,88 \frac{kg}{m^3} = 64,16 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{VB, B} = \omega_{VB, B} \cdot (\rho_B'' - \rho_B') + \rho_B' = \frac{0,75 \text{ m}^3}{7 \text{ m}^3} \cdot (9,87 - 769,88) \frac{kg}{m^3} + 769,88 \frac{kg}{m^3} = 688,45 \frac{kg}{m^3}$$

$$\Delta m_{AB} = V_{VB} \cdot (\rho_{VB, B} - \rho_{VB, A}) = 7 \text{ m}^3 \cdot (688,45 - 64,16) \frac{kg}{m^3} = 4370,06 \text{ kg}$$

$$\Delta V' = \frac{\Delta m_{AB}}{\rho'} = \frac{4370,06 \text{ kg}}{769,88 \frac{kg}{m^3}} = 5,676 \text{ m}^3 = 5676 \text{ l}$$