

Aufgabe 1 (10 Punkte):

a) *Molenstrom von Sauerstoff*

Ideales Gas:

$$pV = n\mathcal{R}T \Rightarrow p\dot{V} = \dot{n}\mathcal{R}T$$

$$\text{hier: } \dot{n} = \frac{p_1 \dot{V}_1}{T_1 \mathcal{R}}$$

$$\text{Zahlenwert: } \dot{n} = \frac{10^5 \text{ N/m}^2}{298 \text{ K} \cdot 8,3144 \cdot 10^3 \text{ J/(kmol K)}} \frac{80 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 0,896 \text{ mol/s}$$

b) *Änderung des Enthalpiestrom unter der Annahme eines idealen Gases*

$$\begin{aligned} h_{2m} - h_{1m} &= c_{pm}(T_2 - T_1) = c_{pm}(\vartheta_2 - \vartheta_1) \\ &= \frac{\kappa}{\kappa - 1} \mathcal{R}(\vartheta_2 - \vartheta_1) \end{aligned}$$

$$\text{Zahlenwert: } h_{2m} - h_{1m} = \frac{1,4}{0,4} \cdot 8,3144 \cdot 125 \text{ J/mol} = 3637,6 \text{ J/mol}$$

c) *Änderung des Enthalpiestrom für reales Gas*

$$\begin{aligned} h_{2m} - h_{1m} &= h_{2m} - h_{25^\circ\text{C}} - (h_{1m} - h_{25^\circ\text{C}}) \\ &= (3,029 + 23 \cdot \frac{6,088 - 3,029}{100}) \text{ kJ/mol} = 3732,8 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

d) *Zuzuführender Wärmestrom*

1. Hauptsatz für stationärer Fließprozess

$$\begin{aligned} H_2 - H_1 + \cancel{E_{\text{kin}_2}} - \cancel{E_{\text{kin}_1}} + \cancel{E_{\text{pot}_2}} - \cancel{E_{\text{pot}_1}} &= \dot{Q}_{12} + \cancel{W_{12}} \\ \dot{Q}_{12} &= \dot{n}(h_{m_2} - h_{m_1}) \end{aligned}$$

Zahlenwerte:

$$\dot{Q}_{12} = 0,896 \cdot 3637,6 \text{ J/s} = 3260 \text{ J/s} \quad \text{ideales Gas}$$

$$\dot{Q}_{12} = 0,896 \cdot 3732,8 \text{ J/s} = 3340 \text{ J/s} \quad \text{reales Gas}$$

Aufgabe 2 (30 Punkte):

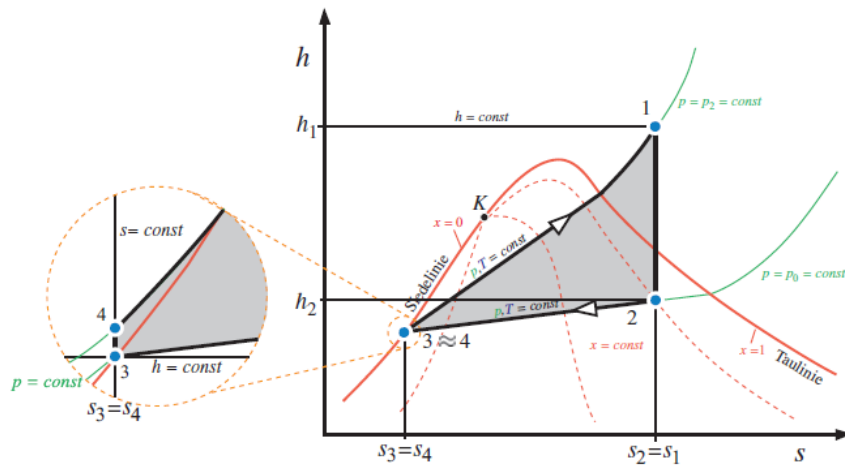
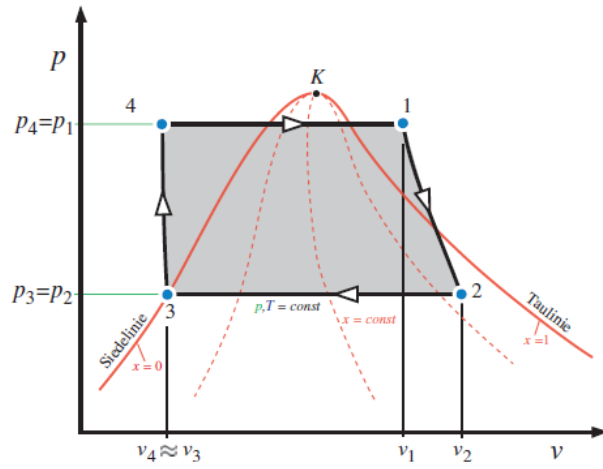
a) Skizze im p, v und h, s -Diagramm

1 - 2 Isentrope

2 - 3 Isobare

3 - 4 Isentrope

4 - 1 Isobare



b) Abgegebene Turbinenleistung

$$\begin{aligned} \overset{0}{q}_{12} + w_{12}^t &= h_2 - h_1 + \underbrace{\frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2)}_{\Delta \overset{0}{\phi}_{kin}} + \underbrace{g(z_2 - z_1)}_{\Delta \overset{0}{\phi}_{pot}} \\ \Rightarrow w_{12}^t &= h_2 - h_1 \\ \Rightarrow P_{12}^t &= \dot{m}_D w_{12}^t = \dot{m}_D (h_2 - h_1) \end{aligned}$$

Zustandspunkt 1: überhitzter Dampf, Tabelle A1.3 aus Lucas $h_1 = h(p_1, \vartheta_1)$ ablesbar

Zustandspunkt 2: Nassdampf, Tabelle A1.2 aus Lucas

Dazu:

Masse Wasser:	m'
Masse Wasserdampf:	m''
Definition Dampfgehalt:	$x = \frac{m''}{m' + m''}$
Enthalpie im Zweiphasengebiet (Punkt 2):	$h_2 = (1 - x_2) h'(p_2) + x_2 h''(p_2)$

Zahlenwerte:

$$h_1 \text{ laut Tabelle : } h_1 = h(550 \text{ °C}, 17,5 \text{ MPa}) = 3421,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h'(0,01 \text{ MPa}) = 191,83 \text{ kJ/kg}$$

$$h''(0,01 \text{ MPa}) = 2584,7 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = (1 - x_2)h' + x_2 h'' = 2242,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow w_{12}^t = (2242,5 - 3421,4) \text{ kJ/kg} = -1178,9 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{typischer Massenstrom : } \dot{m}_D = 50 \text{ kg/s}$$

$$\Rightarrow P_{12}^t = 58,945 \text{ MW}$$

c) Im Kondensator abgeführter Wärmestrom und Kühlwasserstrom

$$\dot{Q}_{56} = \dot{m}_K (h_6 - h_5) = \dot{m}_K c_w (\vartheta_6 - \vartheta_5) = -\dot{Q}_{23}$$

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_D q_{23}, \quad q_{23} = h_3 - h_2 - w_{23}^0$$

$$\Rightarrow \dot{m}_K = -\frac{\dot{m}_D (h_3 - h_2)}{c_w (\vartheta_6 - \vartheta_5)}$$

Zustand 3: siedende Flüssigkeit mit $\vartheta_3 = \vartheta_2$, $p_3 = p_2 \Rightarrow h_3 = h'(p_2)$

Zahlenwerte:

$$h_3 = h'(0,01 \text{ MPa}) = 191,83 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow q_{23} = (191,83 - 2242,5) \text{ kJ/kg} = -2050,67 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{23} = -102,534 \text{ MW}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_K = \frac{102,534 \text{ MW}}{4,18 \text{ kJ/(kgK)} \cdot 20 \text{ K}} = 1226,5 \text{ kg/s}$$

d) Wärmestrom am Dampferzeuger

$$q_{41} + w_{41}^0 = h_1 - h_4$$

$$\dot{Q}_{14} = \dot{m}_D q_{41} = \dot{m}_D (h_1 - h_4)$$

Enthalpie h_4 aus Energiebilanz an der Speisewasserpumpe:

$$q_{34}^0 + w_{34}^t = h_4 - h_3$$

$$\Rightarrow h_4 = w_{34}^t + h_3$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{14} = \dot{m}_D q_{41} = \dot{m}_D (h_1 - (w_{34}^t + h_3))$$

Zahlenwerte:

$$h_4 = 18 \text{ kJ/kg} + 191,83 \text{ kJ/kg} = 209,83 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{41} = (3421,4 - 209,83) \text{ kJ/kg} = 3211,57 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{41} = 160,579 \text{ MW}$$

e) Thermischer Wirkungsgrad

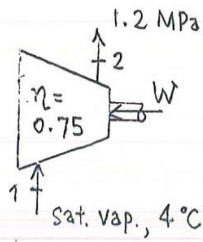
$$\eta_{th} = \frac{-(w_{12}^t + w_{34}^t)}{q_{41}}$$

Zahlenwert:

$$\eta_{th} = \frac{-(-1178,9 \text{ kJ/kg} + 18 \text{ kJ/kg})}{3211,57 \text{ kJ/kg}} = 36,15 \%$$

Aufgabe 3 (20 Punkte):

1 Compressor, R-134a.



Inlet state: $h_1 = 249.53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$s_1 = 0.9169 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

Exit (isen): $s_{2s} = s_1 \Rightarrow h_{2s} = 275.52 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$\eta = \frac{h_{2s} - h_1}{W} \Rightarrow W = \frac{(275.52 - 249.53) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{0.75}$$

$$= \frac{25.99}{0.75} = 34.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = 249.53 + 34.65 = \boxed{284.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

Linear interpolation: $T_2 = 50 + \frac{284.18 - 275.52}{287.44 - 275.52} (60 - 50)$

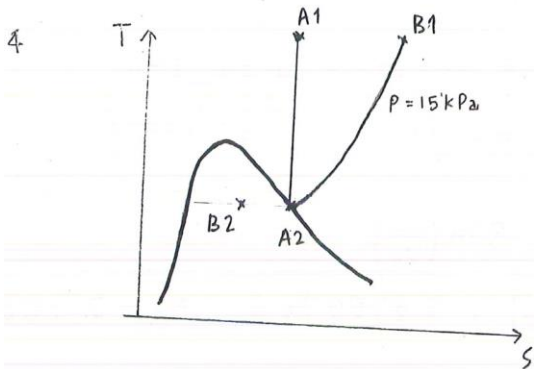
50°C 275.52

T_2 h_2

60°C 287.44

$$T_2 = 57.3^\circ\text{C} = \boxed{330.4 \text{ K}}$$

Aufgabe 4 (30 Punkte):



Tank A (initial):

$$u_{A1} = 3842.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_{A1} = 0.11965 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow m_{A1} = \frac{V_A}{v_{A1}} = \frac{0.1 \text{ m}^3}{0.11965 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.8358 \text{ kg}$$

Expansion process in tank A is isentropic.

$$s_{A2} = s_{A1} = 8.0091 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$P_{A2} = 15 \text{ kPa}$$

$$T_{A2} = 54.0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$u_{A2} = 2448.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_{A2} = 10.02 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow m_{A2} = \frac{0.1 \text{ m}^3}{10.02 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.0100 \text{ kg}$$

$$[m]: \quad m_{B2} = m_{A1} - m_{A2} = 0.8348 \text{ kg}$$

$$[E]: \quad \Delta U = -E_{\text{loss}}$$

$$m_{A2} u_{A2} - m_{A1} u_{A1} + m_{B2} u_{B2} = -E_{\text{loss}}$$

$$0.01 \times 2448.7 - 0.8358 \times 3842.2 + 0.8348 u_{B2} = -2000 \text{ kJ}$$

$$u_{B2} = 1437.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow \text{At } P_{B2} = 15 \text{ kPa}$$

$$\text{quality } x_{B2} = \frac{1437.2 - 225.92}{2448.7 - 225.92} = 0.545$$

$$v_{B2} = v_f + x_{B2} v_{fg} = 1.014 \times 10^{-3} + 0.545 \times (10.02 - 1.014 \times 10^{-3})$$

$$5.46 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \Rightarrow v_{B2} = v_{B2} \times m_{B2} = 4.54 \text{ m}^3$$

$$W_{out} = \int P dV = P_B V_{B2} = 15 \text{ kPa} \times 4.50 \text{ m}^3 \times \frac{\text{kJ/m}^3}{\text{kPa}}$$

$$= 67.6 \text{ kJ}$$

$$\Rightarrow Q_{out} = E_{loss} - W_{out} = 2000 - 68 = 1932 \text{ kJ}$$

$$[S]: \quad \Delta S = - \int \frac{dQ_{out}}{T} + S_{gen}$$

$$S_{gen} = \frac{Q_{out}}{T_0} + m_{A2} S_{A2} - m_{A1} S_{A1} + m_{B2} S_{B2}$$

$$= \frac{1932 \text{ kJ}}{293 \text{ K}} + 0.8348 \text{ kg} \times (4.7081 - 8.0091) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 3.864 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\text{where } S_{B2} = S_f + X_{B2} S_{pg} = 0.7549 + 0.545 \times 7.2536$$

$$= 4.7081 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$