[redacted]

A 1)

a) $\dot{Q}_{aus}$?

1. HS um Wasser: $\cancel{\frac{dE}{dt}}^{0} = \dot{m}_{ein}(h_{ein} - h_{aus}) + \dot{Q}_R + \dot{Q}_{aus}$

$\Rightarrow \dot{Q}_{aus} = \dot{m}_{ein}(h_{aus} - h_{ein}) - \dot{Q}_R$

$h_{aus} = h(\text{Wasser}, 100°C, \text{ges. Fl.}) = 419.04 \frac{kJ}{kg}$ TAB A2

$h_{ein} = h(\text{Wasser}, 70°C, \text{ges. Fl.}) = 292.98 \frac{kJ}{kg}$ (TAB A2)

$\dot{Q}_{aus} = 0.3 \frac{kg}{s}\left(419.04 \frac{kJ}{kg} - 292.98 \frac{kJ}{kg}\right) - 100 kW$

$= -62.18\ kW$ (Vorzeichen negativ da nach außen)

b) Rechne mit $\dot{Q}_{aus} = 65\ kW$ weiter

$\bar{T}_{KF} = \frac{\int_e^a T ds}{s_a - s_e}$ $\quad T ds = dH + \cancel{p\,dV}^{0,\ \text{isobar}} \Rightarrow \frac{\int_e^a dH}{s_a - s_e} = \frac{h_a - h_e}{s_a - s_e}$

Stoffmodell ideale Fl: $h_a - h_e = c^{if}(T_a - T_e) + v\cancel{(p_2 - p_1)}^{0,\ \text{isobar}}$

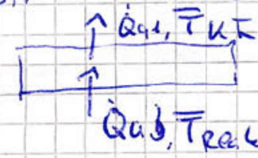
Stoffmodell ″ : $s_a - s_e = \int_{T_e}^{T_a} c^{if} \cdot \frac{1}{T} dt$

$= c^{if} \cdot \ln\left(\frac{T_a}{T_e}\right)$

$\Rightarrow \bar{T} = \frac{c^{if}(T_a - T_e)}{c^{if} \cdot \ln\left(\frac{T_a}{T_e}\right)} = \frac{(298.15 K - 288.15 K)}{\ln\left(\frac{298.15}{288.15}\right)} \rightarrow 293.121\ K$

c) $\dot{S}_{erz}$ im WÜ zw Reaktor und Kühlmittel.

im Modell fliesst keine Masse



Entropiebilanz im Modell: $\cancel{\frac{dS}{dt}}^{0,\ \text{stationär}} = \cancel{\dot{m}(s_e - s_a)} + \sum \frac{\dot{Q}_j}{\bar{T}_j} + \dot{S}_{erz}$

$\Rightarrow \dot{S}_{erz} = -\sum \frac{\dot{Q}_j}{\bar{T}_j} = -\left(\frac{\dot{Q}_{aus}}{\bar{T}_{Reaktor}} + \frac{(-\dot{Q}_{aus})}{\bar{T}_{KM}}\right) = -\left(\frac{65 kW}{373.15 K} + \frac{(-65 kW)}{293.12 K}\right) = 0.047 \frac{kW}{K}$

$\bar{T}_{Reaktor}$ = konstant 100°C = $T_{Reaktor,1}$ $\quad \dot{Q}_{aus}$ ist negativ da es rausfliesst

d) Δm_{12}, sodass $T_{R,2} = 70°C$ erreicht wird.

$T_{ein,12} = 20°C$ $\quad Q_{R,12} = 35\,MJ$

Energiebilanz halboffenes System:

$$\Delta E = m_2 u_2 - m_1 u_1 = \Delta m_{12} \cdot h_{ein} + \underbrace{\tilde{Q}_{R,12} - \tilde{Q}_{aus,12}}_{=0}$$

$m_2 = m_1 + \Delta m_{12}$, $\quad u_2 = u(70°C, \text{sied. fl})$ $\quad m_1 = m_{ges,1}$ $\quad u_1 = u(100°C, \text{sied. fl})$

$h_{ein} = h(20°C, \text{sd. fl})$

$$(m_1 + \Delta m_{12}) u_2 - m_1 u_1 = \Delta m_{12} \cdot h_{ein} + \cancel{\dot{Q}_{R,12}}$$

$$m_1 u_2 + \Delta m_{12} u_2 - m_1 u_1 = \Delta m_{12} h_{ein} + \cancel{\dot{Q}_{R,12}} \quad // -\Delta m_{12} h_{ein};\ + m_1(u_1 - u_2)$$

$$\Delta m_{12}(u_2 - h_{ein}) = m_1(u_1 - u_2) + \cancel{\dot{Q}_{R,12}}$$

$$\Delta m_{12} = \frac{m_1(u_1 - u_2)}{(u_2 - h_{ein})} + \cancel{\frac{\dot{Q}_{R,12}}{u_2 - h_{ein}}}$$

$u_1 = 418.94$ TAB A2, $u_2 = 292.95$ TAB A2 $\Big\}\ \frac{kJ}{kg}$

$h_{ein} = 83.96\ \frac{kJ}{kg}$

$$= \frac{5755\,kg \left(418.94\frac{kJ}{kg} - 292.95\frac{kJ}{kg}\right)}{292.95\frac{kJ}{kg} - 83.96\frac{kJ}{kg}} + \cancel{\frac{35'000\,kJ}{292.95\frac{kJ}{kg} - 83.96\frac{kJ}{kg}}}$$

$$= \underline{3469.41\,kg} + \cancel{167.47\,kg} = \cancel{3636.88}\,kg = \Delta m_{12} //$$

Annahme:

$\boxed{\tilde{\dot{Q}}_{R,12} = Q_{aus,12}\text{, d.h. der Wärmeterm fällt weg!}}$

e) ΔS_{12} $\quad$ S-Bil. halboffenes System:

$$\Delta S = m_2 s_2 - m_1 s_1 = \Delta m_{12} \cdot s_{ein} + \sum \frac{Q_j}{T}$$

$$\Delta S = m_2 s_2 - m_1 s_1 \Rightarrow (m_1 + \Delta m_{12}) \cdot s_2 - m_1 s_1$$

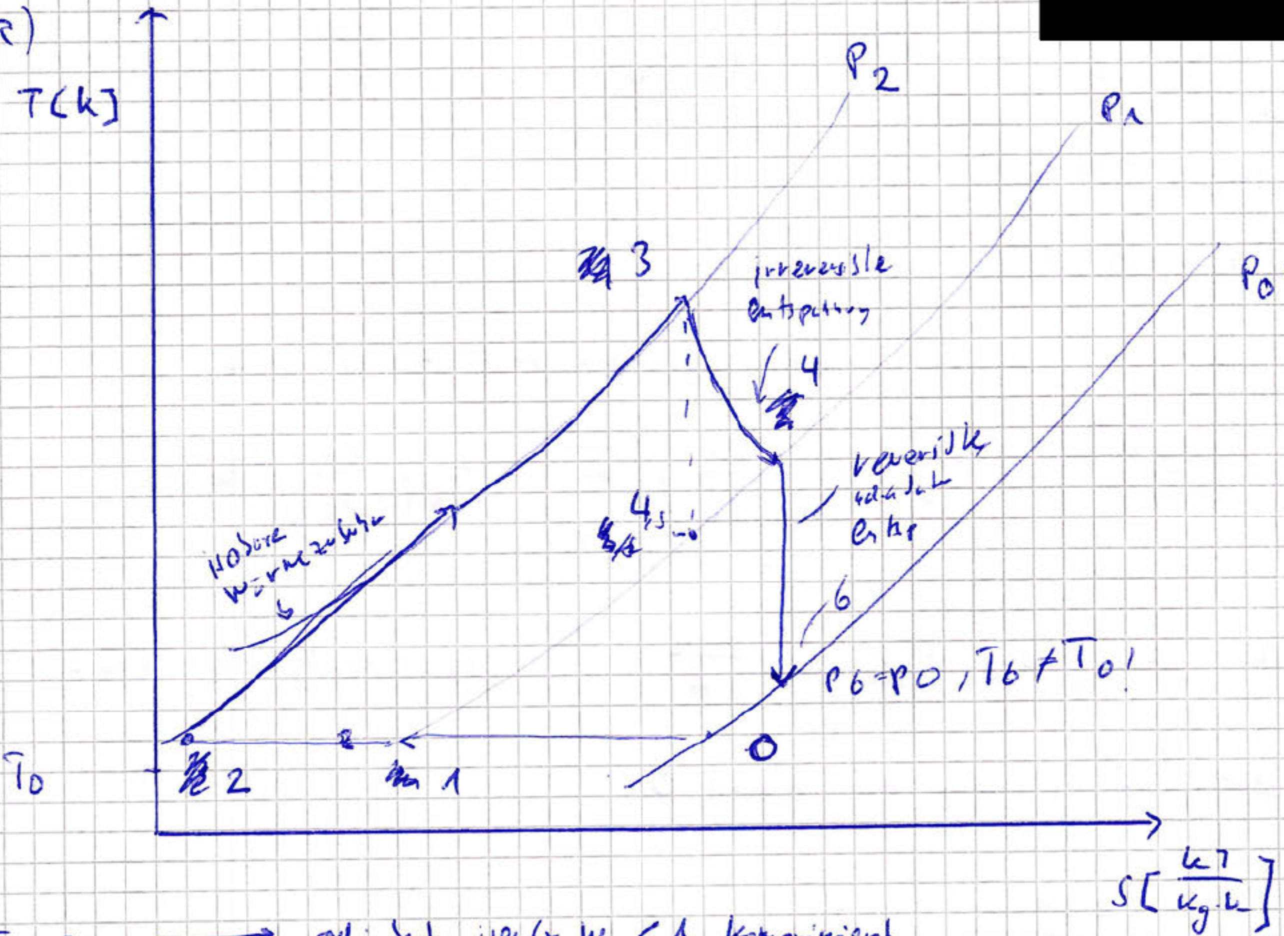
$s_2 = s(70°C, \text{sied. fl})$ $\quad s_1 = 100°C, \text{sied. fl}$

$s_2 = 0.9549\ \frac{kJ}{kgK}$, $s_1 = 1.3069\ \frac{kJ}{kgK}$ $\Big\}$ TAB A2

$$= (5755 + 3469.41) \cdot 0.9549 - 5755\,kg \cdot 1.3069 = 1289.48\,\frac{kJ}{K}$$

[redacted]

A2) a)



1: T_0, p_0 ⟶ adiabat, isentr. Wg < 1 komprimiert

2: $p_1 > p_0$ ⟶ $\dot{m}_M$ wird im Mischer zurückgeführt

⟶ $\dot{m}_K$ Hochdruckverd., Adiab., revers. → p_2, T_2

2 → 3: Brennkammer, isobare Wärmezuf.

3 → 4: Adiabat, irreversible Turbine, $\eta < 1$

5: nach Mischkammer: T_5, w_5, p_5

5 → 6: reversible adiabate Schubdüse → p_0, nicht T_0!

5) ω_6, T_6 am austritt $\quad p_6 = p_0$

$\omega_5 = 220 \frac{m}{s}$

Schubdüse ist adiabat und reversibel.

Da adiabat → wende isentropengl. an mit $k = \kappa = 1.4$

$$\frac{T_6}{T_5} = \left(\frac{p_6}{p_5}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_6 = T_5 \left(\frac{p_6}{p_5}\right)^{\frac{k-1}{k}} = T_5 \left(\frac{p_0}{p_5}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

Mit $\dot{m} = \rho A \omega \Rightarrow \omega = \frac{\dot{m}}{\rho A} \quad \Rightarrow \omega_6 = 510 \frac{m}{s} \quad T_6 = 340\,K$

c) $\Delta e_{x,str}$ zwischen zust 6 und 0

$$\Delta e_{x,str} = \frac{\Delta \dot{E}_{x,str}}{\dot{m}} = \left(h_e - h_a - T_0(s_e - s_a) + \Delta ke\right)$$

$$\Delta ke = \frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} = \frac{\omega_6^2}{2} - \frac{\omega_0^2}{2}$$

= Id. Gasmodell: $h_e - h_a = h_0 - h_6 = c_p(T_0 - T_6)$

Id. Gasmodell: $s_e - s_a = s_0 - s_6 = \ln\left(\frac{T_0}{T_6}\right) \cdot c_p^{ig} - R \ln\left(\frac{p_0}{p_6}\right)$

$$R = c_p - c_v \Rightarrow \kappa = \frac{c_p}{c_v} \rightarrow \cancel{c_p = \kappa c_v} \quad c_v = \frac{c_p}{\kappa}$$

$\Rightarrow$ ~~R = K(Cv) - Cv = R = Cv~~

$$\Rightarrow R = c_p - \frac{c_p}{\kappa} = 1.006 \frac{kJ}{kgK} - \frac{1.006}{1.4} = 0.287 = c_p^{ig}$$

$$\Rightarrow e_{x,str} = \left(c_p^{ig}(T_0 - T_6) - T_0 \cdot \left(\ln\left(\frac{T_0}{T_6}\right) \cdot c_p^{ig} - R \cdot \ln\left(\frac{p_0}{p_6}\right)\right) + \left(\frac{\omega_6^2}{2} - \frac{\omega_0^2}{2}\right)\right)$$

[redacted]

A2, d)

0, adiabat   0, Arbeit wird intern verrichtet

$e_{x,verl}$: Ex-Bilanz: $0 = \sum \dot{E}_{x,str} + \sum \dot{E}_{x,Q} - \sum \dot{W} - \dot{E}_{x,verl}$

$\Rightarrow e_{x,verl} = \frac{\dot{E}_{x,verl}}{\dot{m}} = \frac{\sum \dot{E}_{x,str}}{\dot{m}}$

0, da diese Arbeit benutzt wird zum Betreiben des Verdichters!

$0 = \sum \dot{E}_{x,str} + \dot{E}_{x,Q} - \cancel{\dot{W}_t} - E_{x,verl}$

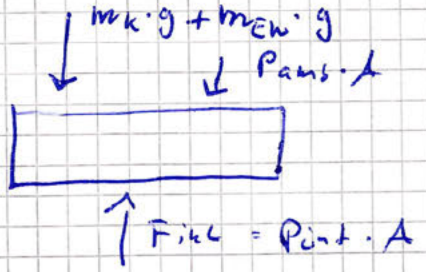
$\Rightarrow e_{x,verl} = \frac{\dot{E}_{x,verl}}{\dot{m}_{ges}} = \Delta e_{x,str} + \left(1 - \frac{T_0}{T_B}\right) q_B$

$\Rightarrow e_{x,verl} = \Delta e_{x,str} + \left(1 - \frac{T_0}{T_B}\right) q_B = 100 \frac{kJ}{kg} + \left(1 - \frac{243.15\,K}{1289\,K}\right) \cdot 1195 \frac{kJ}{kg}$

$= 1069.72\, kJ/kg$

[redacted]

1) $p_{g,1}$, Masse m_g



Kräftegg. am Kolben

=> $p_{int} = p_{g,1}$ $\qquad A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$

-> $p_{g,1} \cdot A = g(m_K + m_{EW}) + p_{amb} \cdot A$

$$p_{g,1} = \frac{g(m_K + m_{EW})}{\pi \frac{D^2}{4}} + p_{amb} = \quad //$$

$p_1 V_1 = m_1 R T_1 \Rightarrow m_{1,g} = \frac{p_1 V_1}{R T_1}$ $\qquad R = \frac{\bar{R}}{M_g} = \frac{8.314 \frac{kJ}{kmol\,K}}{50 \frac{kg}{kmol}} = \cancel{0.166}$

Vorhin geschrieben $\qquad R_g = 0.166 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$$= \frac{p_{1,g} \cdot V_{g,1}}{R_g \cdot T_{1,g}}$$

Als Lsg: $p_{g,1} = 1.7$ bar, $m_g = 3.6$ g

b) $T_{2,g}$ $p_{2,g}$? $\qquad x_{Eis,2} > 0$ -> es ist Eis vorhanden ->

~~Wenn~~ Die Temperatur $T_{2,g}$ ist genau die Gleichgewichtstemp. des EW, also $T_{EW,2} = 0°C$, da therm. Gleichgewicht erreicht wurde (es fliesst keine Wärme mehr). $p_{2,g}$ ist ebenfalls konstant, da der Aussendruck bzw. aus Gewicht des Wasser-Eis und Kolben und Umgebungsdruck, auch konstant blieb.

c) E-Bilanz um Gas: $\Delta E = \cancel{\dot{m}(h)}^{0} + \bar{Q} - \cancel{W}^{0}$

=> $Q = \Delta E = m_2 u_2 - m_1 u_1 = m(u_2 - u_1)$ -> Modell id. Gas:

$u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) =$

=> $Q = m(c_v(T_{2,g} - T_{1,g})) = 0.0036\,kg \cdot 0.633 \frac{kJ}{kg\,K}(0.003°C - 500°C)$

$= -1.139\,kJ = -1139\,J = Q_{12}$ //

d) $x_{Eis,2}$ $\quad$ Geg: $T_{g,2} = 0.003°C = T_{Eis,2}$

$$x_{Eis,1} = \frac{m_{Eis}}{m_{EW}} = 0.6$$

Energiebilanz über Gesamtsystem und gesamte Zeit:

0, da nach aussen adiabat

$$0 = \sum m (h_i) + \cancel{Q} - \cancel{W} \text{ keine Arbeit}$$

$$0 = \Delta E = \Delta U:$$

$$0 = m_{EW,1} \cdot \overset{u}{h_1} - m_{EW,2} \cdot \overset{u}{h_2} + m_g \cdot \underbrace{(\overset{u}{h_{2,L}} - \overset{u}{h_{1,L}})}_{\text{ideales Gasmodell}}$$

⇒ dies muss insgesamt 0 ergeben.

$$0 = m_{EW}(\overset{u}{h_1} - \overset{u_2}{h_2}) + m_g \cdot \overset{c_v}{\cancel{c_p}}(T_{2,g} - T_{1,g})$$

$$\cancel{c_p} = R + c_v = R_g + c_v = 0.166 + 0.633 = 0.799 \frac{kJ}{kg\,K}$$

$$h_1 = u_{FL} + x_1 (u_{Fest} - u_{FL}) \qquad h_2 = u_{FL} + x_2 (u_{Fest} - u_{FL})$$

$$\rightarrow 0 = m_{EW}(\cancel{u_{FL}} + x_1 (u_{Fest} - u_{FL}) - \cancel{u_{FL}} - x_2 (u_{Fest} - u_{FL})) + m_g \cdot c_v (T_{2,g} - T_{1,g})$$

$$0 = m_{EW} (u_{Fest} - u_{FL})(x_1 - x_2) + m_g c_v (T_{2,g} - T_{1,g})$$

$$0 = m_{EW} (u_{Fest} - u_{FL}) \cdot x_1 - m_{EW} (u_{Fest} - u_{FL}) x_2 + m_g c_v (T_{2g} - T_{1g})$$

$$x_2 = x_1 + \frac{m_g c_v (T_{2g} - T_{1g})}{m_{EW} (u_{Fest} - u_{FL})}$$

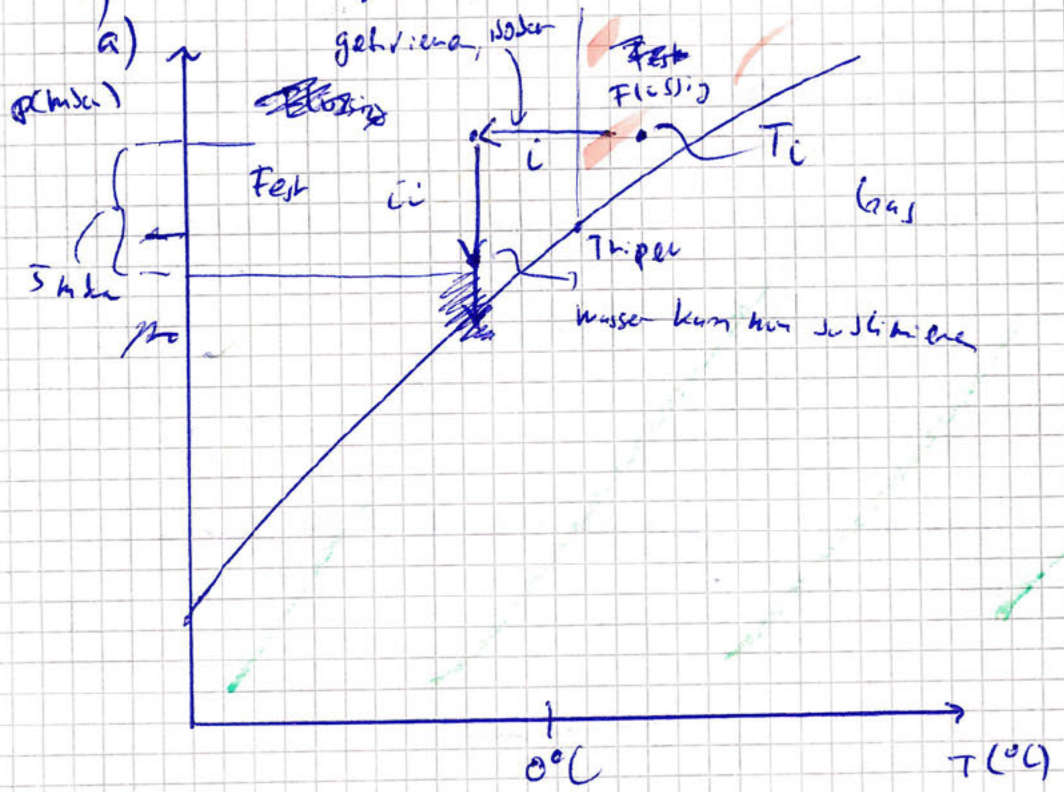
$$u_{Fest} = u_{Fest}(0.003) = -333.442 \frac{kJ}{kg}$$

$$u_{FL} = u_{FL}(0.003) = -0.033 \frac{kJ}{kg}$$

[redacted]

A4) P-T Diagram, schritt i → ii

a)



b) $\dot m_{R134a}$ im KKR

$\dot W_K = 28\,W$ um ges. dampf adiabat reversibel auf 8 bar zu kompr.

~~$x_2 = 1$ 2: g~~ ZS 4: vollst. kondensiert und $p = 8$ bar

$1 \to 2$: isobar

E-bilanz ~~Verdampfer~~ Wärmeübertr.: $\frac{dE}{dt}^{\,0} = \dot m_{R134a}(h_e - h_a) + \dot Q_{ab}$

$\Rightarrow \dot m_{R134a} = \frac{-\dot Q_{ab}}{h_e - h_a} = \cancel{\frac{\dot Q_K}{h_1 - h_2}} \; \frac{-\dot Q_{ab}}{h_3 - h_4} = \frac{-(\dot Q_K + \dot W_K)}{h_3 - h_4}$

$h_3 = h(8\,bar)$

$h_4 = h(sat. fl, 8\,bar)$

$p_3 = p_4$ da kondensator isobar

c) $\dot{m} = 4\ kg/h$ $T_2 = -22°C$

x_1 des Kühlmittels Zust. 1 nach der Drossel.

$$x_1 = \frac{s_1 - s_{f,1}}{s_{g,1} - s_{f,1}}$$

$s_1 = s_4$, da die Drossel adiabat ist → isentrop

$s_4 = s_f(8\ bar) = 0.3459\ \frac{kJ}{kg\,K}$

$$x_1 = \frac{s_4 - s_{f,1}}{s_{g,1} - s_{f,1}}$$

$s_f = s_f(T_2 = 22°C)$

s_f in Zust 1 ist gleich der in Zust 2, da die Tempe. bei $1 \to 2$.

d) $$\varepsilon_K = \frac{\dot{Q}_{zu}}{\dot{W}_t} = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_K}$$

e) Würde der Druck nicht gesenkt und dabei die Wärmeabführung abgestellt, würde der Zustand immer weiter im Feststoffgebiet bleiben und die Temperatur würde weiterhin abnehmen.