c) Zustand 4: $x_4 = 0$

$p_4 = p_3 = 8$ bar | ~~Zustand~~ $p_1 = p$

Prozess ist adiabat:

Energiebilanz

Prozess verrichtet keine Arbeit; adiabat

$$0 = \dot{m}(h_4 - h_1) \cancel{- \dot{W}_B} + \cancel{\dot{Q}}$$

TAB-A11:

$$h_4 = h_1 = 93{,}42 \frac{kJ}{kg}$$

Zustand 1: ~~Aussen~~ dann wäre: $p_1 = p_2$

und bei ~~...~~ $T_2 = -10$ K gelten wir

in TAB - A10:

$$x_1 = \frac{h_1 - h_f}{h_g - h_f}$$

$$h_f = \frac{34{,}39 + 38{,}54}{2} \frac{kJ}{kg} = 36{,}565 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_g = h_2 = 244{,}345 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Rightarrow x_1 = 0{,}2762$$

d)

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

$$|\dot{Q}_K| = |\dot{m} \cdot (h_1 - h_2)| = 0{,}16486 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{m} = 4 \frac{kg}{3600\,s}$$

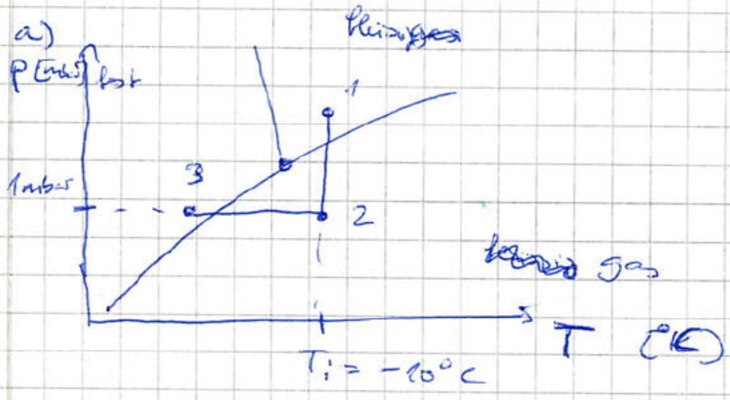
$$\Rightarrow \varepsilon_K = 5{,}87$$

e) Es würde sinken, weil wir Entropie einem adiabaten System entziehen.

[redacted]

Aufgabe 4:

a)



b)

Energiebilanz Verdichter:

$$0 = \dot m \left[h_e - h_a \right] + \cancel{\dot Q}^{\text{adiabat}} + \dot W_K$$

$$\dot m = \frac{\dot W_K}{h_2 - h_3}$$

TAB

ha

h_2 ist mit $x_2 = 1$ bei $T_i = -10$ °C
(aus Tab Diagramm abgelesen)

TAB-A10, interpolieren

$$h_2 = \frac{242{,}54 + 240{,}15}{2} \frac{kJ}{kg} \text{ (Wert liegt genau dazwischen)}$$

$$= 241{,}345 \frac{kJ}{kg}$$

h_3 wäre 8 bar mit gleicher Entropie

$s_2 = s_3$ weil adiabat reversibel

$$s_2 = \frac{0{,}5233 + 0{,}5267}{2} = 0{,}5253 \frac{kJ}{kg\,K}$$

TAB-A12.

$s_3 = 0{,}5253 \frac{kJ}{kg\,K}$ liegt zwischen

$T_{sat} = 31{,}33°C$ & $T_{40°C} = 0{,}5374$.

$$h_3 = 273{,}66 \frac{kJ}{kg} + \left(0{,}5253 \frac{kJ}{kg\,K} - 0{,}5374 \frac{kJ}{kg\,K} \right) \cdot \frac{273{,}66 \frac{kJ}{kg} - 264{,}15 \frac{kJ}{kg}}{\left(0{,}5374 \frac{kJ}{kg\,K} - 0{,}5066 \frac{kJ}{kg\,K} \right)}$$

$$= 265{,}524 \frac{kJ}{kg}$$

$\dot m = -9{,}787 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{s}$ => kann nicht negativ sein, irgendein Fehler c)

$$\Delta e_{x,str} = u_6 - u_0 - T_0(s_6 - s_0) + p_0(v_6 - v_0)$$

$$u_6 - u_0 = c_v \cdot (T_6 - T_0) =$$

$$- T_0$$

$$= c_v(T_6 - T_0) - T_0 \cdot \ln\left(\frac{T_6}{T_0}\right)$$

$T_6 = 340K$

$$\Delta e_{x,str} = h_6 - h_0 - T_0(s_6 - s_0) + ke$$

$$= c_p \cdot (T_6 - T_0) - T_0 \cdot c_p \left(\frac{T_6}{T_0}\right) + \frac{w_6^2 - w_0^2}{2}$$

$$= 110{,}727 \frac{kJ}{kg}$$

d) adiabate Prozess: $\dot{Q} = 0$

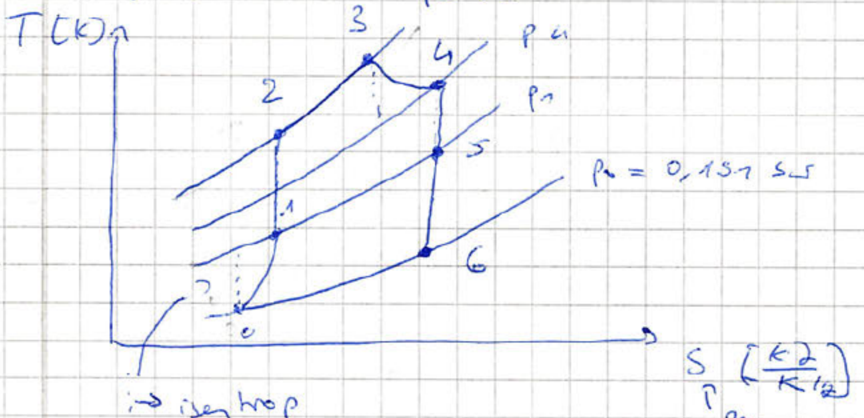
Entropiebilanz: (wobei $\dot{E}x_{ver} = T_0 \cdot \dot{S}_{erz}$)

$$0 = \dot{S}_{erz} + \dot{m}(s_6 - s_0)$$ Druckterm entfällt weil $p_6 = p_0$

$$\frac{\dot{E}x_{ver}}{\dot{m}} = T_0 \frac{\dot{S}_{erz}}{\dot{m}} = T_0 c_p \cdot \ln\left(\frac{T_6}{T_0}\right) = 81{,}5 \frac{kJ}{s}$$

[redacted]

Aufgabe 2



messen spezifisch, d.h. die Trennung spielt keine Rolle

b) $w_5 = 220 \frac{m}{s}$

$p_5 = 0{,}5$ bar

$T_5 = 431{,}5$ K

reversible, adiabate Schubdüse: $\frac{T_6}{T_5} = \left(\frac{p_6}{p_5}\right)^{\frac{k-1}{k}}$

mit $k = 1{,}4$: $T_6 = \left(\frac{p_6}{p_5}\right)^{\frac{k-1}{k}} \cdot T_5 = 328{,}075$ K

Energiebilanz Schubdüse:

$$\underbrace{\cancel{\frac{dE}{dt}}}^{\text{stationär, 0}} = \dot{m}\left(h_e - h_a + \frac{w_e^2 - w_a^2}{2}\right) + \overbrace{\cancel{Q}}^{\text{adiabat, 0}} + W$$

$$\dot{m} \cdot w_t^{rev} = -\int_1^2 v\,dp + \Delta ke + \cancel{\Delta pe}^{\,0}$$

$=$

d)

Die zugeführte Wärme wird komplett vom Eis-Wasser aufgenommen.

$$m_E \cdot (u_2 - u_1) = Q_{12}$$

$$u_2 - u_1 = \frac{Q_{12}}{m_E} \Rightarrow u_2 = \frac{Q_{12}}{m_E} + u_1$$

mit $u_1(0°C) \overset{TAB-1}{=} x_E \cdot u_{Fe} + (1 - x_E) \cdot \underset{\text{flüssig}}{u_{Fe}}$

$$= -200{,}1 \ \frac{kJ}{kg}$$

da ~~…~~ T sich nicht verändert, da ~~…~~ Prozess isobar ist, gilt für $u_2 = x_{E,2} \cdot u_{Fe} + (1 - x_{E,2}) \cdot u_{Fe}$

$$u_2 = \frac{1{,}500 \ kJ}{\cancel{\ldots} \ 0{,}1 \ kg} + u_1 = \cancel{\ldots} \ -185{,}1 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$x_{E,2} = \frac{(u_2 - u_{fe})}{u_{fe} - \underset{\text{flüssig}}{u_{fe}}} = 0{,}555$$

Aufgabe 3 [redacted]

a) perfektes Gas

$g = 9{,}81\ \frac{m}{s^2}$

$$p_1 = p_{amb} + \frac{32\,kg \cdot g}{(\frac{D}{2})^2 \cdot \pi} + \frac{0{,}1\,kg \cdot g}{(\frac{D}{2})^2 \cdot \pi}$$

$$= 1{,}40054\ bar$$

ideales Gasgesetz:

$$m_g = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} \qquad R = \frac{\bar{R}}{M_g} = 166{,}28\ \frac{J}{kg\,K}$$

$$= \frac{1{,}4 \cdot 10^5 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-3}}{166{,}28 \cdot (500 + 273{,}15)}\ kg$$

$$= 3{,}4194\ g$$

b) T_{Eis} wäre bei $0°C$, da $x_{eis} < 1$ ist keine Wärme mehr, also $T_{g,2} = 0°C$, da ansonsten Wärme übertragen würde.

Das gesamte Prozess ist isobar, bei dem Kolben verschlossen ist, also hier

$$p_{g,2} = p_1 = 1{,}5\ bar$$

c) $$V_{g,2} = \frac{R \cdot m_g \cdot T_{g,2}}{p_{g,2}} = 1{,}05\ L$$

$(m_g = 3{,}6\ g,\ p_{g,2} = 1{,}5\ bar,\ T_{g,2} = 273{,}15\ K)$

Energiebilanz um Gas, es ist ein geschlossenes System:

$$E_2 - E_1 = Q_{12} - W_V$$

wobei $E_2 - E_1 = m_g \cdot (u_2 - u_1) = m_g \cdot c_v \cdot (\overset{500°C}{T_2} - \overset{0°C}{T_1})$

$$= 1{,}1394\ kJ$$

$W_V =$

$m_g = 3{,}6\ g$

$$Q_{12} = m_g \cdot c_p\,(T_2 - T_1) = 1{,}43870$$

$$c_p = R + c_v = 0{,}16628 + 0{,}633\ \frac{kJ}{kg\,K} = 0{,}75528\ \frac{kJ}{kg\,K}$$

d) siedende Flüssigkeit: $x_2 = 0$

Halboffenes System

$$m_2 \cdot u_2 - m_1 \cdot u_1 = \Delta m \cdot h + Q_{aus,12}$$

TAB-A2

$$h\,(20°C,\ x = 0) = 83{,}96\ \frac{kJ}{kg}$$

$$m_1 = 5755\ kg$$

$$m_2 = m_1 + \Delta m$$

$\boxed{\text{TAB-A2}}$

$$u_2\,(x = 0,\ 70°C) = 292{,}95\ \frac{kJ}{kg}$$

$$u_1\,(x = 0{,}005,\ 100°C) = x \cdot (u_{1,g}) + u_{1,f}(1-x)$$

$$u_{1,f} = 418{,}94$$

$$u_{1,g} = 2506{,}5$$

$$= 429{,}3778\ \frac{kJ}{kg}$$

$$-\Delta m \cdot h + \Delta m \cdot u_2 = Q_{aus,12} + m_1 \cdot u_1 - m_1 \cdot u_2$$

$$\Rightarrow \Delta m = \frac{Q_{aus,12} + m_1 u_1 - m_1 u_2}{u_2 - h}$$

$$\Delta m = 3924{,}31\ kg$$

e) $\Delta m_{12} = 3600\ kg$

$$\Delta S_{12} = m_2 \cdot s_2 - m_1 \cdot s_1$$

$\boxed{\text{TAB-A2}}$

$$s_2\,(70°C,\ x = 0) = 0{,}9549\ \frac{kJ}{kg\,K}$$

$$s_1\,(100°C,\ x = 0{,}005) = 1{,}33714$$

$$s_{1,f} = 1{,}3069\ \frac{kJ}{kg\,K}$$

$$s_{1,g} = 7{,}3549\ \frac{kJ}{kg\,K}$$

$$m_2 = m_1 + \Delta m_{12} = 9355\ kg$$

$$\Delta S = 1237\ \frac{kJ}{K}$$

[redacted]

Aufgabe 1

a) $\dot{Q}_{aus}$ ist die Summe von $\dot{Q}_R = 100\,kW$

und $\dot{Q}_W$ aus dem Strom...

stationär

$$\cancel{\frac{dE}{dt}}^{\,0} = \dot{m}_{ein}(h_e - h_a) + \dot{Q}_W + \cancel{\dot{W}}$$ arbeitsfrei

$$\dot{Q}_W = \dot{m}_e (h_a - h_e)$$

gerade siedende Flüssigkeit: $x_e = 0 = x_a$

TAB-A2

$h_e = 252{,}58\ kJ/kg$

$h_a = 419{,}04\ kJ/kg$

$\dot{Q}_W = 37{,}818\ \frac{kJ}{s}$ (an sich negativ, weil das einströmende Wasser erwärmt wird)

$$\dot{Q}_{aus} = \dot{Q}_R - \dot{Q}_W = 62{,}182\ kW$$

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

~~T_{KF}~~

$$\overline{T}_{KF} = \frac{\int_e^a T\,ds}{s_a - s_e} = \frac{q}{s_a - s_e} = \frac{h_{Fa} - h_{Fe}}{s_a - s_e}$$

mit $\cancel{\frac{dE}{dt}}^{\,0} = \dot{m}(h_{Fe} - h_{Fa}) + \dot{Q}_{aus} + \cancel{\dot{W}}^{\,0}$

$$\dot{Q}_{aus} = (h_{Fe} - h_{Fa}) \cdot \dot{m}_{KF}$$

~~isobar~~

isobare Bedingung: $h_{Fa} - h_{Fe} = c^{if}(T_2 - T_1) + v^{if}\cancel{(p_2 - p_1)}^{\,0}$

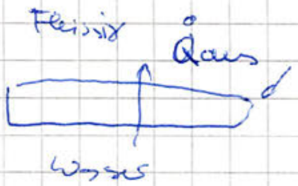
$$s_a - s_e = c^{if} \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$\Rightarrow \overline{T}_{KF} = \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)} = 253{,}121\ K$$

$\dot{Q}_{aus} = 65\,kW$

$\overline{T}_{KF} = 255\ K$ & $T_W = 100\,°C + 273{,}15\ K$

c)



System: Entropiebilanz

geschlossenes System (weil Wand):

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\dot{Q}_{aus}}{\overline{T}_{KF}} + \frac{\dot{Q}_{aus}}{T_W} + \dot{S}_{erz}$$

Wassertank $T_W = 100\,°C$

$$\rightarrow \dot{S}_{erz} = \dot{Q}_{aus}\left(-\frac{1}{T_W} + \frac{1}{\overline{T}_{KF}}\right)$$

$$\Rightarrow \dot{S}_{erz} = +0{,}04615\ \frac{kW}{K}$$