[redacted]

Aufgabe 1

a) $\dot{Q}_{aus}$ mit Energie bilanz um Flüssigkeit (stationär)

$$0 = \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \cancel{ke_i}^{0} + \cancel{pe_i}^{0} \right) \sum_j \dot{Q}_j - \sum_n \cancel{\dot{W}_n}^{0}$$

$$\rightarrow 0 = \dot{m} \left(h_{ein} - h_{aus} \right) - \dot{Q}_{aus} + \dot{Q}_R$$

$$\rightarrow \dot{Q}_{aus} = \dot{m} \left(h_{ein} - h_{aus} \right) + \dot{Q}_R$$

$h_{ein} = 70°$ siedende Flüssigkeit

$h_{aus} = 100°C$ siedende Flüssigkeit

b) $$\bar{T}_{KF} = \frac{\int_{ein}^{aus} T \, dS}{S_{aus} - S_{ein}}$$

c) Entropieproduktion : $\dot{S}_{erz}$

Entropie bilanz an Wand zwischen Flüssigkeit und Kühlmittel

$$\rightarrow 0 = \frac{\dot{Q}_{aus}}{\bar{T}_{Reaktor\,1}} - \frac{\dot{Q}_{aus}}{\bar{T}_{KF}} + \dot{S}_{erz}$$

$$\rightarrow \dot{S}_{erz} = \frac{\dot{Q}_{aus}}{\bar{T}_{KF}} - \frac{\dot{Q}_{aus}}{\bar{T}_{Reaktor\,1}}$$

$$= \dot{Q}_{aus} \left(\frac{1}{\bar{T}_{KF}} - \frac{1}{\bar{T}_{Reaktor1}} \right)$$

$$= 65\,kW \left(\frac{1}{295\,K} - \frac{1}{373{,}15\,K} \right)$$

$$= 0{,}0461\ kW$$

d) Energiebilanz $1 \rightarrow 2$:

$$\frac{dE}{dt} = \sum_i \dot{m}_i \left(h_i + \cancel{ke_i}^{0} + \cancel{pe_i}^{0} \right) + \sum_j \dot{Q}_j - \sum \cancel{\dot{W}_v}^{0}$$

dU

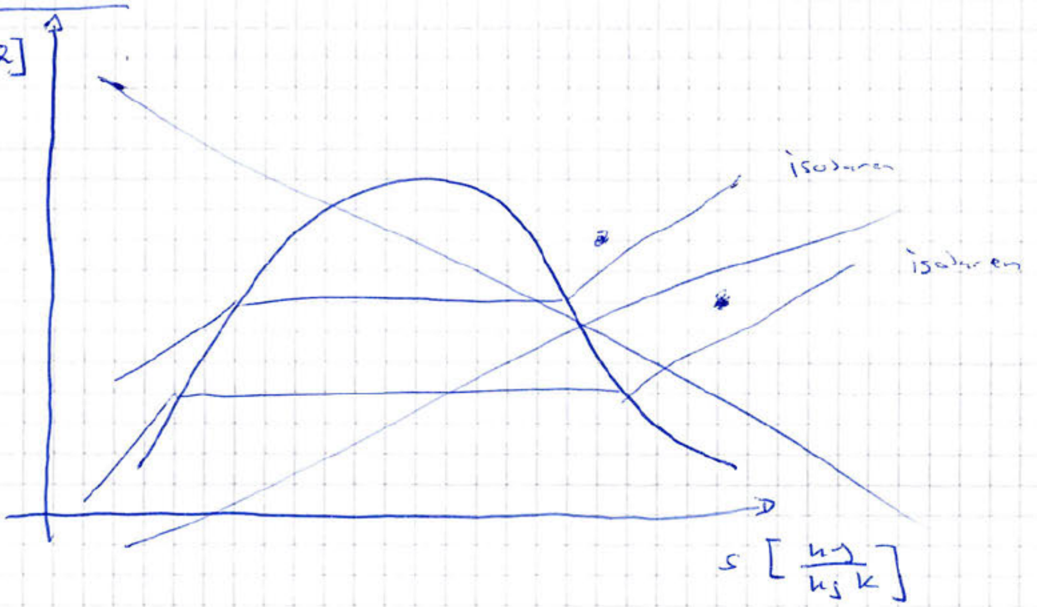
$$\rightarrow \Delta U_{12} = m_1 h_1 - m_2 h_2 + Q_{R12}$$

$$\rightarrow \Delta m_{12} \left(u_1 - u_2 \right) = m_1 h_1 - m_2 h_2 + Q_{R12}$$

$$\rightarrow \Delta m_{12} = \frac{1}{u_1 - u_2} \cdot \left(\left(m_1 h_1 - m_2 h_2 \right) + Q_{R12} \right)$$

Aufgabe 2

a)



b) w_6 und T_6 Am Austritt

→ Energie bilanz für stationären Fliessprozess

$$0 = \dot{m}\left[h_5 - h_6 + \frac{w_5^2 - w_6^2}{2}\right] + \sum_j \cancel{\dot{Q}_j}^{0\ \text{adiabat}} - \sum_n \cancel{\dot{W}_n}^{0}$$

$$\rightarrow \quad 2(h_6 - h_5) + w_5^2 = w_6^2$$

$$w_6 = \sqrt{2(-h_6 + h_7) + w_5}$$

$$h_6 - h_5 = \int_{T_5}^{T_6} c_p^{is}\, dT = c_p^{is}(T_6 - T_5)$$

→ 5 → 6 adiabat - reversibel → isentrop

→ polytropes temperatur verhältnis mit $n = \kappa = 1{,}4$

$$\rightarrow \quad \frac{T_6}{T_5} = \left(\frac{p_6}{p_5}\right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow T_6 = T_5 \cdot \left(\frac{p_6}{p_5}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

$$\rightarrow \quad T_6 = 431{,}9\,K \cdot \left(\frac{0{,}191\,bar}{0{,}5\,bar}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}}$$
$$= 328{,}07\,K$$

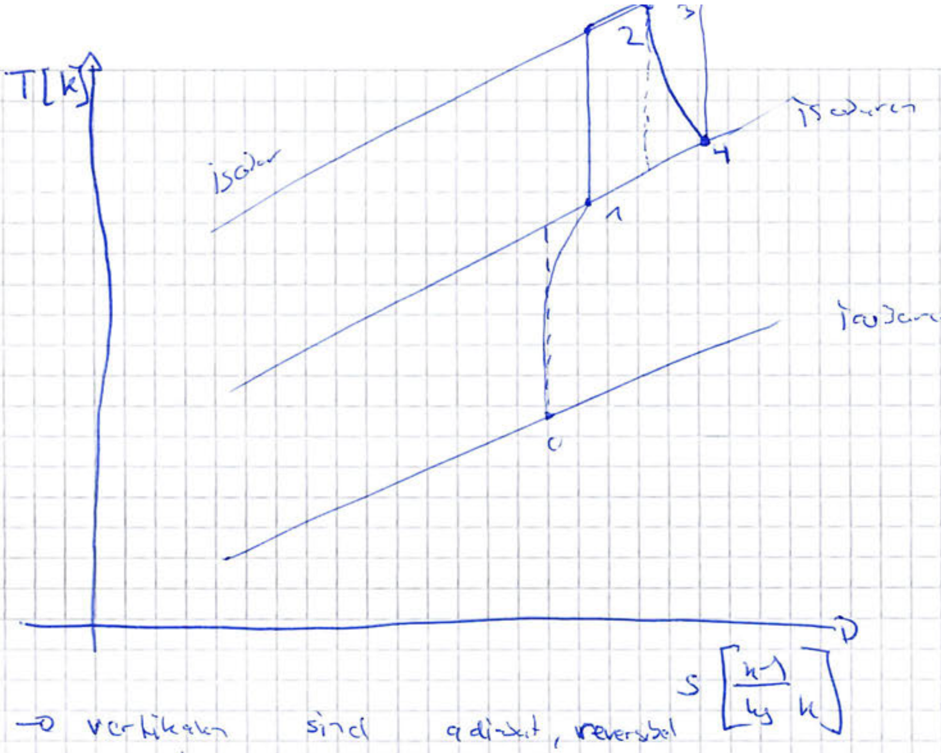
$$\rightarrow \quad h_6 - h_5 = c_p^{is}(T_6 - T_5)$$
$$= 1{,}006\,\frac{kJ}{kg\,K}\,(328{,}07\,K - 431{,}9\,K)$$
$$= -104{,}45\,kJ$$

$$\rightarrow \quad w_6 = \sqrt{2(h_5 - h_6) + w_5^2} = 243{,}54\,\frac{m}{s}$$

c) $\Delta e_{x,str} = e_{x,str,6} - e_{x,str,0}$

$$e_{x,str,6} = (h_6 - h_6 - T_0(s_6 - s_0))$$

a)



→ vertikalen sind adiabat, reversibel

↳ ~~~~ isentrop

↳ wenn nach rechts geht, dann handelt es sich um keine isentrope diffusion oder Verdichtung

d) $\dot{m}_{ges}$ bezogener Exergieverlust:

$$e_{x,ver} = \frac{T_0 \cdot \dot{S}_{erz}}{\dot{m}_{ges}} \quad , \quad T_u = T_0$$

→ Entropie erzeugung:

Entropie bilanz um ganze Turbine

$$\frac{dS}{dt} = 0 = \sum_i \dot{m}_i s_i + \dot{S}_{erz} = \dot{m}_{ges}(s_0 - s_6) + \dot{S}_{erz}$$

$$\rightarrow \quad \dot{S}_{erz} = \dot{m}_{ges}(s_6 - s_0)$$

$$\left.\begin{aligned} s_0 &= s(p_0, T_0) \\ s_6 &= s(p_0, T_6) \end{aligned}\right\} \quad s_6 - s_0 = \int_{T_0}^{T_6} \frac{c_p^{ig}(T)}{T}\, dT$$

$$= c_p^{ig} \ln\left(\frac{T_6}{T_0}\right)$$

$$= 1{,}006 \frac{kJ}{kg\,K} \ln\left(\frac{340\,K}{240{,}15\,K}\right)$$

$$= 0{,}3373 \frac{kJ}{kg\,K}$$

$$\dot{S}_{erz} = \dot{m}_{ges}(s_6 - s_0) =$$

$$\frac{\dot{S}_{erz}}{\dot{m}_{ges}} = s_6 - s_0 = 0{,}3373 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Rightarrow \quad e_{x,ver} = \frac{T_0 \cdot \dot{S}_{erz}}{\dot{m}_{ges}} = 82{,}01 \frac{kJ}{kg}$$

[redacted]

Aufgabe 3

a) p_{g1} und Masse des Gases im Zylinder

Druck: $p_G = p_0 + p_{Gewicht} + p_{EW}$

$= 1 bar + \frac{m_K \cdot g}{A} + \frac{m_{EW} \cdot g}{A}$

$\Rightarrow A = \pi r^2 = \pi \cdot 5 cm^2$

$= \pi \cdot (0{,}05 m)^2 = 0{,}007854 m^2$

$p_{G1} = 1 bar + \frac{32 kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}}{0{,}007854 m^2} + \frac{0{,}1 kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}}{0{,}007854 m^2}$

$= 10^5 Pa + 39{,}969{,}5 Pa + 124{,}9 Pa$

$= 1{,}401 bar \cong 1{,}4 bar$

Masse: ideales Gasgesetz: $pV = mRT$

$\Rightarrow m_{g1} = \frac{p V_{g1}}{R T_{g1}}$ $(V = 3.14 L = 0{,}00314 m^3)$

$\Rightarrow R_g = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314 \frac{kJ}{kmol\, K}}{50 \frac{kg}{kmol}} = 0{,}16628 \frac{kJ}{kg\, K}$

$\Rightarrow m_{G1} = \frac{1.461 \cdot 10^5 Pa \cdot 0{,}00314 m^3}{0.16628 \frac{kJ}{kg K} \cdot 773{,}5 K}$

$= 0{,}00342 kg = 3{,}42 g$

b) Zustand 2 T_{B2} & p_{g2}

$\left(\begin{array}{l} \text{1. HS / Energiebilanz um Gasphase:} \\ \frac{dE}{dt} = \sum_i \dot{m}_i (h_i + ke + pe) + \sum_j \dot{Q}_j - \sum_n \dot{W}_n \end{array} \right)$

$\rightarrow$ Verflüssigungsenthalpie $u_{verf} = u_{flüssig} - u_{fest}$

das ganze ist Wasser $= u_{flüss}(1{,}4 bar) - u_{fest}(1{,}4 bar)$

$= 333{,}413 \frac{kJ}{kg}$

c) Q_{12} zwischen Zustand 1 und Zustand 2

Energiebilanz um Gasphase zwischen Zustand 1 & 2

$\rightarrow -Q_{12} = m_G (\cancel{\quad} u_1 - u_2)$

$Q_{12} = m_G (u_2 - u_1) = m_G (c_v^{pg} (T_2 - T_1))$

(~~ideal~~ perfektes Gas)

~~[illegible]~~ $\rightarrow Q_{12} = m_G c_v^{pg} (T_2 - T_1) = 0{,}0036 kg \cdot 0{,}633 \frac{kJ}{kg K} \cdot (\cancel{\quad} *)$

$* = (273.15 K - 773.15 K)$

$\Rightarrow \quad Q_{12} = -1{,}14 \text{ kJ}$

$\Rightarrow \quad |Q_{12}| = 1{,}14 \text{ kJ}$

d) $x_{Eis\,2}$:

Energiebilanz um EW (1. HS) :

$$\frac{dE}{dt} = \cancel{\sum_i \dot{m}_i (h_i + ke_i + pe_i)} + \sum_j \dot{Q}_j - \sum_n \dot{W}_n$$

$\Rightarrow \quad \Delta U_{12} = Q_{12}$

$\Rightarrow$ Inkompressibel EW $\rightarrow$ $m_{EW1} = m_{EW2}$
(isobar) $\quad V_{EW1} = V_{EW2}$

$\Rightarrow \quad m_{EW}(u_2 - u_1) = Q_{12}$

$$\Rightarrow \quad u_2 = \frac{Q_{12}}{m_{EW}} + u_1$$

$\Rightarrow \quad u_1 = u_{Fest} + x_{1Eis}(u_{Flüssig} - u_{Eis})$

$\hookrightarrow$ Der Druck beim EW ist $p_{EW} = p_0 + p_{Gewicht} \approx 1{,}4 \text{ bar}$

$= u_{Fest}(1{,}4\text{bar}) + x_{1Eis}(u_{Flüssig}(1{,}4\text{bar}) - u_{Fest}(1{,}4\text{bar}))$

$= -333{,}458 \frac{kJ}{kg} + 0{,}6\left(-0{,}045 \frac{kJ}{kg} - (-333{,}458 \frac{kJ}{kg})\right)$

$= -133{,}4102 \frac{kJ}{kg}$

$$\Rightarrow \quad u_2 = \frac{Q_{12}}{m_{EW}} + u_1$$

$$= \frac{1500\text{ J}}{0{,}1\text{kg}} + \left(-133{,}4102 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$= -118{,}4102 \frac{kJ}{kg}$$

$$x_{2Eis} = \frac{u_2 - u_{Fest}}{u_{Flüssig} - u_{Fest}} = \frac{-118{,}4102 - (-333{,}458)}{-0{,}045 - (-333{,}458)}$$

$$= 0{,}65$$

(Druck auf EW bleibt gleich) $\rightarrow$ isobar

5) Energiebilanz um Gas :

$\Delta E = Q - W$

$\Rightarrow$ ~~Druck~~

$\Rightarrow \quad W = \text{Volumenarbeit} = \int_1^2 p\,dV$

Ideales Gasgesetz $\quad pV = mRT$

$$\Rightarrow \quad p = \frac{mRT}{V}$$

$T_{G2} = 0\,°C$,

p_{G2} nimmt im Vgl zu

p_{G2} ab, da die "Geschwindigkeit" der Molekühle abnimmt und es weniger kollidieren gibt was analog zum Druck ist

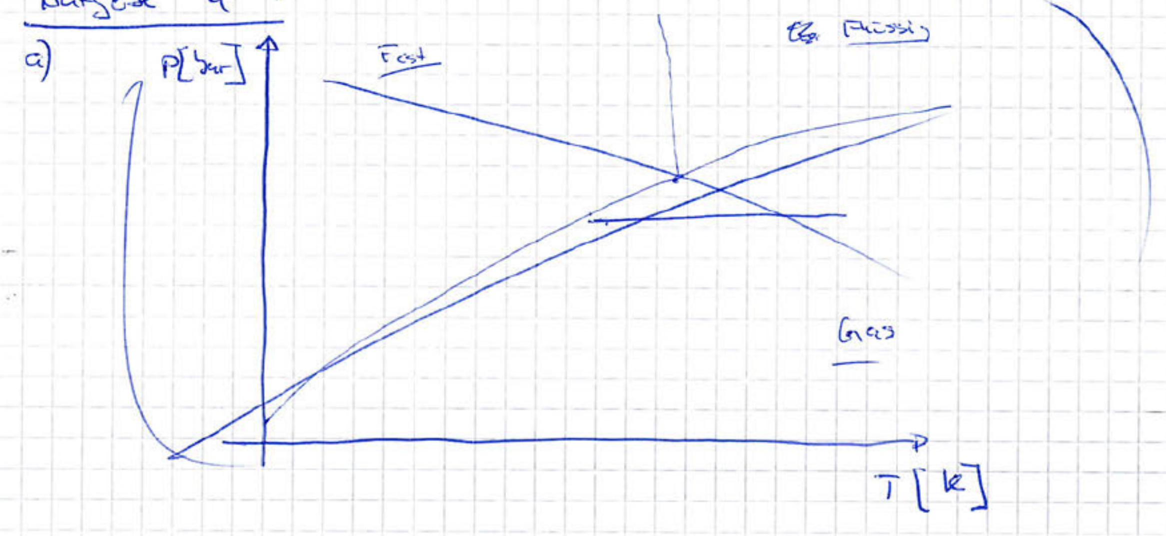
$p_{G2} < p_{G1}$

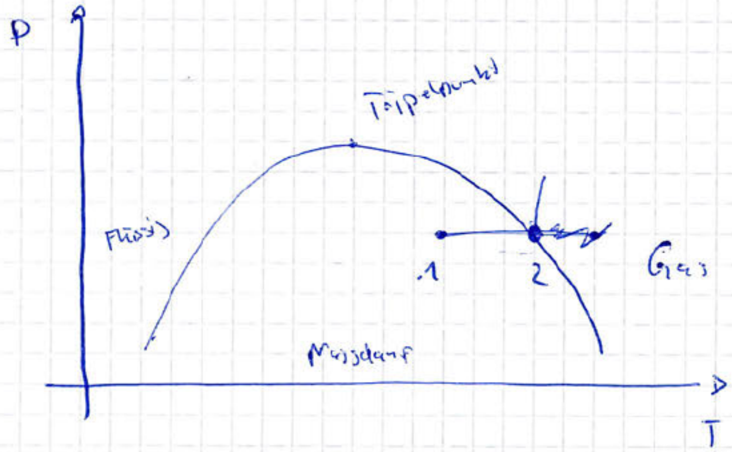
$T_{G2} < T_{G1}$

[redacted]

Aufgabe 4 :

a)





b) Massenstrom des Kühlmittels:

Energie-bilanz um Verdichter:

$$\frac{dE}{dt}^{\text{stationär}} = \sum_i \dot{m}_i (h_i + \cancel{ke_i}^{0} + \cancel{pe_i}^{0}) + \cancel{\sum \dot{Q}_i}^{0 \text{ adiabat}} - \sum_t \dot{W}_t$$

$$0 = \dot{m}_{R134a} (h_2 - h_3) - \dot{W}_K$$

$$\rightarrow \dot{m}_{R\text{-}134a} = \frac{\dot{W}_K}{h_2 - h_3}$$

$\rightarrow \cancel{h_2 = h_g(p_2)}$

$\rightarrow T_1 \cancel{=}$

$\rightarrow h_4 = h_f(8\,\text{bar}) = 93{,}42\ \frac{kJ}{kg}$

$\rightarrow$ adiabat reversibel $\rightarrow s_2 = s_3$

$\rightarrow p_2 = p_1$

$\rightarrow$ Energiebilanz um Drossel:

$$0 = \dot{m}_{R134} (h_4 - h_1)$$

$$\rightarrow h_4 = h_1$$

$\rightarrow$

c) x_1 Kühlmittel

$\dot{m}_{R134a} = \frac{4k}{3600\,s}$, $T_1 = -22\,°C$