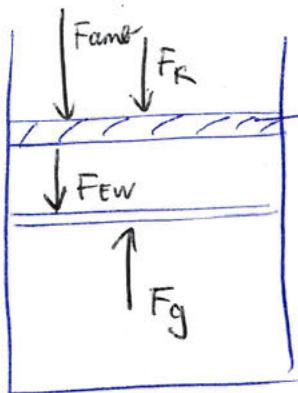


Aufgabe 3

Seite 1

a) ~~Ideales Gasgesetz: $pV=mRT$~~

Kräftegleichgewicht Zustand 1:



Kolben
Membran

$$F_g = F_{EW} + F_{Amb} + F_K$$

$$A_2 = \text{Durchmesser Zylinder} = \pi r^2$$

$$r = 5\text{cm} = 0,05\text{m} \Rightarrow A_2 = \pi \cdot 0,05\text{m}^2 \approx 7,85 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$$

$$F_g = p_{g1} \cdot A_2$$

$$F_{EW} = m_{EW} \cdot g \cdot \cancel{A_2} = 0,1\text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cancel{7,85 \cdot 10^{-3}\text{m}^2} = \cancel{7,77 \cdot 10^{-2}}$$

$$F_{EW} = 0,981\text{N}$$

$$F_K = m_K \cdot g = 32\text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 313,92\text{N}$$

$$F_{Amb} = p_{Amb} \cdot A_2 = 100\text{kPa} \cdot A_2 = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 7,85 \cdot 10^{-3}\text{m}^2 = 785\text{N}$$

$$F_g = F_{EW} + F_K + F_{Amb} = 1099,901\text{N}$$

$$F_g = p_{g1} \cdot A_2 \Rightarrow p_{g1} = \frac{F_g}{A_2} = \frac{1099,901\text{N}}{7,85 \cdot 10^{-3}\text{m}^2} = 140114,78 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

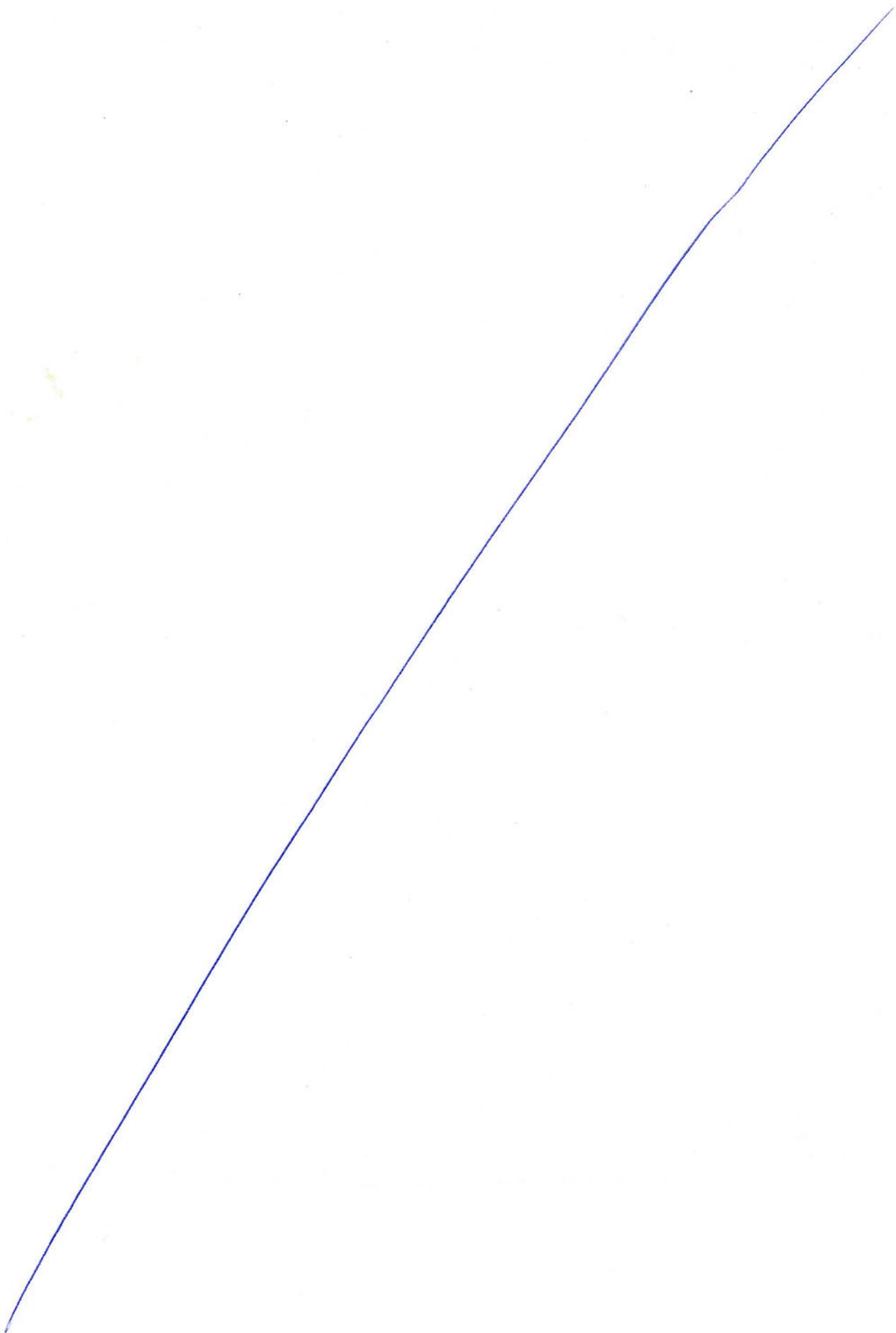
$$\underline{\underline{p_{g1} = 140114,78\text{ Pa} = 140,14\text{ kPa} = 1,4\text{ bar}}}$$

Ideales Gasgesetz: $pV=mRT \Rightarrow m = \frac{pV}{RT} \Rightarrow m_g = \frac{p_{g1} V_{g1}}{R_g T_{g1}}$

$$R_g = \frac{R}{M} = \frac{8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}}}{50 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0,166 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$V_{g1} = 3,14\text{L} = \underline{\underline{3,14 \cdot 10^{-3}\text{m}^3}} \quad T_{g1} = 500^\circ\text{C} = 773,15\text{ K}$$

168



Aufg. 37 a)

Seite 2

$$m_g = \frac{140,14 \text{ kPa} \cdot 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{0,166 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 773,15 \text{ K}} = \underline{\underline{3,43 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}} = 3,43 \text{ g}$$

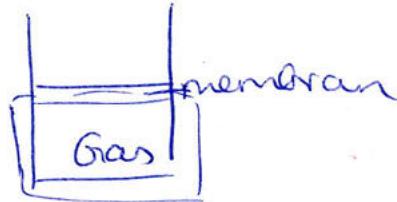
18) c) Energie Bilanz (EB) an einem Kolben:

Aus der ZF: $\frac{dE}{dt} = \sum_j \dot{Q}_j - \sum_n \dot{W}_{n_r}$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \sum_j Q_j - \sum_n W_{n_r}$$

$$E_2 - E_1 = Q_{12} - W_{12} \Rightarrow Q_{12} = E_2 - E_1 + W_{12}$$

Systemgrenze:
nur Gas



$$\Delta E = Q_{12} - W_{12}$$

b) $PV = mRT \Rightarrow P = \frac{mRT}{V} = \frac{RT}{V}$

$$U = \frac{V}{m} \quad U_1 = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{3,43 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}$$

Gas isochor: $P_2 = \frac{RT}{V_1} = 49,56 \text{ kPa}$

$$W_1 = 0,915 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

c) $E = U + \cancel{KE} + \cancel{PE} \xrightarrow{T_1 = T_2} \text{vernachlässigbar}$

Δu perfektes gas: $\Delta u = C_V(T_2 - T_1)$

$$T_2 = 900^\circ\text{C} = 273,153 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} &= 0,633 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (273,153 \text{ K} - 773,15 \text{ K}) \\ &= \underline{\underline{-316,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}} \end{aligned}$$

$$Q_{12} = \Delta u + W_{12} = W_{12} - 316,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$d) \quad x_{Eis1} = 0,6$$

aus b): $P_{g2} = 49,56 \text{ kPa} = 0,4956 \text{ bar} \approx \underline{0,5 \text{ bar}}$

Energubilanz um das Eis:

Geschlossenes System:

$$\cancel{\frac{dE}{dt}} = \Delta E = Q - W \xrightarrow{V \text{ konst}} \text{Volumen EW ändert sich nicht}$$

$$\Delta E = \Delta U + \cancel{KE} + \cancel{PE} = U_2 - U_1$$

U_1 Eis bei $x_1 = 0,6$ & $T = 0$ aus Tab 1 ablesen:

$$U_1 = U_f + x \cdot (U_g - U_f) \quad U_f = U_{\text{Fest}}$$

$$= U_f + x U_g - x U_f \quad U_g = U_{\text{flüssig}}$$

$$= [0,045 + 0,6 \cdot (-333,458 + 0,045)] \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= -200,093 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx -200,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$U_2 - U_1 = Q_{12} \Rightarrow U_2 = Q_{12} + m \cdot U_{1,\text{spur}}$$

$$U_2 = 1500 \text{ J} + 0,1 \text{ kg} \cdot (-200,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) =$$

$$= 1500 \text{ J} - 20,01 \text{ kJ} = 1500 \text{ J} - 20010 \text{ J}$$

$$= -18510 \text{ J}$$

$$U_2 = -\frac{18510 \text{ J}}{0,1 \text{ kg}} = -185100 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \underline{-185,100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\textcircled{1} \quad d) \quad U_2 = U_{\text{fe}} + x_2(U_{\text{Fest}} - U_{\text{fe}})$$

$$\Rightarrow x_2 = \frac{U_2 - U_{\text{fe}}}{U_{\text{Fest}} - U_{\text{fe}}} \quad \text{P}$$

Aufgabe 4

b) Zustandstabelle

Seite 4

Zustand	P	T	x
1	$p_1 = p_2$ 1,5748 bar		
2 ges. Dampf	$p_2 = p_1$ 1,5748 bar	257,15 K	1
3	8 bar		
4	8 bar		0

$$\rightarrow \dot{w}_k = 28 \text{ W adiabat}$$

$$T \text{ im Verdampfer} = T_i - 6 \text{ K} = 263,15 \text{ K} - 6 \text{ K} = \underline{\underline{257,15 \text{ K}}}$$

T_i aus Abb 5 abgelesen: Sublimationspt: -20°C
 $= 253,15 \text{ K}$

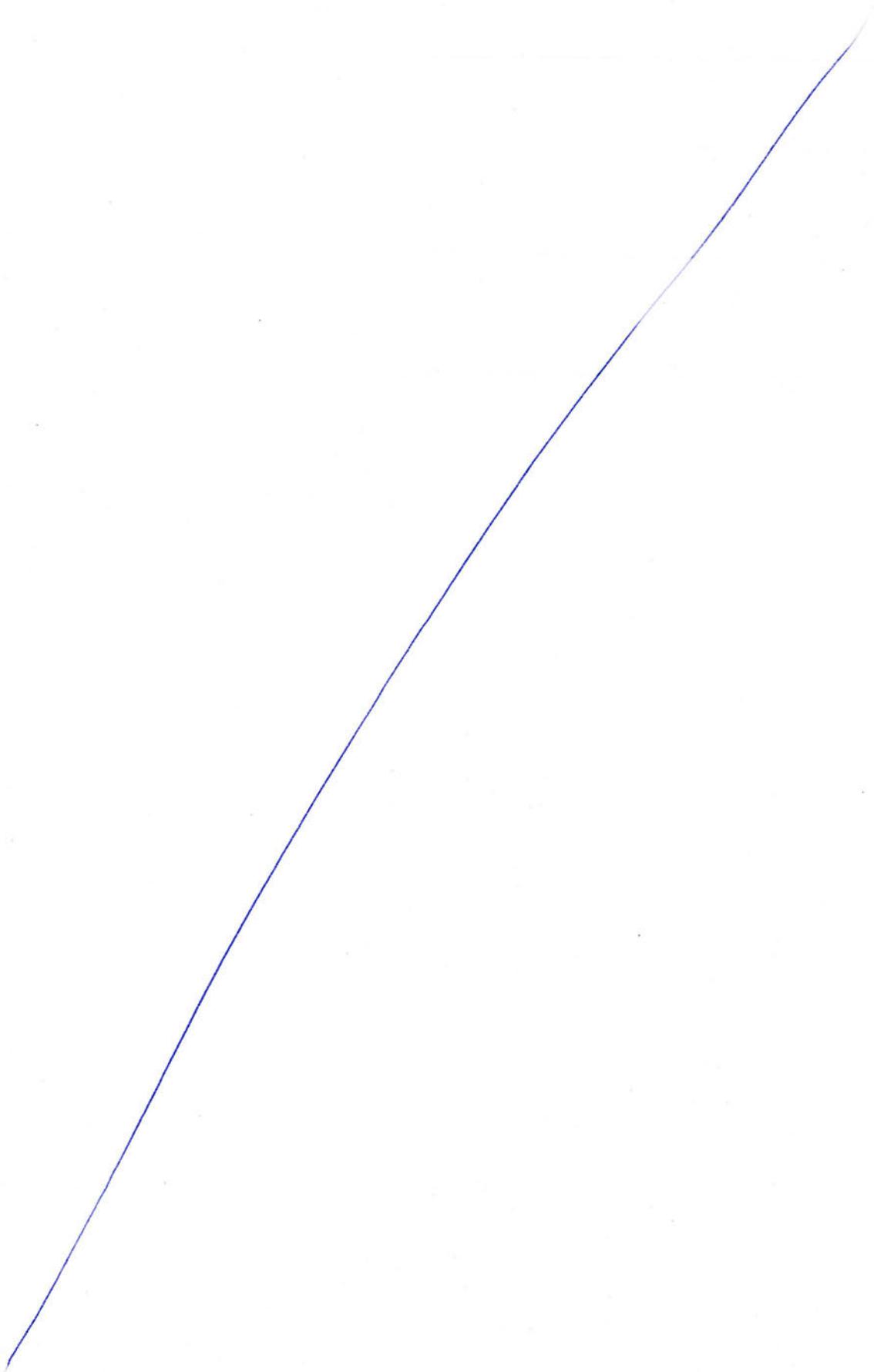
$$T_i = 253,15 \text{ K} + 10 \text{ K} = \underline{\underline{263,15 \text{ K}}}$$

b) Energiebilanz um Verdichter,

Stat. Fließprozess mit vernachlässigten

$$0 = \dot{m} [h_e - h_a + \frac{(w_e^2 - w_a^2)}{2} + g(z_e - z_a)] + \dot{Q} - \dot{W}$$

$$0 = \dot{m} [h_2 - h_3] + \dot{Q} - \dot{W} \rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{W}}{h_2 - h_3}$$



④ b) $T_2 = \text{Temp im Verdampfer} = 257,15\text{K}$
aus Abb. 5 abgelesen (siehe Seite 4)

Seite 5

~~Kiz Zaws Tab~~

~~Druck p_2 aus Tab A-10 bei 257,15K = -16°C~~

$$\underline{p_2 = 1,5748 \text{ bar}}$$

~~h_2 aus Tab A-12~~

Druck p_2 aus Tab A-12 bei -16°C

→ Dampf gesättigt → interpoliert zw.

$$T_{\text{sat}} = -18,8^\circ\text{C} \quad \& \quad T_{\text{sat}} = -12,73^\circ\text{C}$$

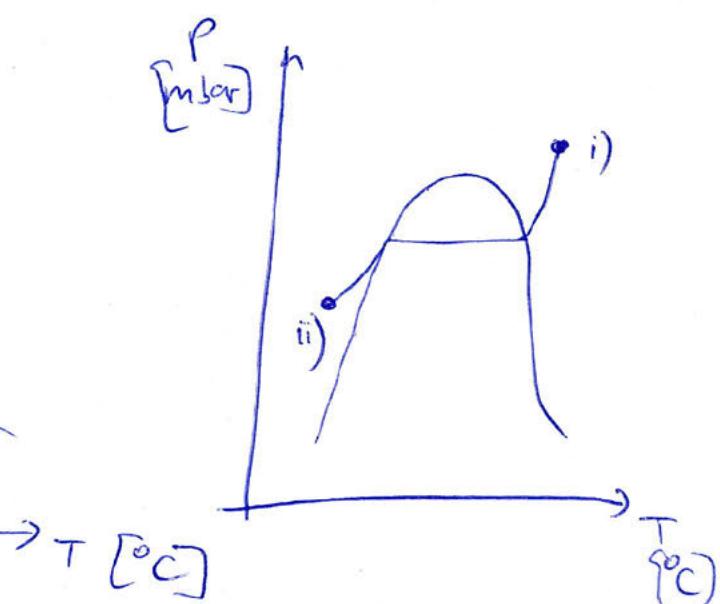
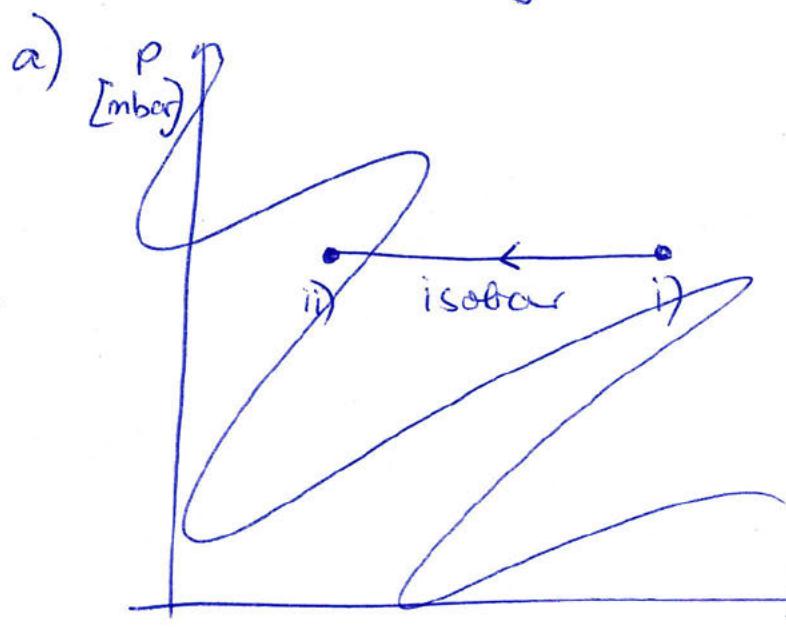
Interpoliere nach Formel:

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$p_2 = 1,4 \text{ bar} + \frac{1,8 \text{ bar} - 1,4 \text{ bar}}{-12,73^\circ\text{C} + 18,8^\circ\text{C}} (-16^\circ\text{C} + 18,8^\circ\text{C}) = \underline{1,58 \text{ bar}}$$

$h_2 = h_g$ aus Tab A-11 interpoliert für 1,58 bar

$$h_2 = 237,77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



Aufgabe 1

a) Ebilanz Reaktor: Stat. Fließprozess mit m : Seite 16

$$\dot{Q} = \dot{m} [h_e - h_a + \frac{\omega e^2 - \omega a^2}{2} + g(z - z_a)] + \dot{Q}_{aus} - \cancel{\dot{W}} + \dot{Q}_R$$

$$\dot{Q} = \dot{m} [h_e - h_a] + \dot{Q}_{aus} + \dot{Q}_R$$

$$\dot{Q}_{aus} = \dot{m} (h_e - h_a) + \dot{Q}_R$$

$$h_e \text{ aus Tab A-2 bei } 70^\circ\text{C}: h_e = h_f = 292,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_a \text{ aus Tab A-2 bei } 100^\circ\text{C} h_a = h_f = 419,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{aus} &= 0,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (292,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 419,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + 100 \text{ kW} \\ &= \underline{\underline{62,182 \text{ kW}}} \end{aligned}$$

b) Stat. Fließprozess mit \dot{m} :

$$\dot{Q} = \dot{m} [s_e - s_a] + \cancel{\frac{\dot{Q}}{F}} + \dot{S}_{ent} \dot{Q}$$

$$\frac{\dot{Q}}{F} = \dot{m} [s_a - s_e] \Rightarrow F = \frac{\dot{Q}}{\dot{m} [s_a - s_e]}$$

Da Kühlmantel adiabat $\dot{Q} = \dot{Q}_{aus}$

$$\cancel{F} = \frac{62,182 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{\dot{m} [s_a - s_e]} = \frac{62,182 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{\dot{m} [c]}$$

c) Stat. Fließprozess mit m:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{in} [S_{in} - S_{out}] + \frac{\dot{Q}}{F} + \dot{S}_{out}$$

$$\frac{dS}{dt} = 0 = \dot{m}_{in} S_{in} - \dot{m}_{aus} S_{aus} + \dot{m}_{Kf} S_{in} - \dot{m}_{Kaus} S_{aus}$$

\dot{Q} nach außen adiabat

$$+ \frac{\dot{Q}}{F} + \dot{S}_{out}$$

$$\Rightarrow S_{out} = \dot{m}_{in} [S_{aus} - S_{in}] + \dot{m}_{Kf} [S_{aus} - S_{in}]$$

d) E Bilanz Reaktor: ~~Stat. Fließ~~

~~der~~ Halboffenes System:

$$\Delta E = m_2 u_2 - m_1 u_1 + \Delta KE + \Delta PE = \Delta m h + Q$$

$$h \text{ bei } 70^\circ \text{ Wasser aus Tab A-2: } h = h_f = 292,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$
$$m_2 = m_1 + \Delta m = 5755 \text{ kg} + \Delta m$$

$$u_2 \text{ bei } 70^\circ = u_f \text{ aus Tab A-2 } \Rightarrow u_2 = 292,95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_1 \text{ bei } 100^\circ, u_f \text{ aus A-2: } u_1 = 418,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = Q_{aus} = 35 \text{ MJ} = 35000 \text{ kJ}$$

$$\Rightarrow u_2(m_1 + \Delta m) - m_1 u_1 = \Delta m h + Q$$

$$\Delta m u_2 - \Delta m h = m_1 u_1 + Q - m_1 u_2$$

$$\Delta m(u_2 - h) = m_1 u_1 + Q - m_1 u_2$$

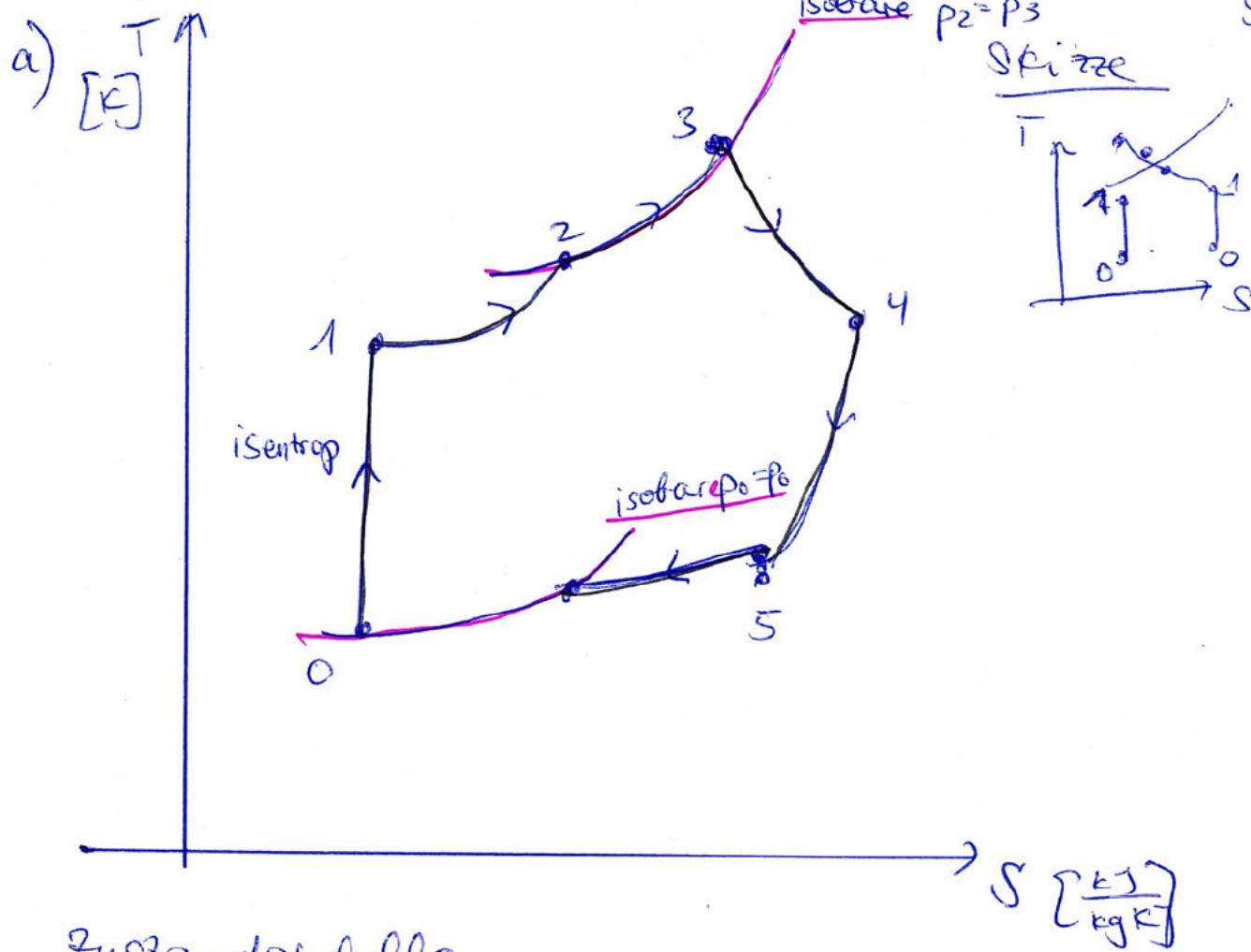
$$\Delta m = \frac{m_1 u_1 + Q - m_1 u_2}{u_2 - h}$$

e) ΔS_2

$$\Delta S = m_2 S_2 - m_1 S_1 = \Delta m S + \frac{Q}{T} + S_{\text{enz}}$$

Aufgabe 2

Seite 8



Zustandstabelle

Zustand	$p [bar]$	$T [K]$	$m [kg]$	s	h	$w \left[\frac{J}{kg} \right]$
1						
2	$p_2 = p_3$					
3	$p_3 = p_2$					
4						
5	0,5	431,9				
6						220
0	0,191	24315		$s_0 = s_1$		200

② b) $\omega_5 = 220 \frac{m}{s}$ $m = A_{\text{fl}} g w$
 $T_5 = 431,9 K$
 $P_5 = 0,5 \text{ bar} = 50 \text{ kPa}$

Seite 9

Ebilanz um Schubdüse: Stat. Fließprozess mit m

$$0 = m [h_e - h_a + \frac{(\omega_e^2 - \omega_a^2)}{2}] + \cancel{\vec{Q}} - \cancel{\vec{W}}$$

$$0 = m [h_5 - h_6 + \frac{\omega_5^2 - \omega_6^2}{2}]$$

$$h_6 - h_5 = \frac{\omega_5^2 - \omega_6^2}{2}$$

$$\begin{aligned} \omega_6^2 &= 2h_5 - 2h_6 + \omega_5^2 \\ &= 2(h_5 - h_6) + \omega_5^2 \\ &= 2 \left(\int_{T_6}^{T_5} C_p(T) dT \right) + \omega_5^2 = 2C_p(T_5 - T_6) + \omega_5^2 \end{aligned}$$

T_6 über polytropes Tempverh.:

$$\frac{T_6}{T_5} = \left(\frac{P_6}{P_5} \right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow T_6 = T_5 \left(\frac{P_6}{P_5} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = \underline{\underline{328,07 K}}$$

~~$$\omega_6^2 = 2 \cdot 1,006 \frac{kg}{K} (431,9 K - 328,07 K) + 220^2 \frac{m^2}{s^2}$$~~

$$\omega_6^2 = \sqrt{2C_p(T_5 - T_6) + \omega_5^2} = \sqrt{2 \cdot 1,006 \frac{kg}{K} (431,9 K - 328,07 K) + 220^2 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$\omega_6^2 = 48608,906 \frac{m^2}{s^2} \quad \underline{\underline{\omega_6 = 220,47 \frac{m}{s}}}$$

c) Exergie einer Strömung

$$\dot{E}_{x,\text{str}} = \dot{m} \dot{\varrho}_x = \dot{m} [h - h_0 - T_0(s - s_0) + k_e + \frac{\dot{P}_e}{\dot{\varrho}}]$$

~~Wirkungsgrad~~
~~Zustand 1:~~ ~~$\dot{m} \dot{\varrho}_{x,1} = \dot{m} \text{ges} [h_1 - h_0 - T_0(s_1 - s_0) + \frac{\dot{w}_1^2}{2}]$~~

Zustand 0: $\dot{m} \dot{\varrho}_{x,0} = \dot{m} \text{ges} [h_0 - h_0 - T_0(s_0 - s_0) + k_e]$

$$= \dot{m} \text{ges} [k_e] = \dot{m} \text{ges} \cdot \frac{\omega_0^2}{2}$$

$$e_{x,0} = \frac{\omega_0^2}{2} = 20000 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Zustand 6: $e_{x,6} = [h_6 - h_0 - T_0(s_6 - s_0) + \frac{\omega_6^2}{2}]$

$$h_6 - h_0 = c_p \dot{\varrho} (T_6 - T_0) = 97,4311 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

~~$s_6 - s_0 = c_p (T_6 - T_0) - R \cdot \ln \left(\frac{P_6}{P_0} \right)$~~

$$R_L = \frac{R}{M} = \frac{R}{28,97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$e_{x,6} = 97,4311 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - R_L \ln \left(\frac{P_6}{P_0} \right) \frac{P_0}{P_0} = 1$$

$$s_6 - s_0 = \int_{T_0}^{T_6} \frac{c_p}{T} dT = \left[c_p \ln(T) \right]_{T_0}^{T_6} = c_p (\ln(T_6) - \ln(T_0))$$

$$s_6 - s_0 = 0,337 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$e_{x,6} = 97,4311 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 243,15 \text{ kJ} \cdot 0,337 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} + \frac{510 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2}$$

$$= 130065,5 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 130065,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

② c)

Seite 10

$$\Delta \dot{E}_x = \dot{E}_{x_0} - \dot{E}_{x_0} = 110065,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

d) Exergieverlust:

$$\dot{E}_{x\text{verl}} = T_0 \dot{S}_{\text{entz}}$$

Exergiebilanz:

$$\frac{d\dot{E}_x}{dt} \xrightarrow[0, \text{ stat.}} = \sum_i \dot{E}_{\text{str},i} + \dot{E}_{\text{ex},q_j}^{\text{adiabat}} - \sum_n [w_n(t) - p_0 \frac{dv(t)}{dt}] - \dot{E}_{x\text{verl}}$$

$$\dot{E}_{x\text{verl}} = \dot{E}_{\text{str}} - \dot{W} \xrightarrow[\text{nach außen}]{\text{keine arbeit}}$$

$$\frac{\dot{E}_{x\text{verl}}}{\dot{m}_{\text{inges}}} = \frac{\dot{E}_{\text{str}}}{\dot{m}_{\text{inges}}} \Rightarrow \dot{e}_{x\text{verl}} = \dot{e}_{\text{str.}} = 100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Aufgabe 4

Seite 1/1

$$d) \quad \dot{E}_C = \frac{|\dot{Q}_{zul}|}{|\dot{W}_T|} = \frac{|\dot{Q}_{zul}|}{|\dot{Q}_{ab} - \dot{Q}_{zul}|} = \frac{\cancel{T \dot{Q}_f}}{\cancel{\dot{Q}_{ab}}}$$

$$\dot{E}_C = \left| \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_K} \right| = \frac{\dot{m}_{R134a} [h_2 - h_1]}{28 \text{ W}}$$

Energiebilanz Verdampfer

$$0 = \dot{m} [h_1 - h_2] + \dot{Q}_K$$

$$\dot{Q}_K = \dot{m} [h_2 - h_1]$$

e)