

### Aufgabe ①

a) ges:  $\dot{Q}_{\text{aus}}$

Energiebilanz im Reaktor

$$\frac{dE^{\circ}}{dt} = \sum m_i (h_i + \overset{\circ}{k_{ei}} + \overset{\circ}{p_{ei}}) + \sum \overset{\circ}{Q} - \sum \overset{\circ}{W}$$

$$0 = \text{m ein (hein-haus)} + \overset{\circ}{Q}_{\text{aus}} + \overset{\circ}{Q}_{\text{R}}$$

$$\overset{\circ}{Q}_{\text{aus}} = \text{m ein (haus-hein)} - \overset{\circ}{Q}_{\text{R}} \quad \overset{\circ}{Q}_{\text{R}} < 0 \quad \overset{\circ}{m}_{\text{ein}} = 3 \text{ kg/S}$$

Aus TAB A-2: hein ( $10^{\circ}\text{C}$ ) = 293, 98 kJ/kg

$$\text{haus} (100^{\circ}\text{C}) = 419, 04 \text{ kJ/kg}$$

$$\rightarrow [\overset{\circ}{Q}_{\text{aus}} = 137, 82 \text{ kW}]$$

b) ges:  $T_{\text{KF}}$

$$T_{\text{KF}} = \frac{\int_a^b T \text{d}h}{\dot{S}_{\text{a-fc}}} \quad \text{mit } dh = T \text{d}S + \nu \text{d}p \quad \text{, weil konstant}$$

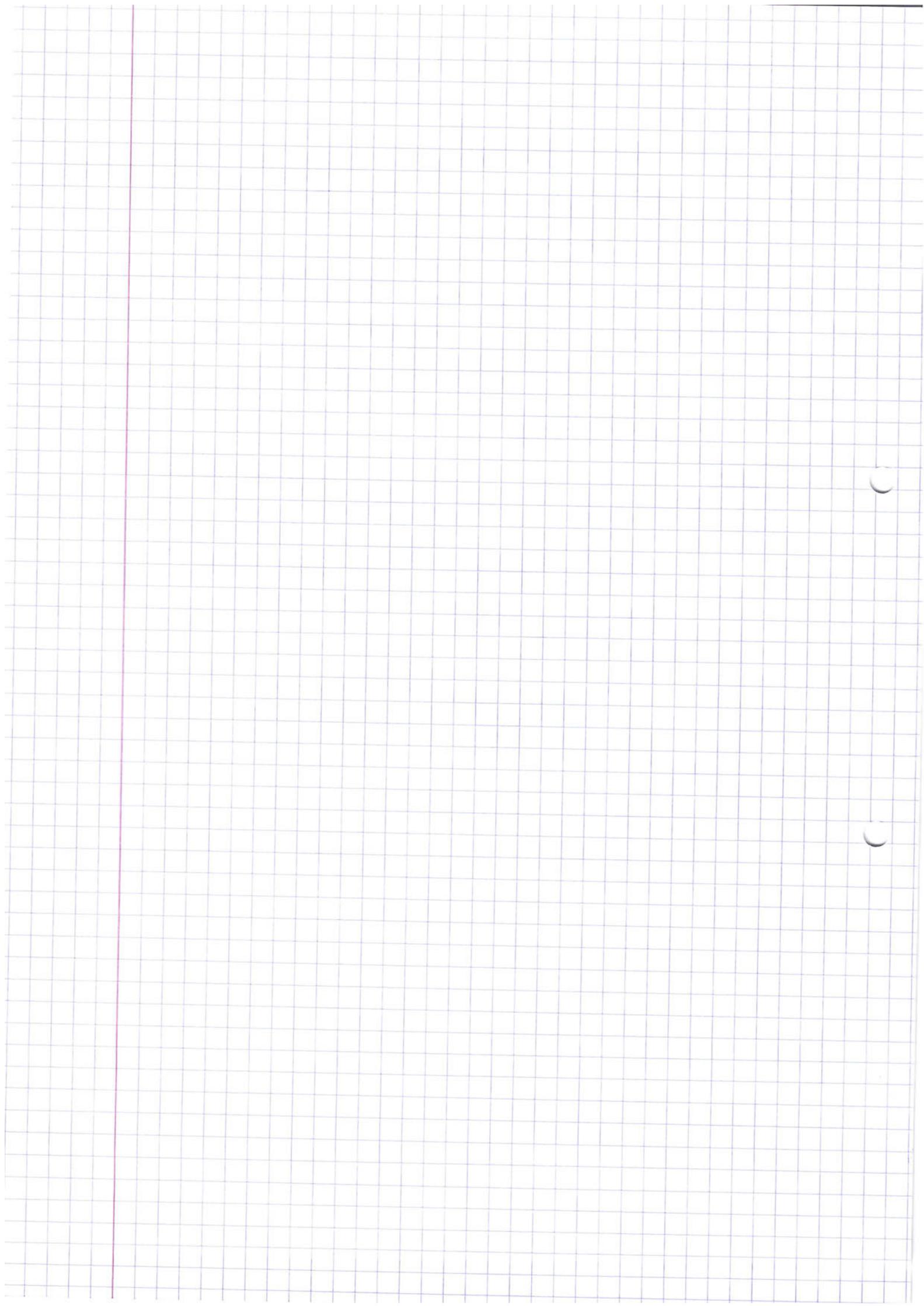
$$= \frac{\int dh}{\dot{S}_{\text{a-fc}}} \quad \rightarrow \text{ideale Flüssigkeit mit e Konst}$$

$$= \frac{c_{\text{p,f}}^{\text{if}} (T_{\text{KF,aus}} - T_{\text{KF,ein}})}{c_{\text{p,f}}^{\text{if}} \ln \left( \frac{T_{\text{KF,aus}}}{T_{\text{KF,ein}}} \right)}$$

$$\rightarrow T_{\text{KF}} = \frac{293, 15 - 283, 15}{\ln \frac{293, 15}{283, 15}} = 293, 12 \text{ K}$$

c) ges:  $S_{\text{FC}}$

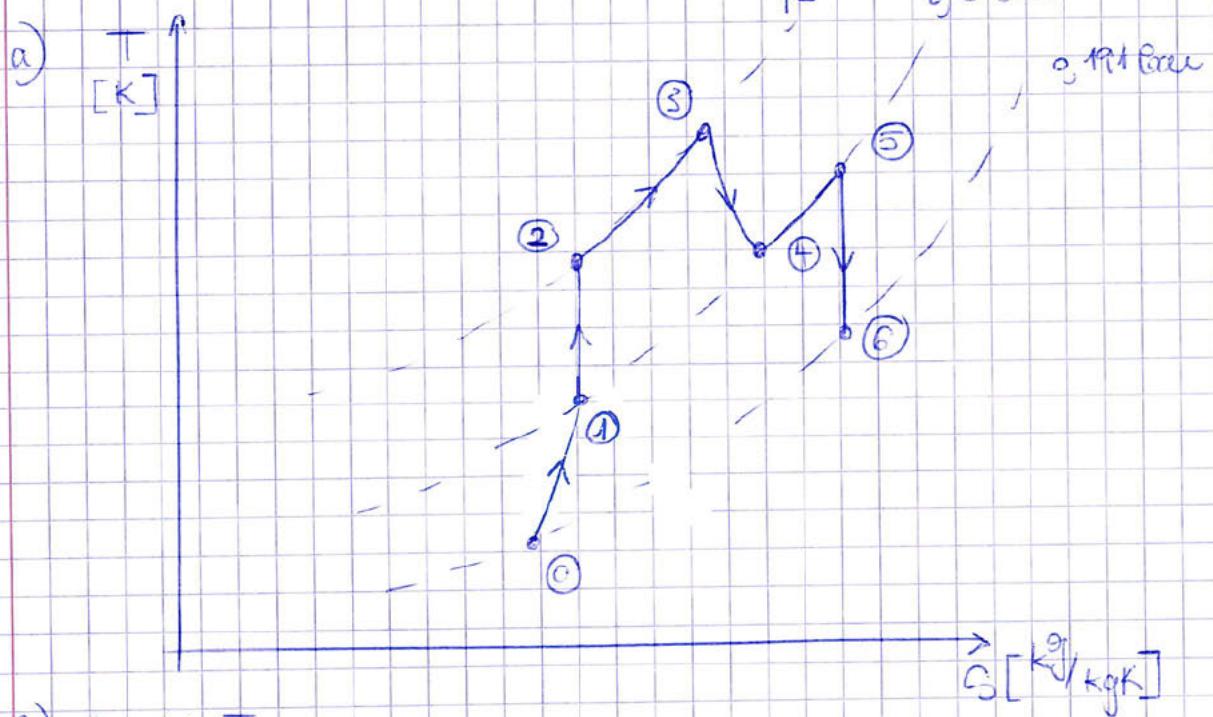
Energiebilanz im



### Aufgabe ②

geg.:  $W_L = 920 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ;  $C_{PL}^S = 1006 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ ;  $n = k = 1,4$

Zustand	[°C]	[Bar]	Q	W	h	S	Berechnen
①	-30	0,191	0				$\Delta F_f < 1$
②		0,5	0			$S_1$	$\frac{m_M}{m_K} = 5,893$
③		$p_3$	$143,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$			$f_{21}$	$T_B = 158,9 \text{ K}$
④		$p_4$	0				unrealistisch
⑤		0,5					
⑥	43,9 K	0,5	0			$S_5$	$W_S = 920 \text{ m/s}$
⑦	99,39 K	0,191				$S_5$	



b) ges.  $W_b, T_6$

②  $T_6$  mit Hilfe der Reziprozengleichung

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

$$\rightarrow T_6 = 2913,9 \text{ K}$$

③ Energiebilanz von ⑤ → ⑥

$$\begin{aligned} \dot{Q}_A^0 &= \sum_i \dot{m}_i (h_{i,6} + p_{6,i} v_i^0) + \dot{Q}_B^0 - \sum \dot{W} \\ 0 &= \dot{m} (h_5 - h_6 + \frac{1}{2} \dot{W}_5^2 - \frac{1}{2} \dot{W}_6^2) - \dot{W} \end{aligned}$$

c) Annahme  $W_0 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

ges.  $\Delta_{\text{ex,Str}}$  zwischen 0-6  $\rightarrow$  Exergiebilanz einer Strömung

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{ex,Str}} &= h_6 - h_0 - T_0 (s_6 - s_0) + \frac{1}{2} W_0^2 - \frac{1}{2} W_0^6 \\ &= c_p^{(g)} (T_6 - T_0) - T_0 \left( c_p^{(g)} \ln \left( \frac{T_6}{T_0} \right) - R \ln \left( \frac{P_6}{P_0} \right) \right) + \frac{1}{2} W_0^2 - \frac{1}{2} W_0^6 \\ &= c_p^{(g)} (T_6 - T_0) - T_0 c_p^{(g)} \ln \left( \frac{T_6}{T_0} \right) + \frac{1}{2} W_0^2 - \frac{1}{2} W_0^6\end{aligned}$$

mit  $c_p^{(g)} = 1,006 \text{ kJ/kgK}$ ,  $T_0 = -50^\circ\text{C}$ ,  $T_6 = 293,9 \text{ K}$

$$\rightarrow \Delta_{\text{ex,Str}} = 540,57 \text{ kJ/kg} - 48,37 \text{ kJ/kg} + 110,05 \text{ kJ/kg}$$

$$\boxed{\Delta_{\text{ex,Str}} = 603,7 \text{ kJ/kg}}$$

d) ges.  $\text{Ex,real}$

Exergiebilanz  $\textcircled{0} \rightarrow \textcircled{0}$

$$\frac{dE_{\text{X}}}{dt} = \sum \dot{E}_{\text{X,Str}} + \sum \dot{E}_{\text{X,Q}} - \sum \left[ \dot{W}_n - p_0 \frac{dV}{dt} \right] - \dot{E}_{\text{X,real}} \quad | : \dot{m}$$

$$\Leftrightarrow \dot{Q} = \dot{E}_{\text{X,Str}} - \dot{W}_V - \dot{E}_{\text{X,real}}$$

$$\Leftrightarrow \dot{E}_{\text{X,real}} = \dot{E}_{\text{X,Str}} - \dot{W}_V$$

Energiebilanz  $\textcircled{0} \rightarrow \textcircled{1}$   $\dot{Q} = \dot{m}(h_1 + k e_i) + \sum \dot{Q} - \sum \dot{W}$

### Aufgabe 3)

- perfektes Gas untere Kammer  $c_v = 0,633 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$   $M_g = 50 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$
- Fest-Heizung GEW Wasser oben  $V$  konst

$m_k = 38 \text{ kg}$ ,  $p_{\text{amb}} = 1 \text{ bar}$ ,  $D = 10 \text{ cm}$

Zustand ① →  $T_{\text{GEW}}$

a) ges:  $p_{\text{u1}}$ ,  $m_g$

$$\textcircled{1} \text{ GEW: } A_p u_1 g = A_p o + m_g g$$

$$p_{1g} = p_o + \frac{m_g}{A}$$

$$\text{mit } A = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 = 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$p_{1g} = 1 \text{ bar} + \frac{38 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg}}{7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$p_{1g} = 1 \text{ bar} + 9,4 \text{ bar}$$

$$\rightarrow \boxed{p_{1g} = 1,4 \text{ bar}}$$

$$\textcircled{2} \text{ } p_1 V_1 = m_g R T$$

$$\Leftrightarrow m_g = \frac{p_1 V_1}{R T} \quad \text{mit } R = \frac{8,314}{50} = 0,16628 \frac{\text{J}}{\text{gK}}$$

$$m_g = \frac{1,4 \cdot 10^5 \cdot 0,00314}{0,16628 \cdot 273,15} = \boxed{3,42 \text{ g}}$$

b)  $x_{\text{ERB}} = \frac{m_{\text{ERB}}}{m_{\text{EN}}} = 0,6$  (Zustand ①)

ges:  $T_{\text{g2}}$ ,  $p_{\text{g2}}$

$p_{\text{g2}}$  bleibt konstant weil das EW unkomprimierbar ist und somit

nur der Block und  $p_{\text{amb}}$ ,  $p_{\text{g2}}$  bestimmt

$T_{\text{g2}}$  nähert sich  $T_{\text{EW}}$  zum Gleichgewicht an erlangen.

c) Annahme  $T_{\text{g},2} = 0,023^\circ\text{C}$

ges:  $Q_{12}$  Energiebilanz ① → ② am geschlossenen System

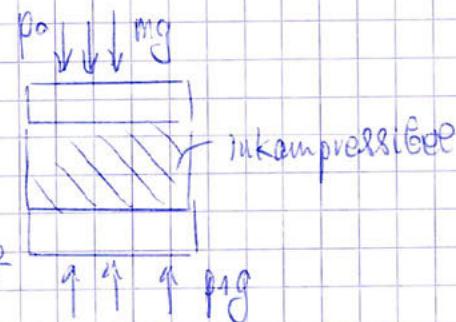
$$\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W}$$

$$\Delta U = Q_{12} - W_{12} \quad \text{mit } W_{12} = p_{\text{amb}} (V_2 - V_1)$$

$$Q_{12} = \Delta U + W_{12}$$

$$\text{mit } V_2 = \frac{m R T_2}{p_2} = 1,11 \text{ L}$$

$$\text{mit } p_2 = p_1 = 1,4 \text{ bar}$$



$$Q_{zu} = m \Delta u + W_{M2}$$

$$= mc_v (T_2 - T_1) + p_{amB} (V_2 - V_1)$$

$$= 3,49 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 5633 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (873,15 \text{ K} - 773,15 \text{ K}) + 10^5 \text{ Pa} (0,001 \text{ m}^3 - 0,03 \text{ m}^3)$$

$$\rightarrow Q_{zu} = -204,01 \text{ kJ}$$

d) ges.:  $x_{EIS}$

Energiebilanz nur am EIN von ① → ②

geschr. Syst.  $\frac{dE}{dt} = \sum \dot{Q} - \sum \dot{W}$ , da inkompressibel

$$m_{EW} \Delta u = Q_{zu} \quad \text{mit } Q_{zu} = 204,01 \text{ kJ und } x_{EIS} = \frac{m_{EIS}}{m_{EW}}$$

$$\frac{m_{EIS}}{x_{EIS}} \Delta u = Q_{zu}$$

$$\frac{m_{EIS}}{x_{EIS}} u_2 - \frac{m_{EIS}}{x_{EIS}} u_1 = Q_{zu}$$

$$\frac{m_{EIS}}{x_{EIS}} - m_{EW} u_1 = Q_{zu}$$

$$\frac{m_{EIS}}{x_{EIS}} = Q_{zu} + m_{EW} u_1$$

$$x_{EIS} = \frac{m_{EIS}}{Q_{zu} + m_{EW} u_1}$$

aus den Tabellen (TAB+1):

$$u_f(0^\circ\text{C}) = -0,045 \text{ kJ/kg}$$

$$\dots u_{ff}(0^\circ\text{C}) = -333,458 \text{ kJ/kg}$$

$$\rightarrow u_1 = u_f \dots$$

#### Aufgabe 4

i)	Zustand	T	p	q	w	h	s	Notizen
①	T <sub>i</sub> =6	p <sub>1</sub>	0K		9342			T <sub>i</sub> -GK
②	-92°C	p <sub>1</sub>	0	88W	24953	0,9169		vollständige Verdampfung x <sub>2</sub> =1
③		8Bar				0,9169	x <sub>3</sub>	
④		8Bar	0		7342			gerade vollest. kompl. x <sub>4</sub> =0

für die adiabatische Drossel gilt h<sub>1</sub> = h<sub>4</sub>

ii) T<sub>i</sub> kommt; p<sub>i</sub> = 1 mBar ( $0,6 \text{ mBar} - 0,5 \text{ mBar}$ )  
gefroren  $\xrightarrow{\text{Sublimation}}$  Gasphase

$$T_i = 10 \text{ K} \text{ über Sublimationspunkt } T_i = 10 \text{ K} + 873, 15 \text{ K} = 883, 15 \text{ K}$$

#### b) ges. Mischra

Energiebilanz zw. ② → ③

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \sum \overset{\circ}{m}_i (h_{i1} + k_{i1}^{\circ} + p_{i1}^{\circ}) + \sum \overset{\circ}{h}_i - \sum \overset{\circ}{w}_i$$

$$0 = \overset{\circ}{m}(h_{21} - h_{31}) - \overset{\circ}{w}_{11} \quad \overset{\circ}{w}_{11} < 0, \text{ da zugeführt}$$

$$\overset{\circ}{m} = \frac{\overset{\circ}{w}_{11}}{h_{21} - h_{31}}$$

$$\text{Aus TAB A-11: } h_{4f}(8 \text{ Bar}) = 93,42$$

$$h_{2g}(8 \text{ Bar}) = 864,15$$

$$S_{2g}(8 \text{ Bar}) = 0,3459$$

$$S_{3g}(8 \text{ Bar}) = 0,9066$$

AH

$$\text{Aus TAB } h_4 = h_1 = h_{4f}(8 \text{ Bar}) = 93,42$$

$$T_2 = T_i - 6 \text{ K} = 877,15 \text{ K}$$

$$\text{Aus TAB A-10 } \text{durch Interpolation } h(4^\circ\text{C}) = 249,53$$

$$S_g(4^\circ\text{C}) = 0,9169$$

$$x_3 = \frac{S_g - S_{2g}}{S_{3g} - S_{2g}} = > 1 \rightarrow \text{überhitzter Zustand}$$

c) Annahme:  $\dot{m} = 4 \text{ kg/h}$ ,  $T_{\infty} = -22^\circ\text{C}$

gel X1

Aus TAB A-10  $h_1(-22^\circ\text{C}) = 234,08 \text{ kJ/kg}$   
 (wir wissen  $h_1 = 93,42 \text{ kJ/kg}$ )

und aus TAB A-10  $p_1(-22^\circ\text{C}) = 1,9192 \text{ bar} = p_2$

$h_{f1}$  und  $h_{f2}$  aus TAB A-10

$$h_{f1} = 234,08 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{f2} = 21,77 + 0,02 \text{ kJ/kg}$$

$$x_1 = \frac{h_4 - h_{f1}}{h_{g1} - h_{f1}} \quad \text{mit } h_4 = 93,42$$

$$\rightarrow x_1 = 0,3375$$

$$d) \text{ ges. } E_k = \frac{\overset{\circ}{Q}_{\text{zu}}}{W_{\text{t}}} \quad \text{mit } W_{\text{t}} = 28 \text{ W}$$

$$\text{Energiebilanz } ① \rightarrow ⑤ \quad \dot{m}(h_1 - h_2) + \overset{\circ}{Q} = 0$$

$$\overset{\circ}{Q} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\rightarrow \overset{\circ}{Q} = 4 \frac{\text{kg}}{\text{second}} (249,53 - 93,42)$$

$$\overset{\circ}{Q} = 0,173 \text{ kW}$$

$$\rightarrow E_k = 0,18$$

e)

a)

