

# Aufgabe 1

a)

Energiebilanz um Reaktionsgeometrie:

$$\text{stationär} \Rightarrow 0 = m_{\text{ein}} [h_{\text{ein}} - h_{\text{aus}}] + \dot{Q}_R - \dot{Q}_{\text{aus}} + \dot{x} \dot{Q}_x$$

Siedenden Flüssigkeit  $\Leftrightarrow$  im 2 Phasengebiet mit  $x = 0$

$$\text{TAB A2} \Rightarrow h_{\text{ein}} = h_f = 292,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{\text{aus}} = h_f(100^\circ\text{C}) = 419,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{\text{aus}} = 0,3 [292,98 - 419,04] + 100 \\ = 62,182 \text{ kW}$$

b)

$$\bar{T}_{\text{KF}} = \frac{\int_e^a T \frac{ds}{dT}}{S_{\text{KF,aus}} - S_{\text{KF,ein}}} = \int_{\text{ein}}^{\text{aus}} \frac{T}{\frac{C_{\text{Pf}}}{C_{\text{Pf}} + R}} dT$$

(dichte Flüssigkeit)

$$= \frac{1}{C_{\text{Pf}}} \frac{1}{3} (T_{\text{aus}}^3 - T_{\text{ein}}^3)$$

$$= \frac{\int_e^a T \frac{ds}{dT}}{\int_e^a \frac{C_{\text{Pf}}}{T} dT} = \frac{\bar{T}_e \int_e^a e^{\frac{S-S_e}{C_{\text{Pf}}}} ds}{C_{\text{Pf}} \ln(\frac{T_{\text{aus}}}{T_e})} = \frac{\bar{T}_e e^{-\frac{S-S_e}{C_{\text{Pf}}}} \left[ \frac{C_{\text{Pf}}}{S-S_e} e^{\frac{S-S_e}{C_{\text{Pf}}}} - 1 \right]}{C_{\text{Pf}} \ln(\frac{T_{\text{aus}}}{T_e})}$$

$$S - S_e = C_{\text{Pf}} \cdot \ln\left(\frac{T}{T_e}\right) \Rightarrow T = T_e e^{\frac{S-S_e}{C_{\text{Pf}}}}$$

$$= \underline{\underline{\quad}}$$

c)

$$\dot{S}_{\text{ergz}} = \frac{\dot{Q}_{\text{aus}}}{T_{\text{KF}}} = \frac{65}{295} = 0,2203 \frac{\text{kW}}{\text{K}}$$

d)

Betrachten wir das geschl. Sys nach den ganzen Fl.  $\Delta m_{12}$  hinzugefügt wurde, Energiebilanz

$$\Delta E = -Q_{\text{aus},12}$$

$$= (m_{\text{ges},1} + \Delta m_{12}) \cdot u(T_{\text{Reaktor},2})$$

$$- m_{\text{ges},1} \cdot u(T_{\text{Reaktor},1})$$

$$\stackrel{\text{TAB A2}}{\Rightarrow} \Delta m_{12} = -m_{\text{ges},1} - \frac{Q_{\text{aus},12}}{u(T_2)} + m_{\text{ges},1} \frac{u(T_1)}{u(T_2)}$$

$$= -5755 - \frac{35.000}{292.95} + 5755 \frac{418.94}{292.95}$$

$$= 2355,6 \text{ kg} //$$

e)

$$S_1 = m_{\text{ges},1} S_1 \stackrel{\text{TAB A2}}{=} 5755 \cdot 1,3069 = 7521,295$$

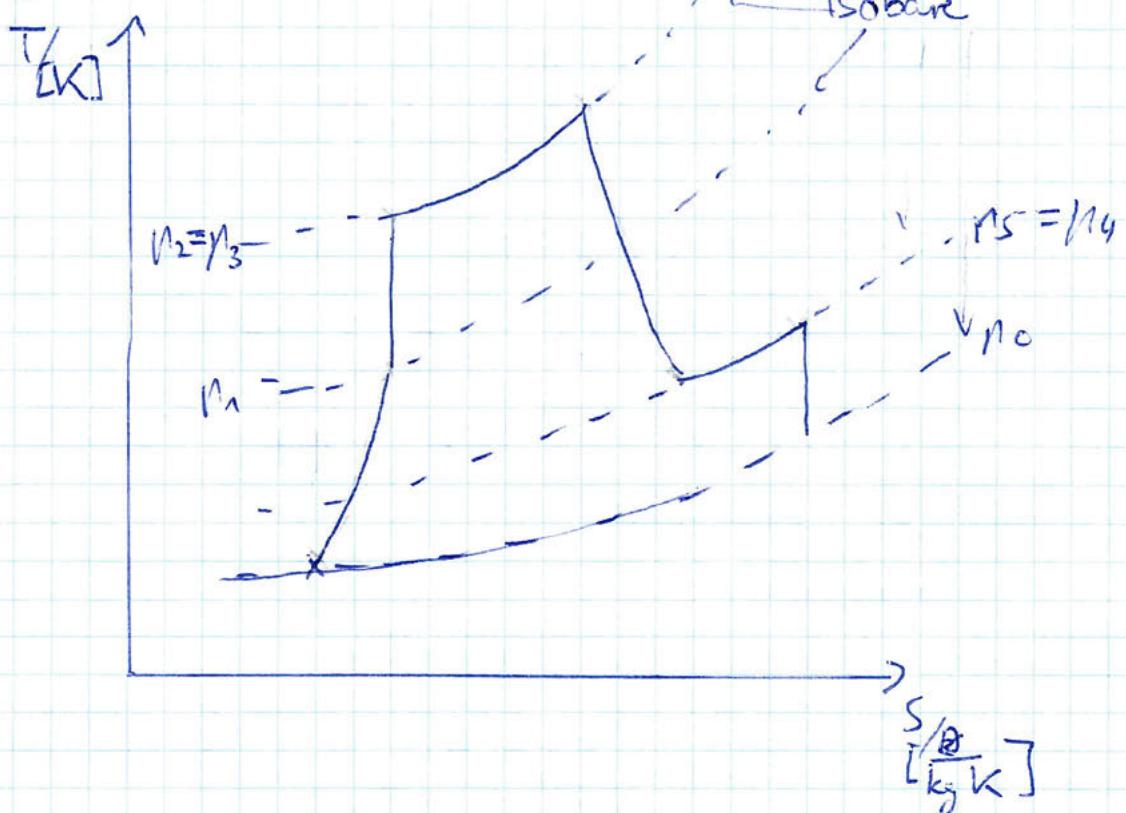
$$S_2 = (m_{\text{ges},1} + \Delta m_{12}) S_2 \stackrel{\text{TAB A2}}{=} (5755 + 3600) \cdot 0.9549$$

$$\stackrel{\text{TAB A2}}{\Rightarrow} S_2 = 8933,0895$$

$$\Rightarrow \Delta S_{12} = S_2 - S_1 = 1411,88 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

## Aufgabe 2

a)



b)

Energiebilanz im Flugzeugtriebwerk:

$$\text{stationär} \Rightarrow 0 = \dot{m}_{\text{ges}} [h_0 - h_6 + (\omega_{\text{Lufte}}^2 - \omega_6^2)/2] \\ + \dot{Q}_B - \dot{W}_{\text{em}}^C \quad (\text{I})$$

Schubdüse adiabat, reversibel  $\Rightarrow$  isentrop

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

$$\Rightarrow T_6 = 439,431,7 \cdot \left(\frac{0,191}{0,5}\right)^{\frac{0,4}{1,4}} = 328,075 \text{ K}$$

$$(\text{I}) \xrightarrow[\text{ideales Gas}]{\text{adiabat}} 0 = \dot{m}_{\text{ges}}$$

Energiebilanz im Schubdüse:

$$\text{stationär} \Rightarrow 0 = \dot{m}_{\text{ges}} [h_5 - h_6 + (\omega_5^2 - \omega_6^2)/2]$$

$$+ \cancel{\dot{Q}}^C \quad - \sum \cancel{\dot{W}_e^C} \quad \text{Schubdüse vernichtet keine Arbeit}$$

$$\Rightarrow \text{ideales Gas} \quad 0 = C_p (T_5 - T_6) + (\omega_5^2 - \omega_6^2)/2$$

$$\Rightarrow \omega_6^2 = 2 \cdot C_p (T_5 - T_6) + \omega_5^2$$

$$\omega_6 = \sqrt{2 \cdot 1.006 (439,431,7 - 328,075) + \frac{220^2}{1000}}$$

$$= 457,29 \frac{\text{m}}{\text{s}} //$$

$$= 507,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c)

$$\text{ideales Gas} \quad \Delta e_{x,\text{str}} = h_6 - h_0 - T_0 [s_6 - s_0] + (\omega_6^2 - \omega_0^2)/2$$

$$= C_p (T_6 - T_0) - T_0 [C_p \ln\left(\frac{T_6}{T_0}\right) - R \ln\left(\frac{p_6}{p_0}\right)] + (\omega_6^2 - \omega_0^2)/2$$

$$= 1.006 [340 - 243,15] - 243,5 \cdot 1.006 \cdot \ln\left(\frac{340}{243,15}\right)$$

$$+ (507,24^2 - 200^2)/2 \cdot 10^{-3}$$

$$= 125,472 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

d)

Energibilanz um Triebwerk:

$$\text{stationär} \Rightarrow \dot{Q} = \dot{m}_{\text{ges}} L$$

$$\dot{Q} = -\Delta \dot{E}_{x,\text{istr}} + \left(1 - \frac{T_0}{T_B}\right) \dot{Q}_B$$

$$- \sum_n \dot{m}_{\text{ein}} T_0 - \dot{E}_{x,\text{verl}}$$

Triebwerk leistet keine Arbeit  
über Systemgrenze

$$\Rightarrow \dot{Q} = -\Delta E_{x,\text{istr}} + \left(1 - \frac{T_0}{T_B}\right) q_B - E_{x,\text{verl}}$$

$$\Rightarrow E_{x,\text{verl}} = -100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \left(1 - \frac{243,15}{1289}\right) \cdot 1195$$

$$= 869,582 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} //$$

### Aufgabe 3

a) Kräftegleichgewicht im Zustand 1 an Membran:

$$\rho_{\text{g}1} \cdot A = p_{\text{amb}} \cdot A + (m_K + m_{\text{EW}}) \cdot g$$

$$\rho_{\text{g}1} = \frac{10^5}{10^5} + \frac{(32 + 0,1) \cdot 9,81}{0,12 \cdot \pi / 4}$$

$$= 1,401 \text{ bar} //$$

$$\text{ideales Gas} \Rightarrow \rho_{\text{g}1} V_{\text{g}1} = m_{\text{g}} R T_{\text{g}1}$$

$$R = \frac{\bar{R}}{\rho_{\text{g}}} = \frac{8,314}{50} = 0,16628 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$m_{\text{g}} = \frac{1,401 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3}}{166,28 \cdot 273,15}$$

$$= 3,422 \text{ g} //$$

b)

Zustand 2 thermodynamisches Gleichgewicht

$$\Rightarrow T_{\text{g},2} = T_{\text{EW},2}, \text{ da } x_{\text{Eis},2} > 0, x_{\text{Eis},2} \neq 1$$

$$\Rightarrow T_{\text{EW},2} = T_{\text{EW},1} = 0^\circ\text{C} \text{ (2 Phasen geben)}$$

$$\Rightarrow T_{\text{g},2} = 0^\circ\text{C} (*)$$

~~ideales Gas~~  $\Rightarrow$

da Es gilt analog zu a) das

Kräftegleichgewicht  $\Rightarrow \rho_{\text{g}2} = \rho_{\text{g}1} = 1,5 \text{ bar}$

(\*)

die Zustand 2 ist ein thermodynamisches Gleichgewicht d.h.  $T_{\text{g},2} = T_{\text{EW},2}$ , da  $x_{\text{Eis},2} > 0$  und  $x_{\text{Eis},2} \neq 1$ , muss  $T_{\text{EW},2}$  gleich  $T_{\text{EW},1}$  sein d.h.  $T_{\text{g},2} = 0^\circ\text{C}$ ,

c)

Betrachte Energiebilanz um Gas:  
 geschl. System  $\Rightarrow \Delta E = Q_{12} - W_V$

$$\text{Isobarer Prozess } n_g = n_{g1} \Rightarrow W_V = n_{g1} \int dV$$

$$= n_{g1} (V_2 - V_1)$$

$$\begin{aligned} \text{Ideales Gas} \Rightarrow \frac{n_2 V_2}{T_2} &= \frac{n_{g1} \cdot V_{g1}}{T_{g1}} \Rightarrow V_{g2} = V_{g1} \frac{T_{g2}}{T_{g1}} \\ &= 3,14 \cdot \frac{273,153}{773,15} \cdot 10^{-3} \\ &= 1,10936 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow W_V &= 1,5 \cdot 10^3 \cdot (1,10936 - 3,14) \cdot 10^{-3} \\ &= -3,04596 \cdot 10^2 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\Delta E = m_g \cdot c_v \cdot (T_{2g} - T_{g1})$$

ideales Gas

$$\begin{aligned} \Rightarrow Q_{12} &= 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 633 \cdot (273,153 - 773,15) \\ &\quad - 3,04596 \cdot 10^2 \\ &= -1443,99 \text{ J} // \end{aligned}$$

d)

Energiebilanz um EW:

geschl. System  $\Rightarrow \Delta E = |Q_{12}| - \sum \overset{\text{G}}{W_V}$   
 inkompressible Flüssigkeit  
 $\Rightarrow \partial V = 0$

$$\Delta E = m_{EW} (u_{EW2} - u_{EW1})$$

$$\begin{aligned} \xrightarrow{\text{TAB 1}} \Rightarrow u_{EW2} &= u_{EW1} + \frac{|Q_{12}|}{m_{EW}} = -200,0928 + \frac{1,5}{0,1} = -185,0928 \text{ kJ/kg} \\ &= u_{F\ddot{e}st} + X_{Eis,2} (u_{F\ddot{e}st} - u_{F\ddot{e}st,i}) \end{aligned}$$

~~TAB 1~~

$$u_{EW1} = u_{F\ddot{e}st,i} + X_{Eis,1} (u_{F\ddot{e}st} - u_{F\ddot{e}st,i})$$

$$\begin{aligned} \uparrow &= -0,045 + 0,6 (-333,458 + 0,045) \\ &= -200,0928 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

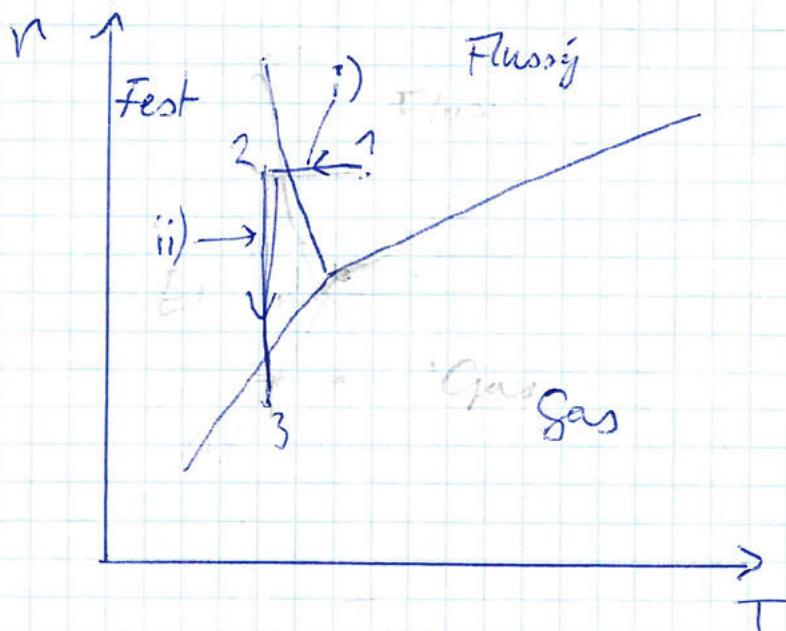
$$T_{EW} = 0^\circ$$

$$T_{2EW} = 0,003$$

$$\Rightarrow X_{Eis} = \frac{u_{EW2} - u_{Fe}}{u_{F\ddot{e}st} - u_{Fc}} = \frac{-185,0928 + 0,033}{-333,442 + 0,033} = 0,555 //$$

# Aufgabe 4

a)



b)

Energiebilanz am Kompressor:

$$\text{stationär} \Rightarrow 0 = m_{R134a} [h_2 - h_3 + \dot{Q}_{\text{net}}^{\circ}] + \sum_{\text{adiabat}} \dot{Q}^{\circ} - \dot{W}_K$$

$$T_2 = T_1 - 6K \\ = -10^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C} = -16^\circ\text{C}$$

$$h_2 = h_f(-16^\circ\text{C}) + 0.1(h_g - h_f) = h_s \\ = 29,3 - 237,74 \xrightarrow{\text{kg}} \text{TAB A10}$$

$$\text{Adiabat, reversibel} \Rightarrow s_2 = s_3 = s_f(-16^\circ\text{C}) \\ = 0,1192 \quad (\text{TAB A10})$$

Zustand 2 Superheated Dampf  $\stackrel{=}{=} 0,9298 \frac{\text{kg}}{\text{kg K}}$

$$\text{Interpolieren: } T_3 = 31,33 + \frac{0,9298 - 0,9066}{0,9374 - 0,9066} \cdot (40 - 31,33) \\ = 37,86^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow h_3 = 264,15 + \frac{37,86 - 31,33}{40 - 31,33} (273,66 - 264,15) \\ = 271,313 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{R134} = \frac{0,7856 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{271,313 - 2237,74} = 0,8311 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

c) Drossel isenthalp (und adiabat)

$$\Rightarrow h_u = h_1$$

$$h_{x_1} = h_f + x_g (h_g - h_f)$$

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 && (\text{Zustand 2 in 2 Phasen} \\ &\stackrel{T_{\text{AB}}=410}{\Rightarrow} p_2 && \text{gebiet mit } T_2 = -22^\circ\text{C}) \\ &\Rightarrow p_2 = 1,2192 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow h_f = 21,77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_g = 234,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow x_1 \approx x_2 =$$

d)

$$\dot{E}_K = \frac{|\dot{Q}_{zu}|}{|\dot{W}_{Kd}|} = \frac{|\dot{Q}_{Kd}|}{|\dot{W}_{Kd}|} =$$

Energiebilanz

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{Kd} &= \dot{m}_{R134} [h_1 - h_2] \\ &= 4 \quad [\text{...}] \end{aligned}$$