

A1

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

1. HS stat. flussprozess um Reaktionsgemisch:

$$\dot{m}_{\text{ein}}[h_{\text{ein}} - h_{\text{aus}}] + \dot{Q}_R - \dot{Q}_{\text{aus}} = 0$$

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

$$h_{\text{ein}}: 292,58 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{TAB A-2}$$

$$h_{\text{aus}}: 415,64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{TAB A-2}$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{\text{aus}} = ~~61,3 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}~~ \underline{\underline{62,182 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}}$$

b) Entropiebilanz stat. flussprozess um K<sub>1</sub> flüssigkeit:

$$\& 0 = \dot{m}(s_{\text{ein}} - s_{\text{aus}}) + \frac{\dot{Q}}{T} + \cancel{\dot{S}_{\text{ex}}} = 0, \text{ da kein Durchverlust}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{\frac{\dot{Q}}{\dot{m}(s_{\text{aus}} - s_{\text{ein}})}} = T}$$

$$\dot{Q} = -\dot{Q}_{\text{aus}}, \quad \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = -\frac{\dot{Q}_{\text{aus}}}{\dot{m}_{\text{ein}}} = \underline{\underline{207,273 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}}$$

$$s_{\text{aus}} - s_{\text{ein}} = c_{\text{if}} \ln\left(\frac{T_{\text{a,aus}}}{T_{\text{u,ein}}}\right)$$

c) Geht:  $\dot{S}_{\text{erz}}$

stat. fließprozess um Wasser:

$$\dot{S}_{\text{erz}} = \dot{m}_{\text{erz}} (s_{\text{aus}} - s_{\text{ein}}) - \frac{\dot{Q}_{\text{aus}} + \dot{Q}_{\text{R}}}{T}$$

$$s_{\text{aus}} = 1,3069 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \rightarrow \text{TAB A-2}$$

$$s_{\text{ein}} = 0,9549 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \rightarrow \text{Tab A-2}$$

$$\dot{Q}_{\text{aus}} = -65 \text{ kW} \quad , \quad \dot{Q}_{\text{R}} = 100 \text{ kW}$$

$$\rightarrow \dot{S}_{\text{erz}} = 0,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (1,3069 - 0,9549) -$$

d)  $T_2 = 70^\circ\text{C}$  ,  $\dot{m}_{\text{erz}} = 0 = \dot{m}_{\text{aus}}$

$$\Delta m_{12} @ 20^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{R12} = \dot{Q}_{\text{aus}} = 35 \text{ MJ}$$

Energiebilanz um Wasser, geschlossenes System:

$$E_2 - E_1 = -\dot{Q}_{R12} = \Delta m_{12} (u_2 - u_1)$$

$$\Delta m_{12} = \frac{-\dot{Q}_{R12}}{u_2 - u_1} \quad u_2 @ 70^\circ\text{C} = 292,95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \text{TAB A2}$$

$$u_1 @ 100^\circ\text{C} = 418,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \text{TAB A2}$$

$$\Delta m_{12} = -35 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

$$292,95 - 418,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 277,8 \text{ kg}$$

1d) Weiterführung

halboffenes System

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = \Delta m_{12} (h_{\text{ein}}) + Q_{\text{aus}}$$

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

$$\rightarrow \Delta m_{12} h_{\text{ein}} - (\cancel{m_1} + \Delta m_{12}) u_2 = m_1 u_1 - Q_{\text{aus}} + u_2 m_1$$

$$\Delta m_{12} (h_{\text{ein}} - u_2)$$

$$\rightarrow \Delta m_{12} = \frac{m_1 u_1 - Q_{\text{aus}} + u_2 m_1}{h_{\text{ein}} - u_2}$$

$$h_{\text{ein}} = 83,96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \text{Tab A-2 @ } 20^\circ\text{C}$$

$$u_1 \stackrel{100^\circ\text{C}}{=} 418,94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \text{Tab A2}$$

$$Q_{\text{aus}} = -35 \text{ MJ}$$

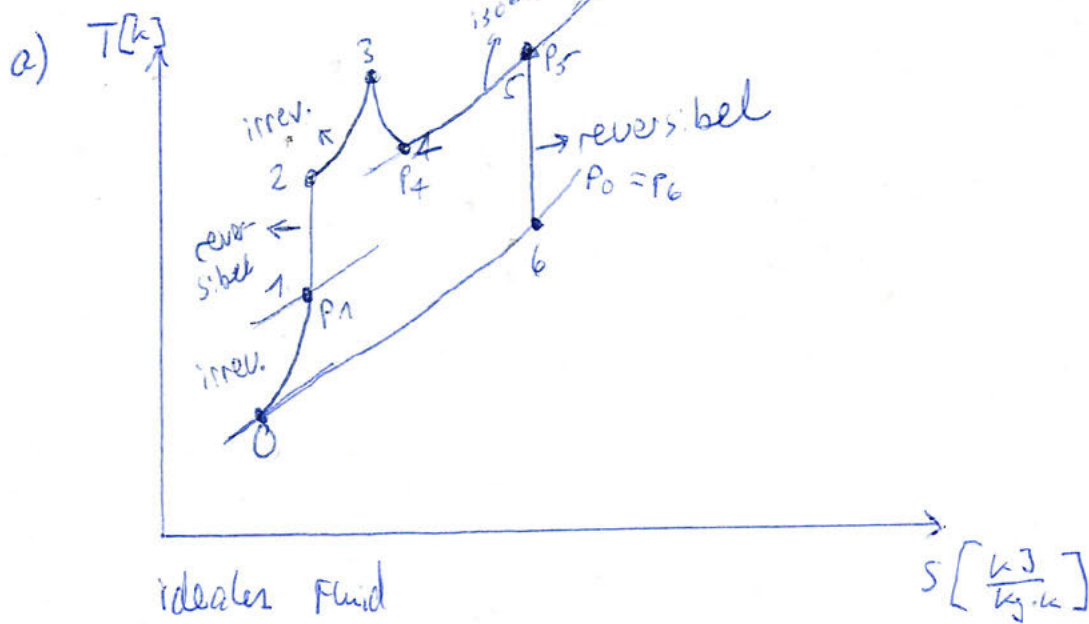
$$u_2 \stackrel{20^\circ\text{C}}{=} 292,95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \text{Tab A2}$$

e) Entropiebilanz, Halboffenes System:

$$m_2 s_2 - m_1 s_1 = \Delta m_{12} s_{\text{ein}} + \frac{Q_{\text{aus}}}{T} + s_{\text{erz}}$$

$s_1, s_2$  aus Tab A-2

## Aufgabe 2



b) Ges:  $w_6$ ,  $T_6$

stat. flussprozess am gesamten <sup>Triebwerk</sup> ~~Triebwerk~~; adiabatisch

$$\rightarrow 0 = h_{ein} - h_{aus} + \frac{w_{ein}^2 - w_{aus}^2}{2}$$

$$\rightarrow w_{aus} = \sqrt{2(h_{ein} - h_{aus}) + w_{ein}^2}$$

ideales gas:  $c_{p, tot} (T_{aus} - T_{ein}) + v^2 \Big|_{P_2=P_1}^0$

$T_{aus}$ :

$$\frac{T_{aus}}{T_{ein}} = \underbrace{\left( \frac{P_6}{P_0} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}}}_1 \rightarrow T_{aus} = T_{ein}$$

Somit ist  $w_{aus} = w_{ein}$

b) stat. Flussprozess im Schmelzrohr:

Energiebilanz, da reversibel:

Adiabat:  $h_5 - h_6 + \frac{w_5^2 - w_6^2}{2} = 0$

$$w_6 = \sqrt{2(h_5 - h_6) + w_5^2} = \underline{\underline{220 \frac{m}{s}}}$$

ideales Gas:  $c_{p, \text{luft}}(T_5 - T_6)$

$$T_6 = T_5 \left( \frac{p_6}{p_5} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \underline{\underline{328,07469 K}}$$

c) Ges:  $\Delta ex_{\text{str}} = ex_6 - ex_0$

Exergie einer Strömung:  $ex$

$$T_6 = 328,075 K$$

$$ex_6 = h_6 - h_0 - T_0(s_6 - s_0) + \frac{w_6^2}{2}, \quad w_6 = 510 \frac{m}{s}$$

$$T_0 = 243,15 K$$

~~$$ex_6 = h_6 - h_0 - T_0(s_6 - s_0) + \frac{w_6^2}{2}$$~~

$$ex_0 = \frac{w_0^2}{2}, \quad \text{alle anderen Terme} = 0, \quad \text{da } p_0 = p_{\text{Umgebungsdruck}} \text{ d. Temp.}$$

$$\rightarrow h_6 - h_0 = c_{p, \text{luft}}(T_6 - T_0) = 85,134 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_6 - s_0 = c_{p, \text{luft}} \ln\left(\frac{T_6}{T_0}\right) - R \ln\left(\frac{p_6}{p_0}\right) = 0,30136 \frac{kJ}{kg K}$$

0, da  $p_6 = p_0$

$$\rightarrow ex_6 = 345 \frac{kJ}{kg}$$

$$ex_0 = 20 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta ex = \underline{\underline{325 \frac{kJ}{kg}}}$$

2d)

Exergiebilanz am Flugzeugtriebwerk:

Adiabat,  $\dot{W}_t = 0$ , stat. Flussprozess

$$\rightarrow \dot{E}_{x, \text{verl}} = \dot{m} (\Delta e_{x, \text{str}})$$

$$\rightarrow \dot{e}_{x, \text{verl}} = \dot{e}_{x, \text{str.}} = \underline{\underline{100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}}$$



A3

a) Ges:  $p_{g,1}$ ,  $m_g$

$$pV = mRT$$

$$T = 500^\circ\text{C}, \quad V = 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$R = \frac{8314}{50} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

p:

$$p_1 = p_0 + \frac{m_{\text{Kug}} \cdot g}{A} + \frac{0,1 \text{ kg} \cdot g}{A} \quad \text{Masse Eiswasser} \quad A = \pi \cdot (0,05)^2 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow p_1 = 1,5 \text{ bar}$$

$$\rightarrow m = \frac{pV}{RT} = 0,003 \text{ kg} = \underline{\underline{3,5 \text{ g}}}$$

b) Ges:  $T_{g,2}$ ,  $p_{g,2}$

Dichteunterschied Eis/Wasser ist vernachlässigbar klein

Somit ist  $p_1 = p_2$ , da sich das Druckgleichgewicht im Zustand 2 nicht ändert im Vergleich zu 1.

$$n = \frac{c_p}{c_v} =$$



c) Energiebilanz, geschlossenes System um Gas

$$Q = W_v + (u_2 - u_1) m_g$$

$$W_v = \frac{R(T_2 - T_1)}{1 - \kappa} = 316,438 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{c_p - R} = \frac{c_v + R}{c_v} = \frac{166,28 + 633}{633} = 1,2626$$

$$Q = 316,438 \frac{\text{J}}{\text{kg}} + c_v(T_2 - T_1)$$

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

$$x_1 = 0,6, \quad m = 0,1 \text{ kg} \quad V_{1\text{EW}} = V_{2\text{EW}}$$

Geschlossenes Sys. Energiebilanz:

$$Q = m u_2 - m u_1$$

~~flüssig~~  
Wasser

~~fest~~  $u_g = \text{Eis}$ ,  $u_f = \text{flüssig}$

$$u_1 = u_{f,1} + x_1(u_{g,1} - u_{f,1})$$

@ interpol.  
 ~~$u_{f,1}$~~   $u_{f,1} @ 0^\circ\text{C} = -0,045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , Tab 1

@  $0^\circ\text{C}$   
 $u_{g,1} = -333,458 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$



$$\rightarrow u_1 = -200,0928 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

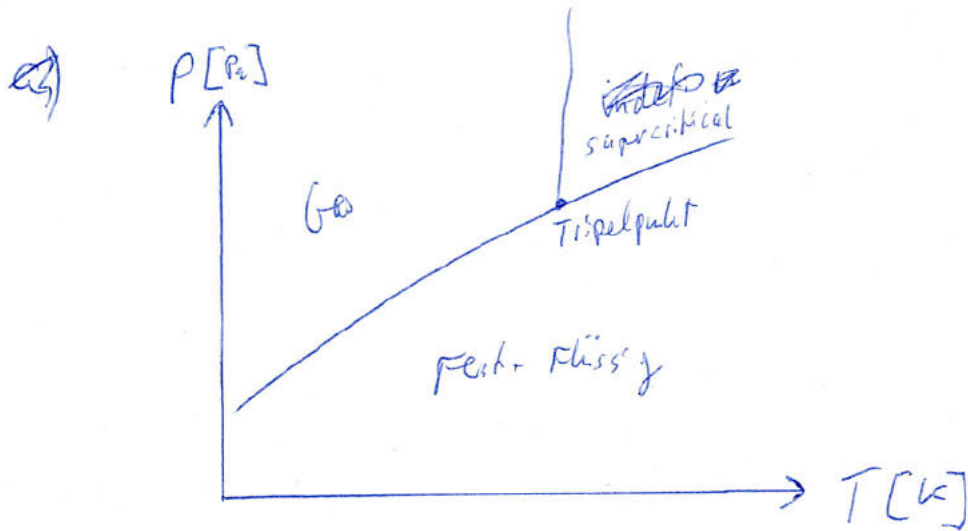
3d, weiterfühg

$$u_2 = \frac{Q}{m} + u_1 \rightarrow \frac{1500 \text{ J}}{0,1 \text{ kg}} + -200,0928 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$= \underline{-185,0928 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}, \quad T_3 = 0,003^\circ\text{C}$$

$$\rightarrow x_2 = \frac{u_2 - u_{\text{flüssig},2}}{u_{\text{es},2} - u_{\text{flüssig},2}} \xrightarrow{\text{Tab 1, @ } 0,003^\circ\text{C}} = \underline{\underline{0,555}}$$

AA



b)  $\text{R134a}$

$$P_3 = P_4 = 8 \text{ bar}$$

Stet. Prozess im Verdichter: adiab, reversibel

Entropiebilanz:  $\dot{m}(s_2 - s_3) + \cancel{\frac{Q}{T}} + \cancel{S_{\text{gen}}} = 0$

$$s_2 = s_3$$

Energiebilanz:  $\dot{m}(h_2 - h_3) - \dot{W}_k = 0$

$$\rightarrow \dot{m}_{\text{R134a}} = \frac{\dot{W}_k}{(h_2 - h_3)}$$

Zustand 3:

$$8 \text{ bar} \rightarrow \text{Tab A11} \rightarrow h_{3f} = 93,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{3,g} = 264,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

c) Prozess ist isenthalp  $\rightarrow h_1 = h_4$

$$d) \quad \varepsilon = \frac{|\dot{Q}_{20}|}{|\dot{W}_F|}$$