

Thermodynamik 1

Aufgabe 1

- a) Von der Aufgabenstellung wissen wir, dass es sich beim Kühlmittel um eine ideale Flüssigkeit handelt
c, da stationärer Fließprozess

$$\frac{dE}{dt} = \sum_i m_i [h_i + kei + pei] + \sum_j Q_j - \sum_n W_n$$

$$\dot{Q} = m_e [h_{\text{ein}} - h_{\text{aus}}] + \dot{Q}_{\text{ab}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ab}} = m_e n [h_{\text{aus}} - h_{\text{ein}}] =$$

$$h_{\text{ein}} = h_f (70^\circ\text{C}) = 292.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{von TAB A-2})$$

$$h_{\text{aus}} = h_f (100^\circ\text{C}) = 419.09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{von TAB A-2})$$

$$\dot{Q}_{\text{ab}} = 0.3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[419.09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 292.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = \underline{\underline{37.82 \text{ kW}}}$$

- b) Die thermodynamische Mitteltemperatur lässt sich wie folgt bestimmen:

$$\bar{T} = \frac{m_{\text{kühl}} (s_{\text{ein}} - s_{\text{aus}})}{\dot{Q}_{\text{ab}}} + \frac{\dot{Q}_{\text{ab}}}{\dot{S}}$$

$$\frac{1}{\dot{S}} = \frac{\int_a^b T ds}{s_b - s_a}$$

$$s_a - s_b = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c}{T} dT = c^f \ln \left(\frac{T_{\text{aus}}}{T_{\text{ein}}} \right) = c^f \cdot 0.0391155$$

$$\bar{T} = \frac{s}{c^f \cdot 0.0391155}$$

o da stationärer Fließprozess

$$\textcircled{c}) \quad \frac{ds}{dt} = \sum m_i s_i + \sum_i \frac{Q_i}{T_i} + \dot{s}_{\text{erz}}$$

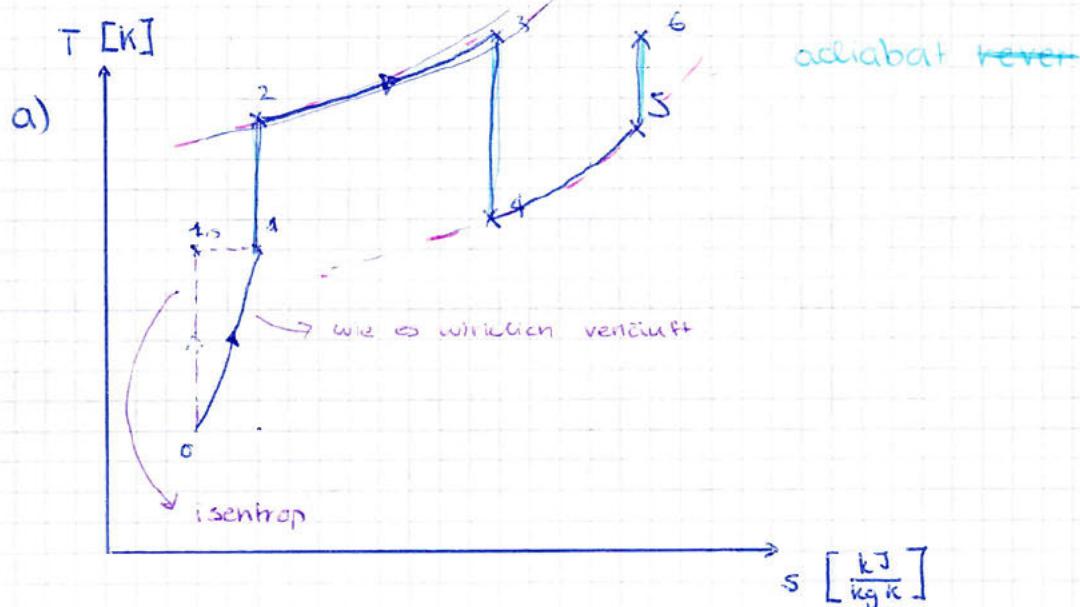
$$\dot{s}_{\text{erz}} = m (s_{\text{aus}} - s_{\text{ein}}) + \frac{Q_{ab}}{\bar{T}_{ab}}$$
$$= m c_f^f \ln(T_{\text{aus}}/T_{\text{ein}}) + \frac{65 \text{ kW}}{295 \text{ K}}$$

$$\underline{\dot{s}_{\text{erz}} = m_{\text{kühle}} \cdot c_{\text{kühl}}^f \cdot \ln\left(\frac{288.15 \text{ K}}{288.15 \text{ K}}\right) + 0.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}$$

Thermodynamik 1

isobar

Aufgabe 2



b) Stellen wir die Energiebilanz auf:

$$\frac{dE}{dt} = \sum_i m_i [h_i + k_e i + p_e] + \sum_j Q_j - \sum_n W_n \quad \begin{array}{l} \text{o, da stationärer Fließprozess} \\ \text{o, da adiabat} \end{array}$$

eine Schubkraft verrichtet keine Arbeit

$$\frac{T_6}{T_5} = \left(\frac{p_c}{p_s} \right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow T_6 = \left(\frac{p_c}{p_s} \right)^{\frac{n-1}{n}} \cdot T_5 = 0.7596 \cdot 431.9 \text{ K} \Rightarrow T_6 = 328.07 \text{ K}$$

$$0 = m_{ges} \underbrace{\left[h_5 - h_6 + \frac{\omega_s^2}{2} - \frac{\omega_c^2}{2} \right]}_{=0}$$

$$h_5 = h_f$$

$$h_5 - h_6 = c_p (T_5 - T_6) = 1.006 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (431.9 \text{ K} - 328.07 \text{ K}) = 104.44825 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\frac{\omega_c^2}{2} = h_5 - h_6 + \frac{\omega_s^2}{2}$$

$$\omega_c^2 = 2(h_5 - h_6 + \frac{\omega_s^2}{2})$$

$$\underline{\omega_c = \sqrt{2(h_5 - h_6 + \frac{\omega_s^2}{2})}} = \sqrt{2 \cdot 104.44825} = \underline{220.47 \text{ m/s}}$$

$$c) \quad ex_{,str} = [h_0 - h_0 - T_0(s - s_0) + k_e + p_e]$$

$$ex_{,str,0} = [$$

$$ex_{,str,0} - ex_{,str,c} = [h_0 - h_0 - T_0(s_0 - s_c) + \frac{\omega_e^2}{2} - \frac{\omega_0^2}{2}]$$

$$h_0 - h_0 = c_p \cdot (T_0 - T_0) = 1.006 \frac{kJ}{kgK} \cdot (328.07K - 243.15K) = 85.4295 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_0 - s_c = c_p \cdot \ln\left(\frac{T_0}{T_c}\right) - R \cdot \ln\left(\frac{p_0}{p_c}\right) = 1.006 \frac{kJ}{kgK} \cdot \ln\left(\frac{328.07K}{243.15K}\right) - 0.2869 \frac{kJ}{kgK} \cdot \ln\left(\frac{0.191bar}{0.191bar}\right)$$

$$M_{air} = 28.97 \frac{kg}{kmol} \quad (\text{von TAB A-1})$$

$$R = \frac{R}{M_{air}} = 0.2869 \frac{kJ}{kgK}$$

$$s_0 - s_c = 0.30134 \frac{kJ}{kgK}$$

$$\Delta ex_{,str} = ex_{,str,0} - ex_{,str,c} = \left[85.4295 \frac{kJ}{kg} - 243.15K \cdot (0.30134 \frac{kJ}{kgK}) + \frac{(220.47m/s)^2}{2} - \frac{(200m/s)^2}{2} \right]$$

$$\underline{\underline{\Delta ex_{,str} = 4315.67 \frac{kJ}{kg}}}$$

$$d) \quad \Delta ex_{,str} = 100 \frac{kJ}{kg}$$

Von der Zusammenfassung wissen wir dass bei statischen Fließprozessen das folgende gilt:

$$O = -\Delta ex_{,str} + ex_{,Q} - w_{e,n} - ex_{,verl}$$

o. da nach außen ausgetauscht
o. da netto die Arbeit O ist

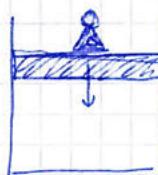
$$\underline{\underline{ex_{,verl} = -\Delta ex_{,str} = -100 \frac{kJ}{kg}}}$$

Thermodynamik 1

Aufgabe 3

a)

$$p_{1,g} = p_{\text{amb}} + \frac{F_G}{A}$$



$$F_G = 32 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 313.92 \text{ N}$$

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 0.007853982 \text{ m}^2$$

$$\underline{p_{1,g} = 1 \text{ bar} + \frac{F_G}{A} = 10^5 \text{ Pa} + 39969.59 \text{ Pa} = 1.4 \text{ bar}}$$

Um die Masse des Gases zu bestimmen können wir nun das ideale Gasgesetz anwenden:

$$m_g = \frac{p_{1,g} V_{1,g}}{R \cdot T_{1,g}} = \frac{1.4 \text{ bar} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{0.16628 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \cdot 273.15 \text{ K}} = 0.00342 \text{ kg}$$

$$R = \frac{R}{M_{\text{gas}}} = 0.16628 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$$

$$\underline{m_g = 3.42 \text{ g}}$$

b) Der Druck des Gases hat sich nicht verändert, da keine neuen Komponenten hinzugekommen sind, die neuen Druck ausüben.

$$\underline{p_{2,g} = p_{1,g} = 1.4 \text{ bar}}$$

Wenn nun im Zustand 2 keine Wärme mehr zwischen dem Gas und dem EW ~~ausgetauscht~~ übertragen wird, dann darf es keinen Temperaturunterschied zwischen dem EW und dem Gas haben, was bedeutet, dass

$$\underline{T_{2,g} = 0^\circ \text{C}}$$

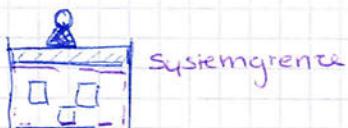
c) Um diese Aufgabe zu lösen brauchen wir die Energiebilanz

$$\frac{dE}{dt} = \sum_i m_i [h_i + k_{\text{ext}} + p_{\text{ext}}] + \sum_j \dot{Q}_j - \sum_n \dot{W}_n$$

$\rightarrow 0, \text{ da geschlossenes System}$

$\rightarrow 0, \text{ da Volumen konstant}$

System:



$$m u_1 - m u_2 = \dot{Q}_{12}$$

$$u_1 = u_{\text{flüssig}}(1.4 \text{ bar}) + x_{\text{eis},1} (u_{\text{fest}}(1.4 \text{ bar}) - u_{\text{flüssig}}(1.4 \text{ bar}))$$

$$u_{\text{flüssig}}(1.4 \text{ bar}) = -0.045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_{\text{fest}}(1.4 \text{ bar}) = -333.458 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_1 = -200.0928 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_2 =$$

$$m \cdot (u_2 - u_1) = \dot{Q} \quad (\text{nach Energiebilanz; gelöst mit System Gas})$$

$$u_{\text{gas,gas}} =$$

$$u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) = c_v (0^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}) = 0.633 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (-500\text{K}) = -316.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$m_{\text{gas}} \cdot (u_2 - u_1) = Q$$

$$\underline{\dot{Q} = -1.134 \text{ kJ}} \quad (\text{so viel Wärme wird dem Gas entzogen})$$

d)

$$m_{\text{ges}} (u_{2,\text{eis}} - u_{1,\text{gas}}) = -\dot{Q}$$

$$u_{1,\text{gas}} = u_{\text{flüssig}} \cdot x_{1,\text{eis}} (u_{\text{fest}} - u_{\text{flüssig}}) = -200.0928 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\left. \begin{array}{l} u_{\text{flüssig}}(1.4 \text{ bar}) = -0.045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ u_{\text{fest}}(1.4 \text{ bar}) = -333.458 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \right\} \text{Von TAB 1}$$

$$m_{\text{ges}} u_{2,\text{eis}} = -Q + m_{\text{ges}} u_1 = -18.875 \text{ kJ}$$

$$u_{2,\text{eis}} = -18.875 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

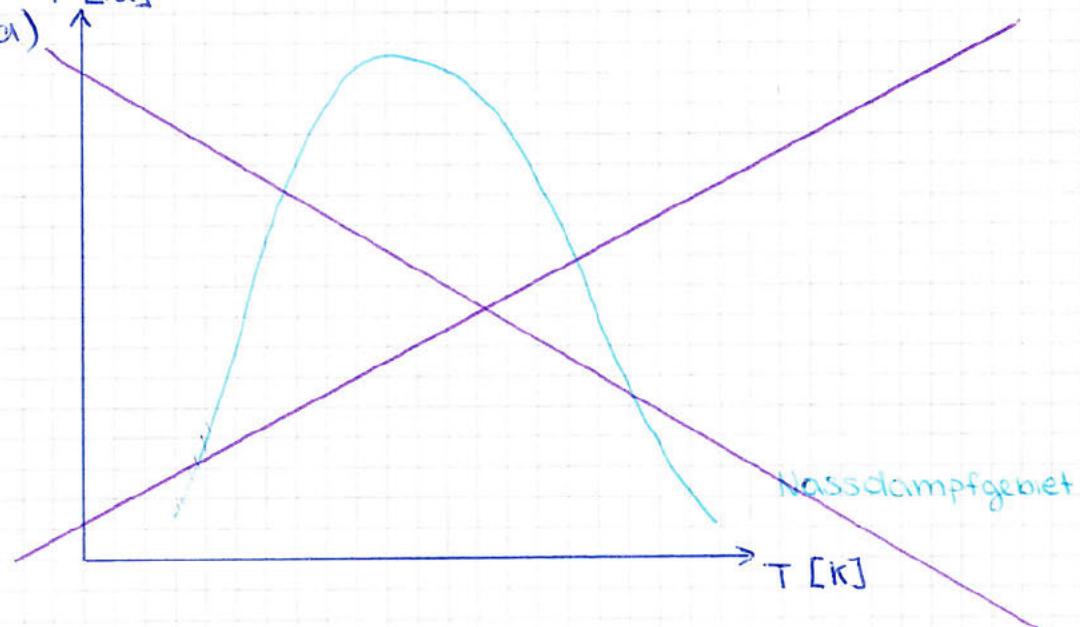
$$x_{2,\text{eis}} = \frac{u_{2,\text{eis}} - u_{1,\text{f}}(1.4 \text{ bar})}{u_{1,\text{eis}}(1.4 \text{ bar}) - u_{1,\text{f}}(1.4 \text{ bar})} = 0.566$$

Thermodynamik 1

Aufgabe 4

P [Pa]

a)



b) Stellen wir die Energiebilanz auf

$$T_1 = 10^\circ C = 283.15 K$$

↳ von Abb. 5.

$$\dot{m}_{ges} [h_2 - h_3] + \dot{W}_K$$

$$\dot{W}_K = \dot{m}_{ges} [h_2 - h_3]$$

$$-\frac{\dot{W}_K}{h_2 - h_3} = \dot{m}_{ges}$$

$$h_2 = h_g(277.15 K) = h_g(4^\circ C) = 249.53 \frac{kJ}{kg} \quad (\text{von TAB A-10})$$

~~$$h_3 = h_g(8 \text{ bar}) = 264.15 \frac{kJ}{kg}$$~~

~~$$\dot{m}_{ges} = 0.28 \text{ kg/s}$$~~

$$s_2 = s_g(4^\circ C) = 0.9169 \frac{kJ}{kgK}$$

$$s_3 = s_2 = 0.9169 \frac{kJ}{kg}$$

~~$$h_3 (8 \text{ bar}, 0.9169 \frac{kJ}{kg}) = 267.33 \frac{kJ}{kg}$$~~

$$h(8 \text{ bar}, 0.9066 \frac{kJ}{kg}) = 264.15 \frac{kJ}{kg}$$

$$h(8 \text{ bar}, 0.9374 \frac{kJ}{kg}) = 273.66 \frac{kJ}{kg}$$

} von TAB A-12 !Interpolier

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1) + y_1 = 267.33 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m}_{ges} = \frac{\dot{W}_K}{h_3 - h_2} = 0.0157 \text{ kg/s}$$

c) $\frac{dE}{dt} = \sum_i m_i [h_i + k_{ei} + p_{ei}] + \sum_j Q_j - \sum_n W_n$

O. da statischer Flussprozess
O. da keine Arbeit

$$Q_n = m [h_2 - h_1]$$

Thermodynamik 1

Aufgabe 4

