

Aufgabe 1.

Stelle Energiebilanz für offenes System des Reaktors auf:

$$\dot{E} = \underbrace{\dot{m}_{\text{ein}} \cdot h_{\text{ein}}}_{=0} + \underbrace{\dot{K}E_{\text{ein}} + \dot{P}E_{\text{ein}}}_{=0} + \underbrace{\dot{Q}_R + \dot{Q}_{\text{aus}} + \dot{W}}_{=0} - \underbrace{\dot{m}_{\text{aus}} \cdot (h_{\text{aus}} + \dot{K}E_{\text{aus}} + \dot{P}E_{\text{aus}})}_{=0} = \dot{U} = 0 \quad \text{da stationär}$$

da potentielle und kinetische Energien vernachlässigt werden können also

$$\dot{U} = \dot{m}_{\text{ein}} \cdot h_{\text{ein}} + \dot{Q}_R - \dot{Q}_{\text{aus}} - \dot{m}_{\text{aus}} \cdot h_{\text{aus}} = 0 \Rightarrow \dot{Q}_{\text{aus}} = \dot{Q}_R + \dot{m}_{\text{ein}} (h_{\text{ein}} - h_{\text{aus}})$$

h_{ein} mit Tabelle für siedende Flüssigkeit bei 70°C also A-2 mit $x=0$:

$$h_{\text{ein}}(70^\circ\text{C}) = h_f(70^\circ\text{C}) = 292,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

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

$$\Rightarrow \dot{Q}_{\text{aus}} = 100 \text{ kW} + 0,3 \text{ kg} \cdot (292,98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 419,04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) \approx \underline{\underline{62,182 \text{ kW}}}$$

b)

Kühlmittelflüssigkeit als System, offen, stationär, Nimmt nur Wärme auf, ideale Flüssigkeit.

$$\bar{T}_1 = 288,15 \text{ K}$$

$$\bar{T}_2 = 298,15 \text{ K}$$

$$p_1 = p_2$$

$$\bar{T} = \frac{\int_{s_1}^{s_2} T ds}{s_2 - s_1}$$

$$s(T_2) - s(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C(T)}{T} dT \quad \text{wenn } C \text{ als konstant an also}$$

$$\Rightarrow \bar{T} = \frac{T_2 - T_1}{C_{\text{wässflüss}} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \quad \wedge \quad \text{wenn } C_{\text{wässflüss}} \text{ als } 1 \text{ an} \Rightarrow$$

$$\bar{T} = \frac{(298,15 - 288,15) \text{ K}}{\ln\left(\frac{298,15}{288,15}\right)} \approx \underline{\underline{293,12 \text{ K}}}$$

c) Dabei dass das Kühltanksystem adiabatisch gegenüber Umgebung ist

Entropiebilanz mit \bar{T} :

$$\dot{S} = \dot{m}_{\text{KF,ein}} \cdot s_{\text{KF,ein}} - \dot{m}_{\text{KF,aus}} \cdot s_{\text{KF,aus}} + \frac{\dot{Q}_{\text{aus}}}{\bar{T}} + \dot{S}_{\text{erz}} = 0 \quad \text{da stationäres System}$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{Q}_{\text{aus}}}{\bar{T}} + \dot{m}_{\text{KF}} \cdot (s_{\text{KF,e}} - s_{\text{KF,a}}) = -\dot{S}_{\text{erz}}$$

Bestimme s_{KF} mithilfe von Tabellen

Weiterführung auf Richards

d)

$$\dot{m}_{\text{ein}} = \dot{m}_{\text{aus}} = 0$$

$$\Delta m_{12} = ?$$

$$\dot{m}_{1,\text{ges}} = 5755 \text{ kg}$$

$$T_{\text{ein},12} = 20^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Reaktor},1} = 100^\circ\text{C}$$

$$x_D = 0,005$$

$$x_{D,2} = 0$$

$$T_{\text{Reaktor},2} = 70^\circ\text{C}$$

→ Wie groß muss Δm_{12} sein, damit $\dot{m}_{1,\text{ges}}$ mit $0,005 \cdot \dot{m}_{1,\text{ges}}$ an Dampf + Δm_{12} an schwerflüchtige auf 70°C runtergekühlt werden!

⇒ Energiebilanz über geschlossenes System:

$$\dot{E} = \underbrace{\frac{d}{dt}(KE)}_{\approx 0} + \underbrace{\frac{d}{dt}(PE)}_{\approx 0} + \frac{d}{dt}(U) = \dot{Q} - \dot{W} \quad \Rightarrow \quad \dot{U} = \dot{Q}$$

innere Energie in Zustand 1 aus A-2:

$$u_{\text{Dampf}}(100^\circ\text{C}) = 2506,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_{\text{flüssig}}(100^\circ\text{C}) = 418,34 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_{\text{flüssig}}(70^\circ\text{C}) = 297,95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

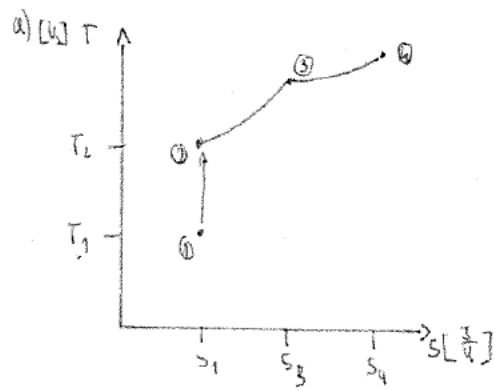
$$\Rightarrow \dot{m}_{2,\text{ges}} \cdot u_{1,\text{flüssig}}(70^\circ\text{C}) - (\dot{m}_{1,\text{ges}} \cdot (x_D \cdot u_{\text{Dampf}} + (1-x_D) \cdot u_{1,\text{flüssig}}(100^\circ\text{C}))) = \dot{Q}$$

$$(\dot{m}_{1,\text{ges}} + \Delta m_{12}) \cdot u_{1,\text{flüssig}}(70^\circ\text{C}) - \dot{m}_{1,\text{ges}} \cdot (x_D \cdot u_D + (1-x_D) \cdot u_1) = \dot{Q}_{R,12}$$

$$\Rightarrow \Delta m_{12} = \frac{\dot{Q}_{R,12} - \dot{m}_{1,\text{ges}} \cdot u_{1,\text{flüssig}}(70^\circ\text{C}) + \dot{m}_{1,\text{ges}} \cdot (x_D \cdot u_D + (1-x_D) \cdot u_1)}{u_{1,\text{flüssig}}(70^\circ\text{C})} \approx \underline{\underline{2799,6 \text{ kg}}}$$

e)

Aufgabe 2.



- ① adiab, reversibel $\Rightarrow s_1 = s_2$ $T_1 \rightarrow T_2$
 ↓
 ② isobar, Wärmezufuhr $s_1 \rightarrow s_3$
 ↓
 ③

b)

Nutze Energieerhaltung am System 6, welches stationär ist.

$$\dot{m}_e \left(\frac{W_e^2}{2} + h_e \right) - \dot{m}_a \left(\frac{W_a^2}{2} + h_a \right) = 0$$

Restliche Luft h_e mit $T_5 = 431,94$ aus Tabelle A-22 und h_a mit $p_0 = 0,5 \text{ bar}$

$$h_e(431,94) = \frac{h_p(4404) - h_a(4304)}{104} \cdot (1,94) + h(4304) \approx \underline{433,36}$$

$$h_a(0,5 \text{ bar}) = \frac{h_{0,5477} - h_{0,4690}}{0,5477 - 0,4690} \cdot (0,5 - 0,4690) + h_{0,4690} =$$

Aufgabe 3.

a)



perfektes Gas

System Gas:

$$T_{g,1} = 500^\circ\text{C} = 773,15\text{K}$$

$$V_{g,1} = 3,14\text{L} = 3,14 \cdot 10^{-3}\text{m}^3$$

$$M = 50 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

$$C_V = 0,633 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

System Eis-Wasser-Gemisch

$$m_{EW,1} = 0,1\text{kg} \Rightarrow m_{EW,2} = m_{EW,1}$$

$$T_{EW,1} = 0^\circ\text{C} \Rightarrow T_{EW,2} = ?$$

$$x_{Eis,1} = 0,6 \Rightarrow x_{Eis,2} = ?$$

Nutzen aus, dass das Gas perfekt ist insbesondere also

$$p_1 \cdot V_1 = \frac{m_{g,1}}{M} \cdot \bar{R} \cdot T_{g,1}$$

Druck auf Eis-Wasser-Gemisch

$$p_{EW,1} = p_{atm} + \frac{m_{EW} \cdot g}{\pi \left(\frac{R_2}{2}\right)^2} \approx 1,39\text{bar}$$

$$\Rightarrow p_{g,1} = p_{EW,1} = 1,39\text{bar}$$

$$\Rightarrow m_{g,1} = \frac{p_{g,1} \cdot V_{g,1} \cdot M}{\bar{R} \cdot T_{g,1}} \approx 3,42\text{g}$$

b)

Das Gas hat Wärme Q abgegeben um einen Teil des Eis zu schmelzen. Dabei $T_{g,2} < T_{g,1} \Rightarrow p_{g,2} < p_{g,1}$ da Volumen und Masse des Gases gleich bleiben. Im Gleichgewichtszustand sind $T_{EW,2} = T_{g,2}$.

Energiebilanz des Gassystems:

$$\dot{E} = \underbrace{\frac{d}{dt}(PE)}_{=0} + \underbrace{\frac{d}{dt}(KE)}_{=0} + \frac{d}{dt}(U) = \dot{Q} - \dot{W} \Rightarrow \Delta U = Q$$

Perfektes/Ideales Gas \Rightarrow innere Energie hängt nur von Temperatur ab \Rightarrow Änderung der Temperatur des Gases ist gleich Wärmemenge die vom System Eis-Wasser aufgenommen wird.

Energiebilanz des Eis-Wasser-Systems:

$$\dot{E} = \underbrace{\frac{d}{dt}(PE)}_{=0} + \underbrace{\frac{d}{dt}(KE)}_{=0} + \frac{d}{dt}(U) = \dot{Q} - \dot{W} \Rightarrow \Delta U = Q - W$$

Die Änderung der inneren Energie des Systems Eis-Wasser ist gleich der Wärme plus der an System geleisteten Volumenarbeit

$$\Delta U = Q + p_{EW,1} \cdot (V_{EW,2} - V_{EW,1})$$

Nutzen

$m_{EW,1} = m_{EW,2}$ und dass das Wasser-Eis-Gemisch inkompressibel ist, $V_{EW,2} = V_{EW,1}$

Dann geht die gesamte Wärme ab vom Gas in das Eiswasser.

ΔU :

System Wasser:

$$u_{EW}(0^\circ\text{C}) = x_{Eis,1} \cdot u_{fust} + (1 - x_{Eis,1}) \cdot u_{flüssig} \approx -200,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

System Gas:

$$\Delta u_{Gas} = m_{g,1} \cdot C_V \cdot \Delta T = m_{g,1} \cdot C_V \cdot (T_{EW,2} - T_{g,1})$$

$$u_{EW}(T_{EW,2}) = x_{Eis,2} \cdot u_{fust}(T_{EW,2}) + (1 - x_{Eis,2}) \cdot u_{flüssig}(T_{EW,2})$$

9

$$Q_{12} = m_{g,1} \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1) \approx \underline{\underline{-1092,42 \text{ J}}} \quad \left[49 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \cdot 4 \right]$$

$$\text{mit } T_2 = 0,003^\circ\text{C}$$

Aufgabe 4.

isobar, Wärme \dot{Q}_u ^{an} ~~Kälte~~ ^{abgegeben} über isobare Verdampfung
ausströmend
adiabak, reversible, Verdichtung
 $\dot{Q}=0$ $\Delta S=0$

ausströmend
isobare Kondensation, Wärme \dot{Q}_{ab} über isobare Kondensation abgegeben
adiabak

A-2

$P_1 \rightarrow P_2$

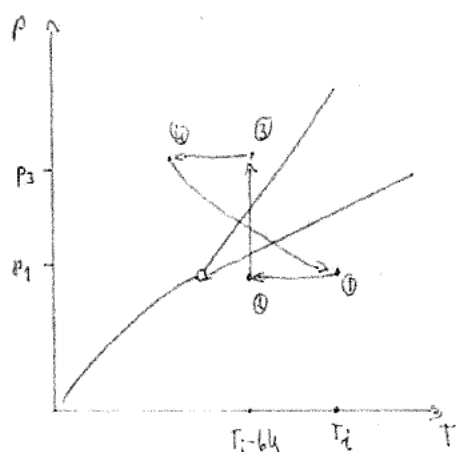
$P_2 \rightarrow P_3 = P_{b,4}$

$3 \rightarrow 4$ $P_3 = P_4$

4-1

$P_4 \rightarrow P_1$

a)



T_i aus Graph (und Substanz unter Tripelpunkt von Wasser).

$T_i = -20^\circ\text{C}$ $T_h = -26^\circ\text{C}$

b)

System (offen) Kältekreislauf; stationär

$$\dot{E}_u = \frac{d}{dt}(PE) + \frac{d}{dt}(KE) + \frac{d}{dt}(U) = \dot{m}_e \cdot (h_e + \frac{u_e^2}{2} + \frac{p_e}{\rho_e}) - \dot{m}_a \cdot (h_a + \frac{u_a^2}{2} + \frac{p_a}{\rho_a}) + \dot{Q} - \dot{W}$$

$$\Rightarrow \dot{m} \cdot (h_e - h_a) + \dot{Q}_u + \dot{Q}_{ab} - \dot{W}_u = 0$$

Bestimme Massenstrom indem \dot{Q}_u und \dot{Q}_{ab} bestimmt werden.

\dot{Q}_u ist Wärme der isobaren Verdampfung von R134a

$$\Rightarrow \frac{\dot{Q}_u}{\dot{m}_u} = u_g(T_i) - u_f(T_i) \approx 215,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 24,17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \approx 191,67$$

Tabelle A-10 bei $T_{wi} = -20^\circ\text{C}$

\dot{Q}_{ab} ist Wärme der isobaren Kondensation von R134a bei

$T_h = -26^\circ\text{C}$

$$\Rightarrow \frac{\dot{Q}_{ab}}{\dot{m}_u} = u_f(T_h) - u_g(T_h) = 16,75 - 212,43 \approx -195,68$$

$$\Rightarrow \dot{m}_u \cdot (h_e - h_a + \dot{Q}_u + \dot{Q}_{ab}) = \dot{W}_u$$

$$\Rightarrow \dot{m}_u = \frac{\dot{W}_u}{h_e - h_a + \dot{Q}_u + \dot{Q}_{ab}}$$

und h_e, h_a aus Tabelle

$$h_e = h_g(T_i) = 235,31 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_a = h_f(T_h) = 16,92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{u,134a} = 0,13 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx \underline{\underline{4,69 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}}$$