[redacted]

Aufgabe 1:

a) $\dot{Q}_{aus} = ?$

Kühlflüssigkeit = ideale Flüssigkeit

$0 = \dot{m}(h_e - h_a) + \dot{Q}_j - \cancel{\dot{W}_{t,n}}^{=0}$ → konst. Druck

$\dot{Q}_{aus} = \dot{m}(h_a - h_e)$

$h_a - h_e = c_p^{ig}(T_a - T_e)$

$=$

Energiebilanz reaktor: siedend → Nass-Dampf gebiet

$0 = \dot{m}(h_e - h_a) + \Sigma\dot{Q}_j - \cancel{\dot{W}_{t,n}}^{=0}$ $\Sigma\dot{Q}_j = 100\,kW - \dot{Q}_{aus}$

$\dot{Q}_{aus} = \dot{m}(h_e - h_a) + 100\,kW$

$h_e = ?$

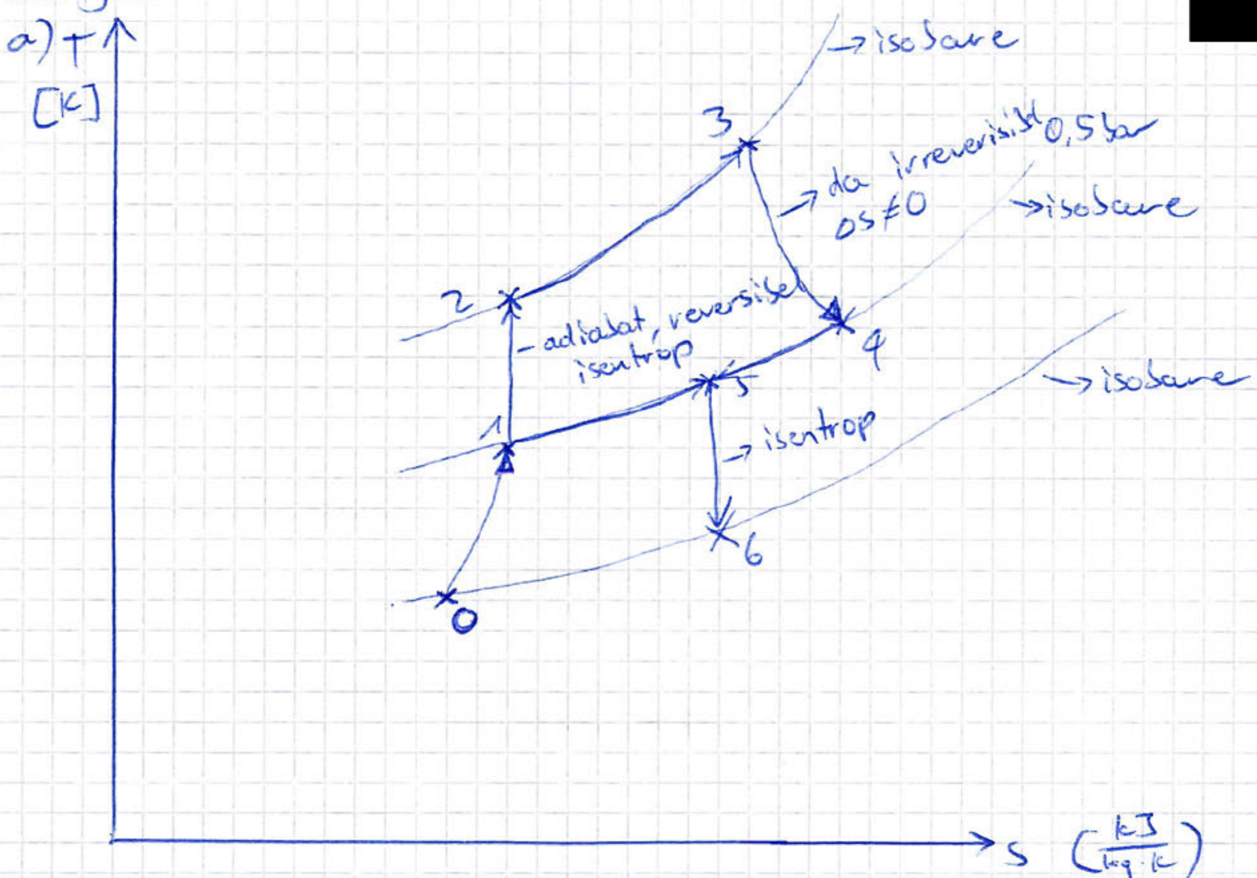
Tabelle A-1:

$h_f = 297{,}98 \frac{kJ}{kg}$ $v_f =$

$h_g = 2626{,}8 \frac{kJ}{kg}$

Aufgabe 2:

a)



b) $w_6 = ?$ $T_6 = ?$

$w_5 = 200\ m/s$ $p_5 = 0{,}5\ bar$ $T_5 = 431{,}9\,K$

$p_6 = p_0 = 0{,}191\ bar$

$$0 = \dot{m}\,(s_e - s_a) + \underbrace{\cancel{\frac{\dot{Q}_j}{T_j}}}_{=0 \,\hookrightarrow\, \text{adiabat}} + \underbrace{\cancel{\dot{S}_{erz}}}_{=0 \,\hookrightarrow\, \text{reversibel}}$$

$s_e = s_a$

Polytropes Temperaturverhältniss: $n = 1{,}4$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad | \cdot T_1$$

$$T_6 = T_5 \cdot \left(\frac{p_6}{p_5}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} = 431{,}9\,K \cdot \left(\frac{0{,}191\ bar}{0{,}5\ bar}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} = 328{,}07\,K$$

Energiebilanz:

$$0 = \dot{m}_{ges}\left(h_e - h_a + \frac{w_e^2 - w_a^2}{2}\right) + \underbrace{\cancel{\dot{Q}_j}}_{=0 \to \text{adiabat}} - \underbrace{\cancel{\dot{W}_{t,n}}}_{=0}$$

$$0 = h_e - h_a + \frac{w_e^2}{2} - \frac{w_a^2}{2}$$

$$w_a = \sqrt{2 \cdot (h_e - h_a) + w_e^2}$$

Aufgabe 2:

[redacted]

b) $h_e - h_a$ $\qquad$ $c_p^{ig} = 1{,}006 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$$h_5 - h_6 = c_p^{ig}(431{,}9K - 328{,}07K)$$

$$= \cancel{1{,}006 \tfrac{kJ}{kg K} \cdot K}$$

$$= 104{,}448 \frac{kJ}{kg}$$

$$w_e = 220 \frac{m}{s}$$ $\qquad$ $220\, m^2/s^2 \cdot kg$

$$w_a = \sqrt{2 \cdot 104{,}448 \frac{kJ}{kg} + \frac{(220\, m/s)^2}{100}}$$

$$= \sqrt{2 \cdot 104{,}488 \frac{kJ}{kg} \cdot 1000 + (220\, m/s)^2}$$

$$= \underline{\underline{507{,}244\, m/s}}$$

c) $\Delta e_{x,str} = ?$

$$e_{x,str} = (h - h_0 - T_0 \cdot (s - s_0) + ke + pe) \quad h_0 =$$

$$e_{x,str6} - e_{x,str,0}$$

$$e_{x,str6} = (h_6 - h_0 - T_0 \cdot (s_6 - s_0) + ke)$$

$$e_{x,str,0} = (\underbrace{h_0 - h_0}_{0} - T_0 \cdot (\underbrace{s_0 - s_0}_{0}) + ke) = ke0$$

$$\Delta e_{xstr} = e_{xstr6} - ke0$$

$$=$$

$$h_6 - h_0 = c_p^{ig}(T_6 - T_0) = 1{,}006 \frac{kJ}{kg K}(328{,}07K - 243{,}15K)$$

$$= 85{,}429 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_6 - s_0 = c_p^{ig} \ln\left(\frac{T_6}{T_0}\right) - \underbrace{R \cdot \ln(1)}_{0}$$

$$= 1{,}006 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot \ln\left(\frac{328{,}07K}{243{,}15K}\right) = 0{,}301345 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Aufgabe 2:

$T_0 = 293{,}15\ K$

$$\Delta e_{xstr} = \left(85{,}479 \frac{kJ}{kg} - 293{,}15\,K \left(0{,}3013 \frac{kJ}{kg \cdot K}\right) + \frac{(507{,}249\,m/s)^2}{2} - \frac{(200\,m/s)^2}{2}\right.$$

$$= 85{,}479 \frac{kJ}{kg} - 73{,}2722 \frac{kJ}{kg} + \overset{128{,}648}{\cancel{2574{,}296}} \frac{kJ}{kg} - 20\ kJ/kg$$

$$= 120{,}805 \frac{kJ}{kg}$$

d) $e_{x,verl} = ?$

$E_{x,verl} = T_0 \cdot S_{erz}$

$$0 = \dot m (s_0 - s_6) + \frac{\dot Q_J}{\bar T_j} + \dot S_{erz}$$

$$S_{erz} = \dot m (\dot s_6 - s_0) - \frac{\dot Q_j}{\bar T_j \cdot \dot m}$$

$q_j = 1195 \frac{kJ}{kg}$

$\bar T_j = 1283\,K$

$$\dot S_{erz} = s_6 - s_0 - \frac{q_B}{\bar T_B}$$

$$= 0{,}301345 \frac{kJ}{kg \cdot K} - \frac{1195 \frac{kJ}{kg}}{1283\,K} = -0{,}6257 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

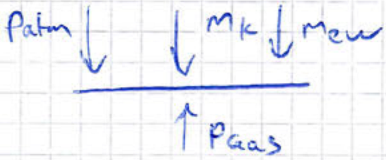
[redacted]

Aufgabe 3:

a) $p_{g,1} = ?$ $\quad m_g = ?$

Durchmesser Membran $D = 10\,cm = 0{,}1\,m$

$A = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi = 0{,}00785\,m^2$



$p_{atm} \cdot A + m_K \cdot g + m_{ew} \cdot g = p_{gas} \cdot A \quad |:A$

$p_{gas} = p_{atm} + \frac{(m_K + m_{ew}) \cdot g}{A} = 1\,bar + \underbrace{\frac{32{,}1\,kg \cdot 9{,}81\,m/s^2}{0{,}00785\,m^2}}_{Pa}$

$= 1\,bar + 40'099{,}44076\,Pa$

$p_{gas} = 1\,bar + 0{,}401\,Bar = \underline{\underline{1{,}401\,Bar}}$

$m_{gas} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$ $\qquad V = 3{,}14\,L = 0{,}00314\,m^3$

$T = 500°C = 773{,}15\,K$

$= \frac{140\,kPa \cdot 0{,}00314\,m^3}{0{,}16628\,\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 773{,}15\,K}$ $\qquad p_{Gas} = 1{,}401\,Bar = 140'099\,Pa\ N/m^2$

$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8{,}314\,kJ/kmol \cdot K}{50\,kg/kmol} = 0{,}16628\,kJ/kg \cdot K$

$m_{Gas} = 0{,}0034217\,kg = \underline{\underline{3{,}422\,g}}$

b) $x_{Eis,2} > 0$ → Wasser immernoch im fest flüssig Bereich.

Die Temperatur des Gases wird bei 0°C liegen, das Gas gibt Wärme an das Wasser ab solange die Temperatur des Gases über dem des Wassers liegt.

Der Druck des Gases wird der selbe sein wie in Zustand 1. Es muss immernoch den Gewichtskräften und dem Atmosphärendruck entgegenwirken.

Aufgabe 3: [redacted]

c) $Q_{12} = ?$

Energiebilanz für das Gas:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q}_j - \dot{W}_{V,n}$$

$$\Delta E = \overset{aus}{Q_j} - \overset{ein}{W_{V,n}}$$

$\Delta E = U_2 - U_1 \rightarrow$ kinetische und potentielle Energien vernachlässigen

$$U_2 - U_1 + \overset{ein}{W_{V,n}} = \overset{aus}{Q_j} = Q_{12}$$

$$u_2 - u_1 = c_v^{ig}(T_2 - T_1)$$

$$= 0{,}633 \frac{kJ}{kg \cdot K}(0°C - 500°C)$$

$$= -316{,}5 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$\overset{ein}{W_{V,n}} \rightarrow$ Volumenänderungsarbeit bei konst. Druck

$$\overset{ein}{W_{V,n}} = p \cdot (V_2 - V_1)$$

$$= 1{,}401\,Bar\,(V_2 - 3{,}14\,L) \qquad V_1 = 0{,}00314$$

$$V_2 = \frac{m \cdot R \cdot T_{=0°C}}{p} = \frac{0{,}00392\,kg \cdot 0{,}16628 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 273{,}15\,K}{140{,}1\,kPa} = 0{,}001109\,m^3$$

$$\dot{W}_{V,n} = 140{,}1\,kPa\,(0{,}001109\,m^3 - 0{,}00314\,m^3)$$

$$= -0{,}2845\,kJ$$

$$(u_2 - u_1) \cdot m = \Delta U_{12} = -316{,}5 \frac{kJ}{kg} \cdot 0{,}00392\,kg = -1{,}083\,kJ$$

$$Q_{12} = W_{V,n} + m(u_2 - u_1) = -284{,}5\,J - 1083\,J = \underline{\underline{-1367{,}5\,J}}$$

Aufgabe 3:

[redacted]

d) $m_{EW} = 0{,}1\,kg \quad x_{Eis} = 0{,}6$

~~Eiswasser und Gas im GGW~~
~~innere Energie ist gleich~~

u_1 Gas $= \cancel{172{,}9\,\frac{kJ}{kg}}\ 483{,}40395\,\frac{kJ}{kg}$

u_2 Gas $= 172{,}9\,\frac{kJ}{kg}$

u_1 eiswasser

$p = ?$

$$\frac{\downarrow m_k \downarrow p_{atm}}{\uparrow p_{eiswasser}}$$

$$\frac{m_k \cdot g}{A} + p_{atm} = p = \frac{32\,kg \cdot 9{,}81}{0{,}00785\,m^2} = 1{,}4\,bar$$

$u = u_{Fest} + x \cdot (u_{Flüssig} - u_{Fest}) \qquad x = 0{,}4 \rightarrow$ da $\cancel{0{,}4}$ 0,6 Eis

$$u = -333{,}458\,\frac{kJ}{kg} + 0{,}4\left(-0{,}045\,\frac{kJ}{kg} - \left(-333{,}458\,\frac{kJ}{kg}\right)\right)$$

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

$$u_2 = u_1 + \frac{Q_{12}}{m_{EW}} \qquad \Delta E = Q_j - \underbrace{\cancel{W_{V,in}}}_{=0}$$

$=0 \rightarrow$ keine Volumenänderung

$\Delta E = (u_2 - u_1$

$$u_2 = -200{,}0928\,\frac{kJ}{kg} + \frac{Q_{12}}{0{,}1\,kg} = \cancel{\frac{1{,}3675\,kJ}{0{,}1\,kg}}$$

$$= -200{,}0928\,\frac{kJ}{kg} + \frac{1{,}3675\,kJ}{0{,}1\,kg} = -186{,}418\,\frac{kJ}{kg}$$

$$u_2 = u_{Fest} + x\,(u_{Flüssig} - u_{Fest})$$

$$x = \frac{u_2 - u_{Fest}}{u_{Flüssig} - u_{Fest}} \qquad \xrightarrow{x=} \text{anteil Wasser}$$

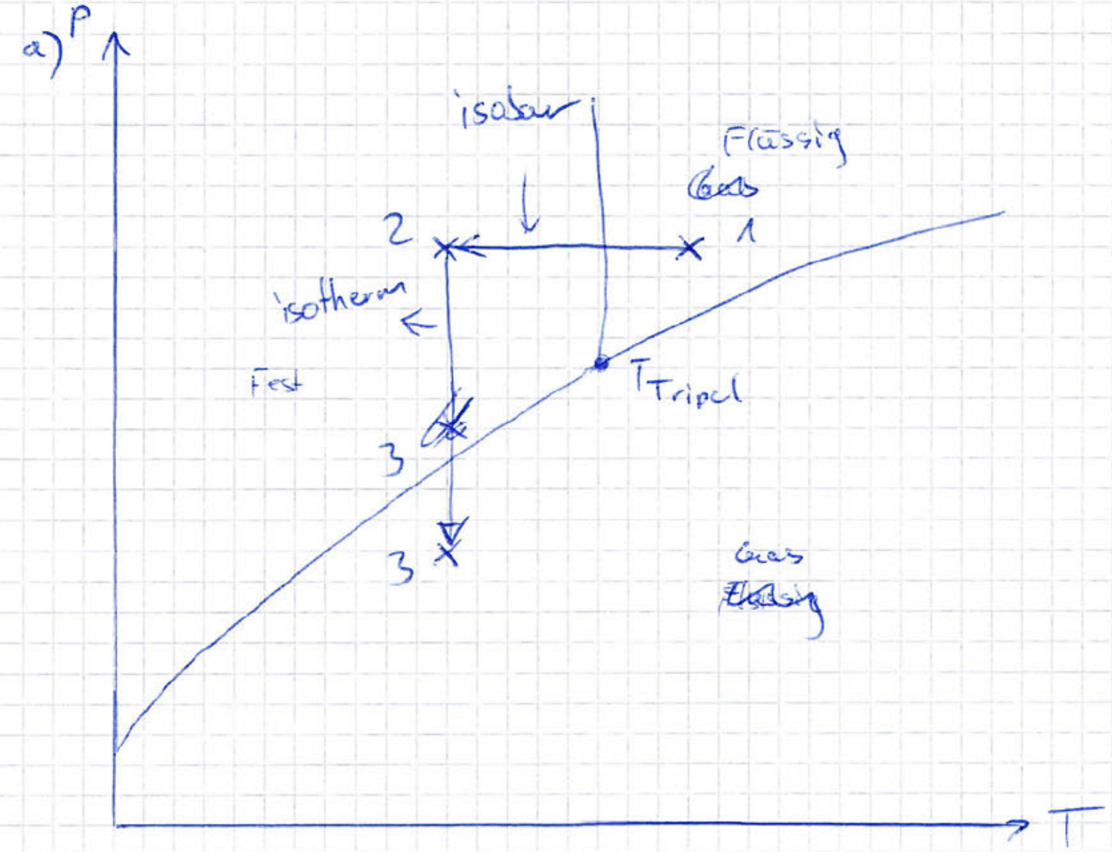
$$= \frac{-186{,}418\,\frac{kJ}{kg} - \left(-333{,}458\,\frac{kJ}{kg}\right)}{-0{,}045\,\frac{kJ}{kg} - \left(-333{,}458\,\frac{kJ}{kg}\right)} = 0{,}441$$

$$x_{Eis} = 1 - x = \underline{\underline{0{,}559}}$$

[redacted]

Aufgabe 4:

a)



b) $\dot{m}_{R134a} = ?$

isobare Verdampfung R134a

$\dot{W}_K = 28\,W$

$T_{Verdampfer} = T_i - 6K = 257{,}15\,K$

$T_i = ? = -10°C = 263{,}15$

Energiebilanz über Verdichter:

$0 = \dot{m}(h_e - h_a) + \underbrace{\sum \dot{Q}_j}_{=0 \rightarrow \text{adiabat}} - \dot{W}_{t,n}$

$\dot{m} = \dfrac{W_{t,n}}{h_e - h_a} = \dfrac{-0{,}028\,kW}{}$

$h_e = ?$ $T = -16°C$ von R134a

$h_e = h_2$ $x_2 = 1$

Tabelle A-10:

$T@-16°C$ $h_g = 237{,}74\,\frac{kJ}{kg} = h_2 = h_e$

$h_a = ?$

Aufgabe 4: [redacted]

b) Tabelle A-11

$p@\ 8\ bar$

$h_f = 93{,}42 \frac{kJ}{kg}$

$h_g = 264{,}15 \frac{kJ}{kg}$

adiabat Reversibel:

$\Delta S = 0$

$s_2 = s_3$

$s_2 = ?$

Tabelle A-10

$s@-16°C \quad s_g = 0{,}9298 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

Tabelle A-12

$p@\ 8 bar$

$s@T_{sat} = 0{,}9066 \qquad h_{sat} = 264{,}15\, kJ/kg$

$s@40°C = 0{,}9379 \qquad h_{40} = 273{,}66\, kJ/kg$

$$h_3 = \frac{h@40°C - h@sat}{s@40°C - s@sat}(s - s@sat) + h@sat$$

$$= \frac{273{,}66 \frac{kJ}{kg} - 264{,}15 \frac{kJ}{kg}}{0{,}9379 \frac{kJ}{kg \cdot K} - 0{,}9066 \frac{kJ}{kg \cdot K}} \cdot \left(0{,}9298 \frac{kJ}{kg \cdot K} - 0{,}9066 \frac{kJ}{kg \cdot K}\right) + 264{,}15 \frac{kJ}{kg}$$

$$= 271{,}313 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{m} = \frac{-0{,}028\, kW}{237{,}79 \frac{kJ}{kg} - 271{,}313 \frac{kJ}{kg}} = \underline{0{,}8339 \frac{kg}{s}}$$

Energiebilanz über Verdichter:

$0 = \dot{m}(h_e - h_a) + \dot{W}_{t,n}$

$\dot{m} = \frac{W_{t,n}}{h_e - h_a}$

$h_e = h_2$

$h_a = h_3$

$h_2 \rightarrow$ Tabelle A-10:

$T@-16°C: \ h_g = 237{,}79 \frac{kJ}{kg}$

Aufgabe 4:

[redacted]

c) Dampfanteil $x_1 = ?$

$x_4 = 0 \quad p_4 = 8\,bar$

Tabelle A-11:

$h_f = 93{,}42\,\frac{kJ}{kg} \rightarrow p@\ 8bar$

Energiebilanz drossel:

$0 = \dot{m}\,(h_e - h_a) + \underbrace{\cancel{\dot{Q}_j}}_{=0} - \underbrace{\cancel{\dot{W}_{t,in}}}_{=0} \rightarrow$ weil Drossel

$h_e = h_a \qquad h_e = 93{,}42\,\frac{kJ}{kg}$

Tabelle A-10

$T@-16°C$

$h_f = 79{,}30\,\frac{kJ}{kg} \quad h_g = 237{,}74\,\frac{kJ}{kg}$

$h = h_f + x\,(h_g - h_f)$

$x = \frac{h - h_f}{h_g - h_f} = \cancel{h_f@8bar}\ \frac{93{,}42\,\frac{kJ}{kg} - 79{,}30\,\frac{kJ}{kg}}{237{,}74\,\frac{kJ}{kg} - 79{,}30\,\frac{kJ}{kg}} = \underline{\underline{0{,}3076}}$

d) $\varepsilon_K = ? \quad \frac{|\dot{Q}_{zu}|}{|\dot{W}_t|}$

$\dot{Q}_{zu} = Q_K$

Energiebilanz verdampfer 1:

$0 = \dot{m}\,(h_e - h_a) + Q_K - \underbrace{\cancel{\dot{W}_{t,in}}}_{=0} \qquad h_e = 93{,}42\,\frac{kJ}{kg}$

$Q_K = \dot{m}\,(h_a - h_e) \qquad h_a = h_1 = 237{,}74\,\frac{kJ}{kg}$

$Q_K = 0{,}8333\,\frac{g}{s}\left(237{,}74\,\frac{kJ}{kg} - 93{,}42\,\frac{kJ}{kg}\right)$

$= 0{,}15038\,kJ/s$

$\varepsilon_K = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{W}_t} = \frac{0{,}15038\,kW}{0{,}028\,kW} = \underline{\underline{5{,}371}}$

Aufgabe 4:

[redacted]

e) Die Temperatur würde sich ~~weiter~~ absenken bis an den Punkt wo Temperatur T_{innen} und die Temperatur im Verdampfer gleich wahren.