[redacted]

A1

a) ~~stat. Fliessp.:~~ $\cancel{0 = \dot{m}(h_1 - h_2) + \dot{Q}_{AB} - \dot{W}}$

$\cancel{\dot{Q}_{AB} = \dot{m}(h_2 - h_1) \rightarrow \dot{m} = \dot{m}_{ein}}$

↳ ~~Kata~~ halboff. System:

~~1. HS: $\Delta E = m_2 u_2 - m_1 u_1 = \Sigma \dot{m}(h_{ein}) + Q - \cancel{W}^{0}$~~ Vol. konst.

~~$m_2 = m_1 \rightarrow$ konst.~~

~~$m(u_2 - u_1) = \dot{m}_{ein}($~~

↳ stat. Fliessprozess für Kühlfl.: 1. HS

$0 = \dot{m}(h_1 - h_2) + \dot{Q} - \cancel{\dot{W}_t}^{0} \rightarrow$ isobar

$Q_{aus} = \dot{m}(h_2 - h_1)$

↳ ideale Fl. $\rightarrow \Delta h = \int_{T_1}^{T_2} c_{if}\, dT + v_{if} \cancel{(p_2 - p_1)}^{0}$ ← isobar

↳ $\Delta h = c_{if}(T_2 - T_1)$

$\dot{Q}_{aus} = \dot{m} \cdot c_{if}(T_2 - T_1)$

A1

a) halb. offener Syst. 1. HS

$Q \rightarrow$ Volumen konstant

$m(u_2 - u_1) = \dot{m}_{ein} h_{ein} - \dot{m}_{aus} h_{aus} + \dot{Q}_{aus} - \cancel{W}^{0}$

$Q_{aus} = m(u_2 - u_1) - \dot{m}_{ein} \cdot h_{ein} + \dot{m}_{aus} \cdot h_{aus}$

$\dot{Q}_{aus} = m(u_2 - u_1) - \dot{m}_{ein}(h_{ein} - h_{aus})$ ↳ $\dot{m}_{ein} = \dot{m}_{aus}$

↳ sied. Flüssigk. $\rightarrow x_{ein} = 0 = x_{aus}$

↳ $h_{ein} = h_f(70°C) \rightarrow$ in Tab. A-2

$h_{ein} = h_f(70°C) = 292.98 \frac{kJ}{kg}$

↳ $h_{aus} = h_f(100°C) \rightarrow$ in Tab. A-2

$h_{aus} = 419.04 \frac{kJ}{kg}$

↳ x_D bleibt konst, T_{innen} bleibt konst., Systemmasse bleibt konst $\rightarrow m(u_2 - u_1) = 0$

↳ $u_2 = u_1$

A1

a) $\dot{Q}_{aus} = -\dot{m}_{ein}(h_{ein} - h_{aus})$

~~$\dot{Q}_{aus} = -213.606\ kW$~~

$\dot{Q}_{aus} = 37.818\ kW$

b) Entropiebilanz, stat. Fliesspr.

$$0 = \dot{m}(s_1 - s_2) + \frac{\dot{Q}}{\bar{\bar{T}}} + \cancel{\dot{S}_{erz}} \quad 0 \rightarrow \text{isobar}$$

$$\frac{\dot{Q}_{aus}}{\bar{\bar{T}}} = \dot{m}(s_2 - s_1)$$

$$\bar{\bar{T}} = \frac{\dot{Q}_{aus}}{\dot{m}(s_2 - s_1)} \rightarrow s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c^{if}}{T} dT$$

ideale Fl.

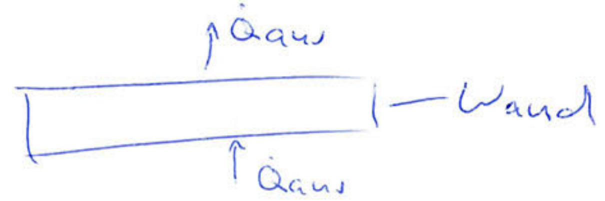
$$= c^{if} \cdot \ln(T)\Big|_{T_1}^{T_2}$$

$$= c^{if} \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$\bar{\bar{T}}_{KF} = \frac{\dot{Q}_{aus}}{\dot{m}\left(c^{if} \cdot \ln\left(\frac{T_{KF,aus}}{T_{KF,ein}}\right)\right)}$$

↳ $\dot{Q}_{aus} = 65\ kW$

c)



↳ Entropie Bilanz, stat. Fliesspr. → kein Massenfluss

$$0 = \cancel{\dot{m}(s_1 - s_2)} + \frac{\dot{Q}}{\bar{\bar{T}}} + \dot{S}_{erz}$$

$$\dot{S}_{erz} = \frac{|\dot{Q}_{aus}|}{\bar{\bar{T}}_{KF}} \rightarrow \dot{Q}_{aus} = 65\ kW$$

↳ $\bar{\bar{T}}_{KF} = 295\ K$

$\dot{S}_{erz} = 0.22\ \frac{kW}{K}$

[redacted]

A1

d) 1.HS halboffenes System:

$\Delta E = m_2 \cdot u_2 - m_1 \cdot u_1 = \Delta m_{ein} \cdot h_{ein} + Q - \cancel{W}^{0}$

$-Q + \cancel{m_2}(m + \Delta m_{ein}) u_2 - m \cdot u_1 = \Delta m_{ein} h_{ein}$

$-Q + m(u_2 - u_1) = \Delta m_{ein}(h_{ein} - u_2)$

$$\Delta m_{ein} = \frac{-Q + m(u_2 - u_1)}{h_{ein} - u_2}$$

$\cancel{u_1 =}$ ↳ u_2, u_1, h_{ein} aus Tab. raussuchen

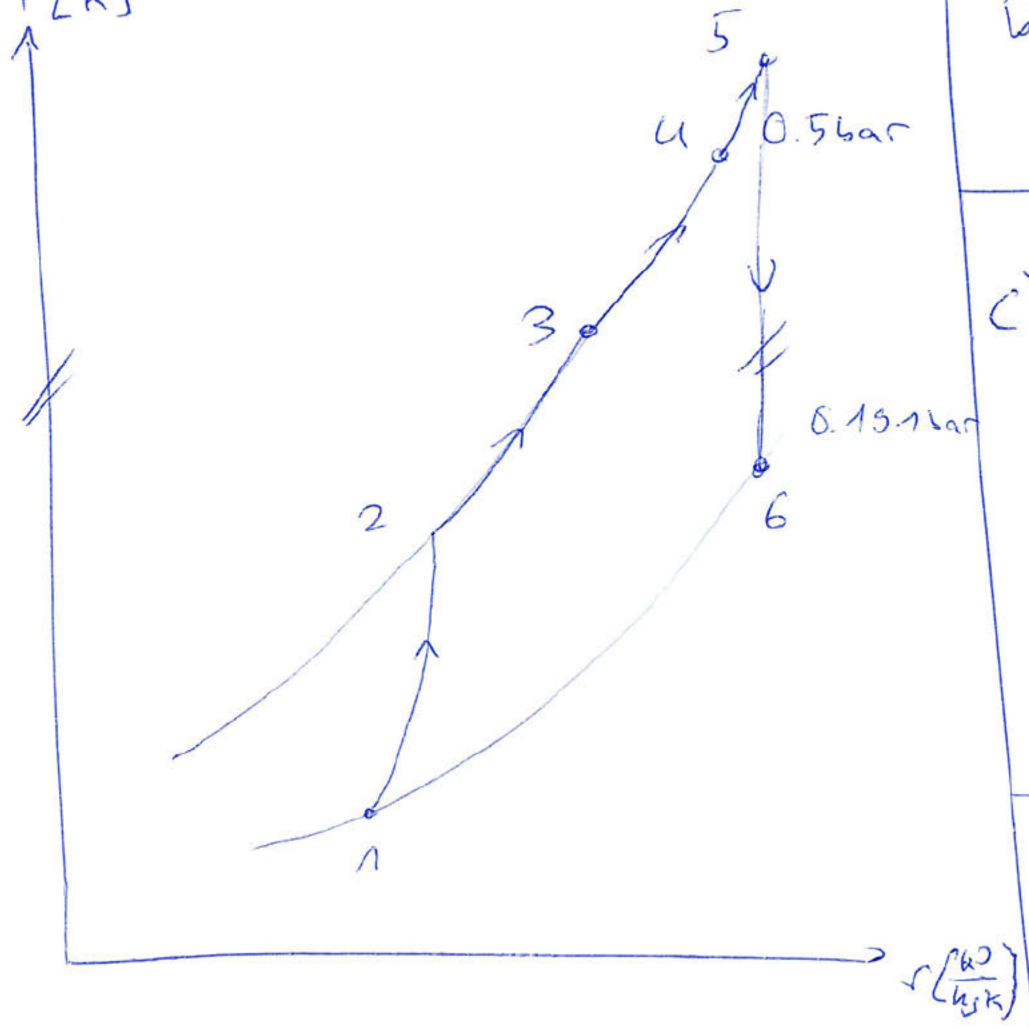
e) $\cancel{S_2}$ $\Delta S_{12} = m_2 \cdot s_2 - m_1 \cdot s_1$

$$\Delta S_{12} = m \cdot (s_2 - s_1) + \Delta m_{12} \cdot s_2$$

↳ s_1, s_2 aus Tab. nachschauen

A2

a)



[redacted]

A2

b)

c) $\dot{Q} = \dot{m}$

$\dot{E}_{x,str} = \dot{m}\left(h - h_0 - T_0(s - s_0) + ke + pe\right)$

$\hookrightarrow \dot{E}_{x,str,6} - \dot{E}_{x,str,0} = \dot{m}\left(h_6 - h_0 - T_0(s_6 - s_0) + \cancel{\Delta KE}^{0}\right)$

$\underline{\underline{\Delta e_{x,str,0,6} = h_6 - h_0 - T_0(s_6 - s_0)}}$

d) $0 = \dot{m}\,\Delta e_{x,str,0,6} + \left(1 - \frac{T_0}{\overline{T}}\right)\dot{Q} - \dot{W}_T - \dot{E}_{x,verl}$

$\underline{\underline{e_{x,verl} = \Delta e_{x,str,0,6} + \left(1 - \frac{T_0}{\overline{T}}\right) q_B - \cancel{w_{turb}}^{0}}}$

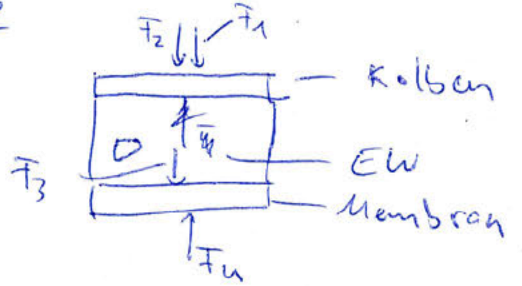
$\underline{\overline{T} = \overline{T}_B}$, $\underline{\Delta e_{x,str,0,6} = 100 \frac{kJ}{kg}}$ ↳ Turbine betreibt Verdicht.

$e_{x,verl} = 1069.582 \frac{kJ}{kg}$

[redacted]

A3

a)



↳ EW-Gemisch inkompressibel → deshalb als Block betrachten

↳ $F_3 = m_{EW} \cdot g = F_G$ des EW

↳ $p = \frac{F}{A} = \left[\frac{N}{m^2}\right] \rightarrow F = p \cdot A$

↳ $F_1 = p_{amp} \cdot A \rightarrow A = \pi r^2 \rightarrow r = \frac{D}{2} = 5cm$

↳ vom Auwendruck verursacht ↳ $A = 7.854 \cdot 10^{-3} m^2$ ↳ $r = 0.05m$

↳ $F_2 = m_K \cdot g$ → Schwerkraft des Gewichts auf dem Kolben

↳ $F_u = p_G \cdot A$ → $F_3 = 0.981 N$

↳ $F_1 = 785.398 N$

↳ $F_2 = 313.92 N$

A3

a) Kräfte GGW:

$$F_2 + F_1 + F_3 = F_u$$

$$F_2 + F_1 + F_3 = p_G \cdot A \;/ :A$$

$$p_G = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{A}$$

$$= 1.4005 \cdot 10^5 Pa$$

$$p_{G,1} = 1.4 \, bar$$

↳ Ideale Gas Gleichung: $p \cdot V = m R T$

$$m_G = \frac{p_1 \cdot V_1}{R T_1} \rightarrow V_1 = 3.14 L = 3.14 dm^3 = 3.14 \cdot 10^{-3} m^3$$

↳ $T_1 = 773.15 K$

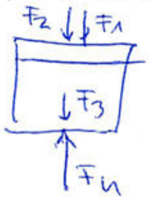
$$R = \frac{\bar{R}}{M_g} = \frac{8.314 \frac{J}{mol \cdot K}}{0.05 \frac{kg}{mol}}$$

$$R = 166.28 \frac{J}{kg K}$$

↳ $m_G = 0.0034217 kg$

A3

b) da ~~E~~ das EW-Gemisch inkompressibel ist, bleibt das Kräfte GGW gleich

↳ 

↳ außerdem bleiben m_K und p_{amb} konstant

$\rightarrow F_u = F_1 + F_2 + F_3$

$p_{G,2} \cdot A = F_1 + F_2 + F_3$

$p_{G,2} = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{A} = p_{at} = 1.4\,bar$

↳ allerdings sinken das Volumen und die Temperatur

↳ $p \cdot V = mRT \rightarrow T = T_{GG}$

↳ $T_{EW,1} = 0°C$

↳ $p_1 = 1.4\,bar \rightarrow$ aus Tab. 1

↳ 1.HS: $m(u_2 - u_1) = Q_{12} - \cancel{W_t}^{0}$ wobar

$u_2 - u_1 = \frac{Q_{12}}{m} \rightarrow u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1)$

perf. Gas

$c_v(T_2 - T_1) = \frac{Q_{12}}{m}$

$T_2 - T_1 = \frac{Q_{12}}{m \cdot c_v}$

$T_2 = T_1 + \frac{Q_{12}}{m \cdot c_v}$

[redacted]

A3

c) $T_{2,G} = 0.003°C = 273.153 K$

↳ 1. HS für geschl. System:

$$\Delta E = Q_{12} - W_{V,12}$$

$$m(u_2 - u_1) = Q_{12} - W_{V,12}$$

$$Q_{12} = m(u_2 - u_1) + W_{V,12}$$

↳ $u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1) \rightarrow$ perf. Gas

$$\Delta u = -316.498 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_{V,12} = \int_1^2 p\,dV = p_G(V_2 - V_1)$$

~~↳ die Volumenänderungsarbeit~~

~~↳ Arbeit vom Aussendruck muss subtrahiert werden~~

↳ V_2 berechnen:

$$p \cdot V_2 = mR \cdot T_2$$

$$V_2 = \frac{mR \cdot T_2}{p_G}$$

$$V_2 = 0.00111 m^3$$

↳ ~~$W_{V,12} = (p_G - p_{amb})(V_2 - V_1)$~~

A3

c) ~~$W_{V,12} = (p_G - p_{amb})$~~

$$W_{V,12} = p_G(V_2 - V_1)$$

$$= -284.2 J$$

$$W_{V,12} = -0.2842 \frac{kJ}{kg}$$

↳ $Q_{12} = m_G(u_2 - u_1) + W_{V,12}$

$$Q_{12} = -1.367 kJ$$

A3

d) $T_2 = T_{2,G} = 0.003 °C = 273.15 K$

↳ 1. HS: $\Delta E = m(u_2 - u_1) = Q_{12} - W_{V,12}$ 0 → inkompressibel

$$u_2 - u_1 = \frac{Q_{12}}{m}$$

$$u_2 = u_1 + \frac{Q_{12}}{m_{EW}} \rightarrow Q_{12} = 1500 J$$

$$Q_{12} = 1.5 kJ$$

↳ u_1 kann aus Tab. 1 ermittelt werden

↳ $u_{fest}(0°C) = -333.458 \frac{kJ}{kJ}$

$$u_{flüssig}(0°C) = -0.045 \frac{kJ}{kg}$$

A3

d) $u_1 = (1-x_1)\, u_{flüssig} + x_1 \cdot u_{fest}$

$\underline{u_1 = -200.0328 \frac{kJ}{kg}}$

$u_2 = u_1 + \frac{Q_{12}}{m_{EW}} \rightarrow \underline{Q_{12} = 1.5 kJ}$

$\underline{u_2 = -185.0328 \frac{kJ}{kg}}$

$T_{2,gg} = 0.003 °C \rightarrow \underline{u_{fest}(0.003 °C) = -333.442 \frac{kJ}{kg}}$

$\underline{u_{flüssig}(0.003 °C) = -0.033 \frac{kJ}{kg}}$

$u_2 = (1-x_2)\, u_{flüssig} + x_2 \cdot u_{fest}$

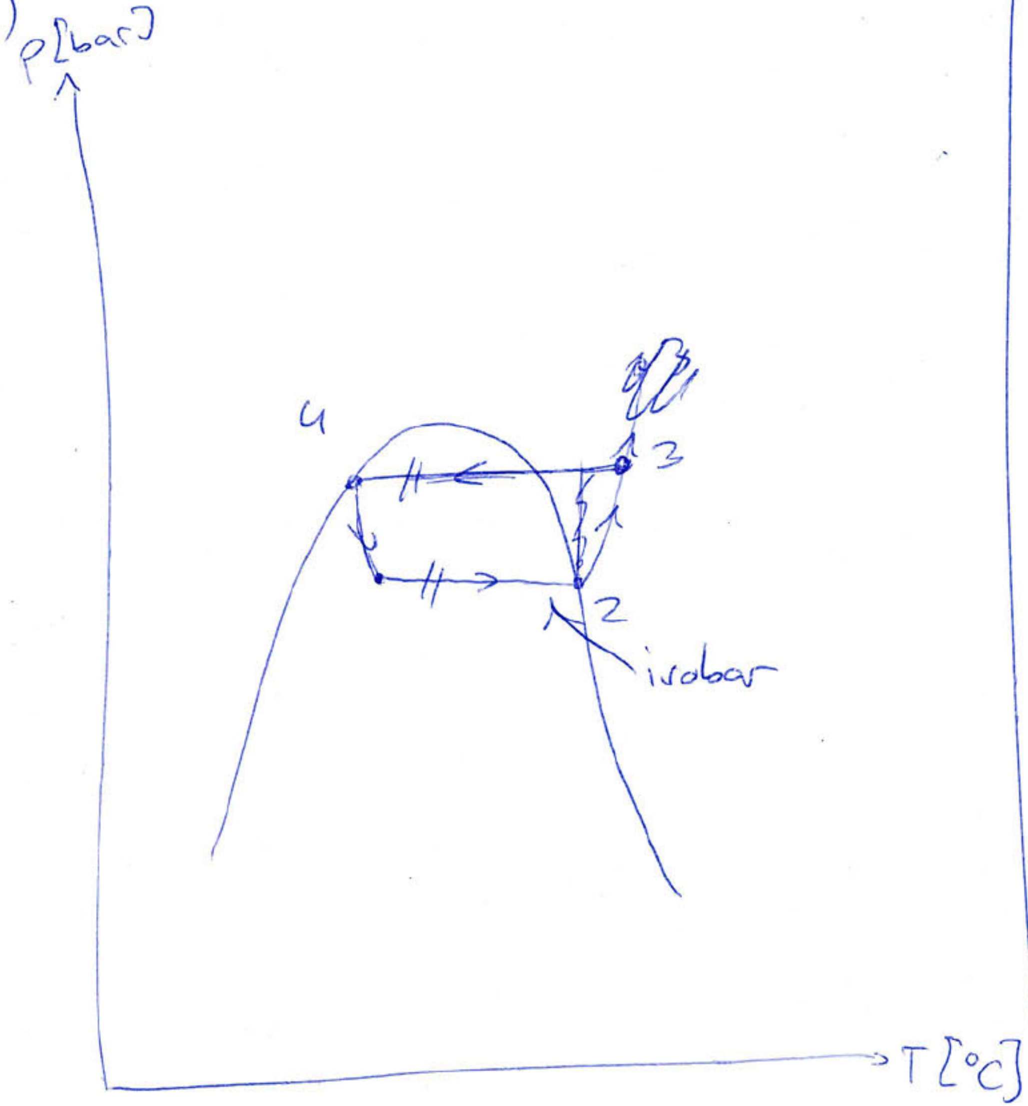
$u_2 - u_{flüssig} = x_2 (u_{fest} - u_{flüssig})$

$x_2 = \frac{u_2 - u_{flüssig}}{u_{fest} - u_{flüssig}}$

$\underline{\underline{x_2 = 0.555}}$

A4

a)



A4

b) stationärer Fließprozess:

$$0 = \dot{m}(h_e - h_a + \cancel{\Delta KE}^{\to 0} + \cancel{\Delta PE}^{\to 0}) + \dot{Q} - \dot{W}$$

↳ $2 \to 3$: $0 = \dot{m}(h_2 - h_3) + \cancel{\dot{Q}_{23}}^{\to 0 \to \text{adiabat}} - \dot{W}_K$

$\dot{m}(h_2 - h_3) = \dot{W}_K$

$\dot{m} = \dfrac{\dot{W}_K}{h_2 - h_3}$ $\to$ $\underline{p_3 = 8 \text{ bar}}$

↳ $x_2 = 1 \to$ gesättigter Dampf

↳ adiabat-reversibel $\hat{=}$ isentrop

↳ isobar: $p_3 = p_4$, $p_2 = p_1$

↳ $x_4 = 0 \to h_4$ aus Tab. A-11 für 8 bar

↳ $\underline{h_4 = h_f(8 \text{ bar}) = 93.42 \frac{kJ}{kg}}$

↳ $2 \to 3 \to$ reversibel $\dot{S}_{erz} = 0$

↳ Entropie Bilanz, $2 \to 3$

↳ $0 = \dot{m}(s_2 - s_3) + \cancel{\frac{\dot{Q}}{T}}^{\to 0 \to \text{adiabat}} + \cancel{\dot{S}_{erz}}^{\to 0}$

↳ $\underline{\Delta s = 0}$

↳ $s_2 = s_3$

↳ $T_i = 10 K$ über Sublimationspunkt: $p(T_i)$

↳ p_i - 5 mbar unter Tripelpunkt $\to \underline{p_1 = 1 \text{ mbar}}$

[redacted]

A4

b) ~~Flaus~~ Sublimationspunkt: Linie bei T_{Tripel}

↳ siehe ~~Dir.~~ Abb.-5: $T_i = -10°C$

$T_{verd.} = T_i - 6K$

$T_{verd} = -16°C$

↳ $h_2 = h_g(-16°C) \rightarrow$ in Tab. A-10

$h_1 = h_2 = 237.74 \frac{kJ}{kg} \rightarrow s_2 = s_g = 0.9298 \frac{kJ}{kgK}$

$s_2 = s_3 \rightarrow s_3(8 bar) \rightarrow$ in Tab. A-12

↳ $s(31.33°C) = 0.9066 \frac{kJ}{kgK}$, $h(31.33°C) = 264.15 \frac{kJ}{kg}$

$s(40°C) = 0.9374 \frac{kJ}{kgK}$, $h(40°C) = 273.66 \frac{kJ}{kg}$

↳ h_3 interpolieren

$$h_3 = \frac{h(40°C) - h(31.33°C)}{s(40°C) - s(31.33°C)} \left(s_3 - s(31.33°C)\right) + h(31.33°C)$$

$h_3 = 271.313 \frac{kJ}{kg}$

A4

b) $\dot{m} = \frac{\dot{W}_K}{h_2 - h_3} \rightarrow \dot{W}_K = -0.028 kW$

$\dot{m} = 8.34 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{s}$

~~A4 c)~~

[redacted]

A4

c) Drossel: adiabat, isenthalp

↳ $h_1 = h_4 \rightarrow h_4$ siehe b)

↳ $h_1 \rightarrow h_4 = 93.42 \frac{kJ}{kg} = h_1$

↳ in Tab-A-10 für $-16°C$ nach h interpolieren für x_1

↳ $h_f(-16°C) = 25.3 \frac{kJ}{kg}$

↳ $h_g(-16°C) = 237.74 \frac{kJ}{kg}$

↳ $h_1 = (1-x_1)h_f + x_1 \cdot h_g$

$h_1 - h_f = x_1(h_g - h_f)$

$x_1 = \frac{h_1 - h_f}{h_g - h_f}$

$x_1 = 0.3076$

d) $\varepsilon_K \rightarrow$ Kältemaschine

$\varepsilon_K = \frac{|\dot{Q}_{zu}|}{|\dot{W}|}$

$\dot{Q}_{zu} = \dot{Q}_K \rightarrow$ 1. HS stationärer Fließpr. $1 \rightarrow 2$

↳ $0 = \dot{m}(h_1 - h_2) + \dot{Q}_K - \cancel{\dot{W}}$ $\rightarrow 0 \rightarrow$ isobar

$\dot{Q}_K = \dot{m}(h_2 - h_1)$ $\rightarrow h_1 = 93.42 \frac{kJ}{kg} \rightarrow$ siehe c)

↳ $h_2 = 237.79 \frac{kJ}{kg} \rightarrow$ siehe b)

↳ $\dot{m} = 8.34 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{s} \rightarrow$ siehe b)

$\dot{Q}_K = 0.12\,kJ$

↳ $\dot{W}_t = \dot{W}_K = 0.028\,kW$

↳ $\varepsilon_K = \frac{|\dot{Q}_K|}{|\dot{W}_K|} = 4.2857$