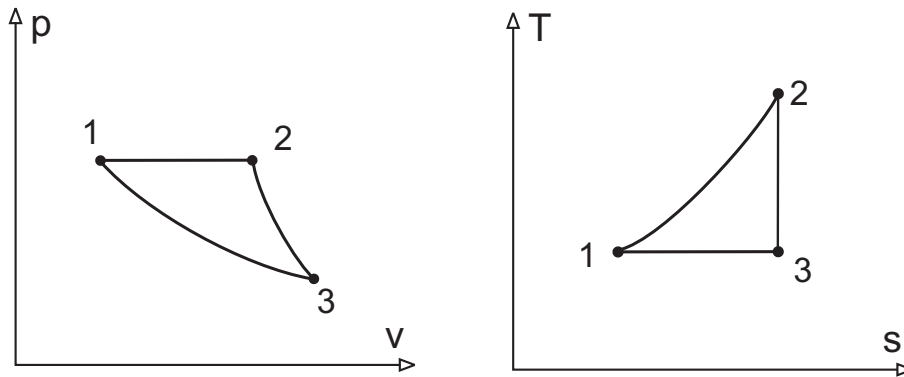


1. Aufgabe: Theoretische Fragen (20 Punkte)

a) (5 Punkte) I)



II) bei der Zustandsänderung $3 \rightarrow 1$

III) bei keiner ($W_{12} < 0$; $W_{23} < 0$; $W_{31} > 0$)

b) (3 Punkte) $a = 1$; $b = 0$; $c = \frac{3}{2}$; $d = 0$; $\lambda = 2$

c) (1 Punkt) manchmal

d) (2 Punkte) Ja, wenn $\dot{S}_{gen} = -\frac{\dot{Q}_j}{T_j}$.

$$\frac{dS}{d\tau} = \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{S}_{gen} \quad \text{irreversibel} \Rightarrow \dot{S}_{gen} > 0$$

e) (3 Punkte) $LZ_{WP} = \frac{|\text{Nutzen}|}{\text{Aufwand}} = \frac{|\dot{Q}_{ab}|}{\dot{W}_{zu}} \quad LZ_{WP} = 1 \Rightarrow -\dot{Q}_{ab} = \dot{W}_{zu}$

$$0 = \dot{Q}_{zu} + \dot{Q}_{ab} + \dot{W}_{zu} \quad \Rightarrow \dot{Q}_{zu} = 0 \quad \text{oder graphisch im log p,h-Diagramm}$$

f) (2 Punkte) I) $h_{x+1}(x_1) = 0 \frac{kJ}{kg}$ II) $h_{x+1}(x_2) = x_2 \cdot 2500 \frac{kJ}{kg} = 2,5 \frac{kJ}{kg}$

g) (2 Punkte)

$$\dot{W}_{netto} = -\dot{Q}_{ab} - \dot{Q}_{zu} = -0,1 \text{ MW}$$

\Rightarrow rechtslaufend (WKM)

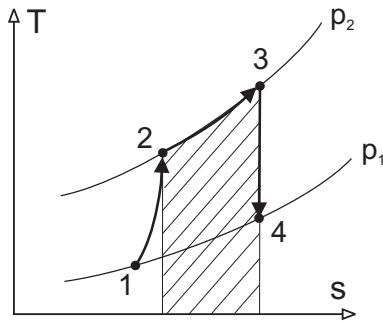
schlechter Prozess, da niedriger Wirkungsgrad ($\eta = 1\%$)

h) (1 Punkt) $r_{3bar} = h''(3bar) - h'(3bar) = \underbrace{2723,2 \frac{kJ}{kg} - 561,2 \frac{kJ}{kg}}_{WDT} = 2162 \frac{kJ}{kg}$

i) (1 Punkt) wenn $T_{Sys} < T_0$

2. Aufgabe: Gasturbinensystem (21 Punkte)

a) (3 Punkte)



b) (5 Punkte)

$$T_2' = T_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = 293,15 \left(\frac{1}{10} \right)^{\frac{1-1,4}{1,4}} = 565,98 \text{ K}$$

$$\eta_{S,K} = \frac{w_{isentrop}}{w_{real}} = \frac{h_2' - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{c_p(T_2' - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)}$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{T_2' - T_1}{\eta_{SK}} + T_1 = \frac{565,98 \text{ K} - 293,15 \text{ K}}{0,9} + 293,15 \text{ K} = 596,3 \text{ K}$$

c) (2 Punkte)

$$\dot{W}_{12} = \dot{m}(h_2 - h_1) = \dot{m} \cdot c_p(T_2 - T_1)$$

$$= 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} (596,3 \text{ K} - 293,15 \text{ K}) = 303,15 \text{ kW}$$

d) (3 Punkte)

$$v_2 = \frac{R_L T_2}{p_2} = \frac{287 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 596,3 \text{ K}}{10 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 0,17114 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{V}_2 = \dot{m}_2 v_2 = 0,17114 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

e) (2 Punkte)

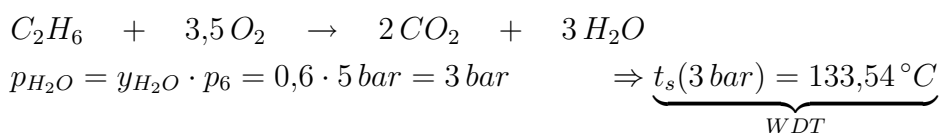
$$\eta = \frac{|\dot{W}_{12} + \dot{W}_{34}|}{\dot{Q}_{23}} = 26,8\%$$

f) (3 Punkte)

$$0 = \dot{m}_1(s_1 - s_2) + \dot{S}_{gen} \Rightarrow \dot{S}_{gen} = \dot{m}_1 \left[c_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - \frac{\bar{R}}{M} \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \right]$$

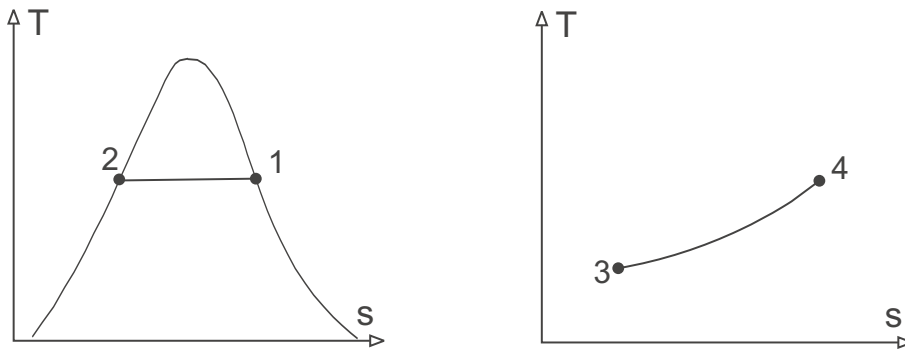
$$\dot{S}_{gen} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \ln \left(\frac{596,3 \text{ K}}{293,15 \text{ K}} \right) - 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \ln \left(\frac{10 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} \right) \right] = 0,049 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

g) (3 Punkte)



3. Aufgabe: Wärmeübertrager (15 Punkte)

a) (2 Punkte)



b) (4 Punkte) $p_1 = p_2 = p_s(143,63^\circ\text{C}) = 4\text{ bar}$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{12} &= \dot{m} (h'(t_1) - h''(t_1)) \\ &= 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \underbrace{\left(604,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2736,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}_{WDT} = -21321 \text{ kW}\end{aligned}$$

c) (3 Punkte) $\dot{Q}_{12} = -\dot{Q}_{34}$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{34} &= \dot{m}_3 (h_4 - h_3) = \dot{m}_3 c_p (t_4 - t_3) \quad \Rightarrow \quad t_4 = \frac{\dot{Q}_{34}}{\dot{m}_3 c_p} + t_3 \\ t_4 &= \frac{21321 \text{ kW}}{200 \frac{\text{kg}}{\text{s}} 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}} + 20^\circ\text{C} = 126,6^\circ\text{C}\end{aligned}$$

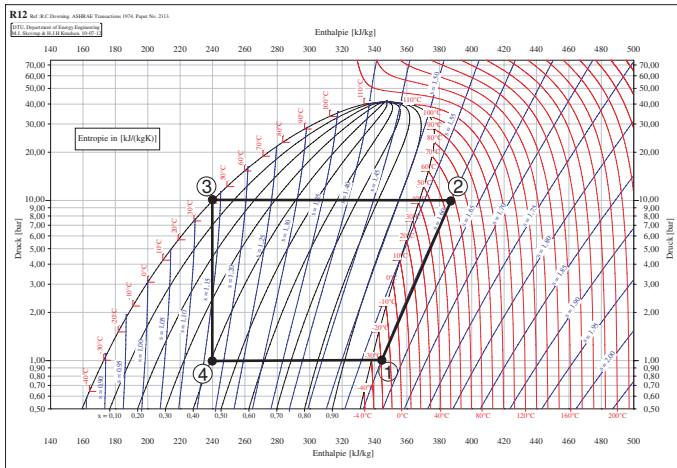
d) (4 Punkte)

$$\begin{aligned}\dot{S}_{gen} &= \dot{m}_1 \left[s'_2(x_2, t_1) - s''_1(x_1, t_1) \right] + \dot{m}_3 \left[c_p \ln \left(\frac{T_4}{T_3} \right) \right] \\ &= 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \underbrace{\left[1,7757 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} - 6,8902 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \right]}_{WDT} + 200 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \ln \left(\frac{399,75 \text{ K}}{293,15 \text{ K}} \right) \right] \\ &= 10,88 \frac{\text{kW}}{\text{K}} \quad \text{alternativ:} \\ \dot{S}_{gen} &= \frac{-\dot{Q}_{34}}{T_1} + \dot{m}_3 \left[c_p \ln \left(\frac{T_4}{T_3} \right) \right] \\ &= \frac{-21321 \text{ kW}}{416,78 \text{ K}} + 200 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \ln \left(\frac{399,75 \text{ K}}{293,15 \text{ K}} \right) \right] = 10,87 \frac{\text{kW}}{\text{K}}\end{aligned}$$

e) (2 Punkte) t'_4 kann nicht größer als t_1 sein. Begründung: 2. HS der Thermodynamik bzw. Wärmetransport ist nur möglich von einem höheren zu einem niedrigeren Temperaturniveau.

4. Aufgabe: Kompressionskältemaschine (15 Punkte)

a) (5 Punkte)



Zustand	$h \left[\frac{kJ}{kg} \right]$	$s \left[\frac{kJ}{kg K} \right]$
1	344	1,60
2	387	1,60
3	240	1,14
4	240	1,17

b) (3 Punkte)

$$LZ_{KM} = \frac{|Nutzen|}{Aufwand} = \frac{\dot{Q}_{41}}{\dot{W}_{12}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{344 \frac{kJ}{kg} - 240 \frac{kJ}{kg}}{387 \frac{kJ}{kg} - 344 \frac{kJ}{kg}} = 2,42$$

c) (4 Punkte)

Variante 1:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{q,41} &= \dot{m} \cdot q_{41} \left(1 - \frac{T_0}{T_{41}} \right) = \dot{m} (h_1 - h_4) \left(1 - \frac{T_0}{s_1 - s_4} \right) \\ &= 0,1 \frac{kg}{s} \cdot 104 \frac{kJ}{kg} \left(1 - \frac{298,15 K}{241,86 K} \right) = -2,420 kW \end{aligned}$$

Variante 2:

$$\dot{E}_{q,41} + \dot{E}_4^{PH} - \dot{E}_1^{PH} + \dot{E}_D = 0$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{q,41} &= \dot{E}_1^{PH} - \dot{E}_4^{PH} \\ &= \dot{m} [(h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0) - ((h_4 - h_0) - T_0(s_4 - s_0))] \\ &= \dot{m} [(h_1 - h_4) - T_0(s_1 - s_4)] \\ &= 0,1 \frac{kg}{s} [(344 \frac{kJ}{kg} - 240 \frac{kJ}{kg}) - 298,15 K (1,60 \frac{kJ}{kg K} - 1,17 \frac{kJ}{kg K})] \\ &= -2,420 kW \end{aligned}$$

d) (3 Punkte)

$$\varepsilon = \frac{|Nutzen|}{Aufwand} = \frac{|\dot{E}_{q,41}|}{\dot{W}_{12}} = \frac{|\dot{E}_{q,41}|}{\dot{m}(h_2 - h_1)} = \frac{2,420 kW}{0,1 \frac{kg}{s} (387 \frac{kJ}{kg} - 344 \frac{kJ}{kg})} = 0,563$$

5. Aufgabe: Feuchte Luft (9 Punkte)

a) (1 Punkt)

$$x_1 \approx 0,0055$$

b) (4 Punkte)

$$x_3 \approx 0,0145$$

$$\frac{m_{L,3}}{m_{L,2}} = \frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_1} = \frac{21}{13} \approx 0,6$$

c) (4 Punkte)

$$t_5 \approx 4,5^\circ\text{C}$$

