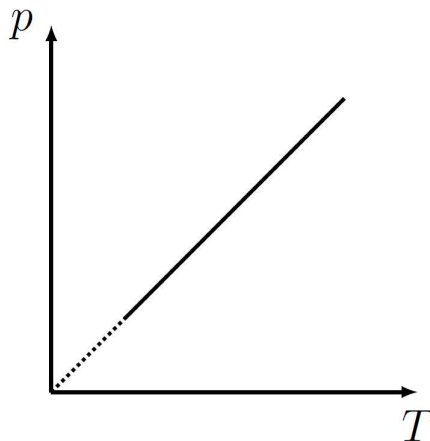


# Lösung zur Thermoklausur 2013

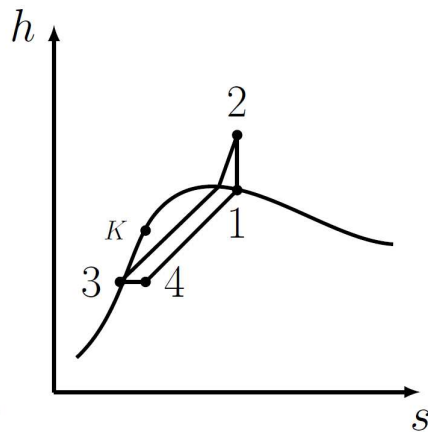
# 1. Aufgabe (2013): Theoretische Fragen (20 Punkte)

- a) (1 Punkt) Abgeschlossene Systeme erlauben weder Stoff- noch Energieflüsse über die Systemgrenze. Geschlossene Systeme erlauben (nur) Energieflüsse über die Systemgrenze.
- b) (2 Punkte)  $p(T) = \frac{R_i}{v}T$ . Gerade mit Steigung von  $\frac{R_i}{v}$ , siehe Diagramm b)
- c) (2 Punkte) Mischung unterschiedlicher Stoffe, Wärmeübertragung mit Temperaturdifferenz, spontan ablaufende chemische Reaktion, Drosselung
- d) (1 Punkt) Bei keinem Prozess! Entropie kann nur produziert, nicht vernichtet werden.
- e) (2 Punkte) Entropiebilanz für reversible WKM; (nicht-reversibel  $\Rightarrow$  größere Wärmeabfuhr):  $0 = \frac{\dot{Q}_{zu}}{T_{zu}} + \frac{\dot{Q}_{ab}}{T_{ab}} \Rightarrow \dot{Q}_{ab} = -\frac{T_{ab}}{T_{zu}}\dot{Q}_{zu} = -5 \text{ kW}$   
 alternativer Lösungsweg:  
 $\dot{W}_{max} = -\dot{Q}_{zu} \left(1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}}\right) = -5 \text{ kW}$   
 $\dot{Q}_{ab,min} = -\dot{Q}_{zu} - \dot{W}_{max} = -5 \text{ kW}$
- f) (3 Punkte)  $\eta_{WKM} = \frac{|\dot{W}_{netto}|}{\dot{Q}_{zu}}$ ;  $\varepsilon_{WKM} = \frac{|\dot{E}_{W,netto}|}{\dot{E}_{Q,zu}} = \frac{|\dot{W}_{netto}|}{\dot{E}_{Q,zu}}$   
 $\varepsilon_{WKM} > \eta_{WKM}$ , da  $\dot{Q}_{zu} > \dot{E}_{Q,zu} = \dot{Q}_{zu} \left(1 - \frac{T_0}{T_{zu}}\right)$
- g) (2 Punkte) Nein, da Isobaren und Isothermen zusammenfallen, muss eine weitere Größe bekannt sein, bspw. Dampfgehalt  $x$ .
- h) (3 Punkte)  $C_4H_{10} + \frac{39}{2}O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O + 13O_2$
- i) (2 Punkte) Nein, da die Enthalpie des zugeführten Wassers  $\geq 0 \text{ kJ/kg}$  ist und sich die spezifische Enthalpie feuchter Luft auf die Masse trockener Luft bezieht.  $\left(\dot{H}_{aus} = \dot{H}_{ein} + \dot{H}_W \Rightarrow h_{1+x,aus} = h_{1+x,ein} + \frac{\dot{m}_W \cdot c_W \cdot t_W}{\dot{m}_L}\right)$
- j) (2 Punkte) siehe Diagramm j)

b)

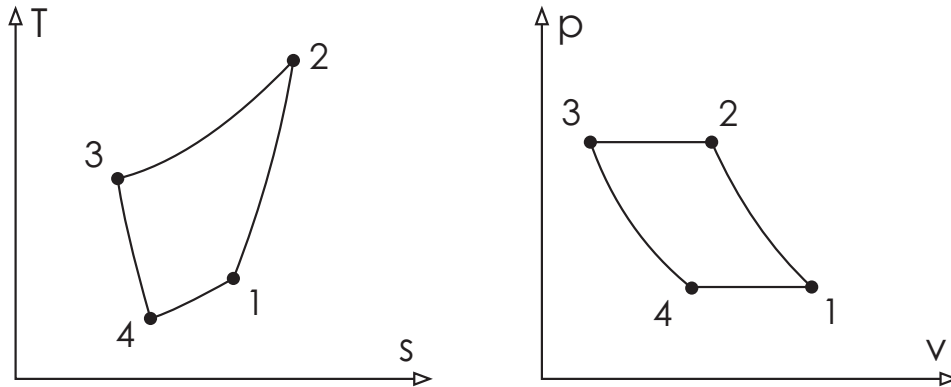


j)



## 2. Aufgabe (2013): Kältemaschine (24 Punkte)

a) (4 Punkte)



b) (3 Punkte)

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{\dot{m} R T_1 p_2}{\dot{m} R T_2 p_1} = \frac{T_1 p_2}{T_2 p_1} = \frac{250 \text{ K} \cdot 30 \text{ bar}}{358,45 \text{ K} \cdot 10 \text{ bar}} = 2,09$$

c) (4 Punkte)

$$\begin{aligned} LZ_{KM} &= \frac{|\text{Nutzen}|}{|\text{Aufwand}|} = \frac{\dot{Q}_{41}}{\dot{W}_{12} + \dot{W}_{34}} = \frac{q_{41}}{w_{12} + w_{34}} = \frac{h_1 - h_4}{(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)} \\ &= \frac{c_p (T_1 - T_4)}{c_p (T_2 - T_1 + T_4 - T_3)} = \frac{T_1 - T_4}{T_2 - T_1 + T_4 - T_3} \\ &= \frac{250 \text{ K} - 223,15 \text{ K}}{358,45 \text{ K} - 250 \text{ K} + 223,15 \text{ K} - 294,57 \text{ K}} = 0,725 \end{aligned}$$

d) (4 Punkte)

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{w_{real}}{w_{ideal}} = \frac{h_4 - h_3}{h_{4s} - h_3} = \frac{c_p (T_4 - T_3)}{c_p (T_{4s} - T_3)} = \frac{T_4 - T_3}{T_3 \left( \frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} - T_3} \\ &= \frac{223,15 \text{ K} - 294,57 \text{ K}}{294,57 \text{ K} \left( \frac{30 \text{ bar}}{10 \text{ bar}} \right)^{\frac{1-1,4}{1,4}} - 294,57 \text{ K}} = 0,9 \end{aligned}$$

e) (6 Punkte)

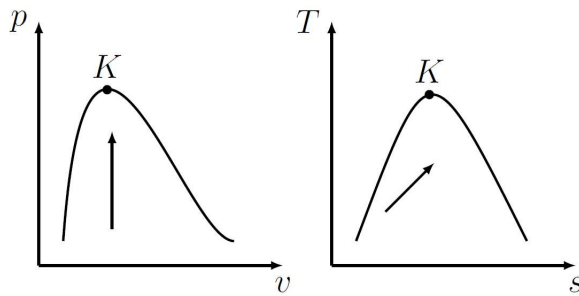
$$\begin{aligned}\frac{dS}{d\tau} &= 0 = \dot{S}_3 - \dot{S}_4 + \dot{S}_{gen} \\ \Rightarrow \dot{S}_{gen} &= \dot{S}_4 - \dot{S}_3 = \dot{m} (s_4 - s_3) = \dot{m} \left( \int_3^4 \frac{c_p dT}{T} - \int_3^4 R \frac{dp}{p} \right) \\ &= \dot{m} \left( c_p \ln \frac{T_4}{T_3} - R \ln \frac{p_4}{p_3} \right) \\ &= 1 \frac{kg}{s} \left( 1,0 \frac{kJ}{kg K} \ln \frac{223,15 K}{294,57 K} - 0,287 \frac{kJ}{kg K} \ln \frac{10 bar}{30 bar} \right) = 0,0376 \frac{kW}{K} \\ \dot{E}_D &= T_0 \dot{S}_{gen} = 300 K \cdot 0,0376 \frac{kW}{K} = 11,289 kW\end{aligned}$$

f) (3 Punkte)

$$\text{Ja, da } Z = \frac{pv}{RT} = \frac{10^6 Pa \cdot 0,0631 \frac{m^3}{kg}}{287 \frac{J}{kg K} \cdot 223,15 K} = 0,985 \approx 1$$

### 3. Aufgabe (2013): Dampfkessel (22 Punkte)

a) (3 Punkte)



b) (5 Punkte)

$$V_1' = m_1' v_1' = 0,010 \text{ m}^3 \quad \text{mit} \quad v_1' = 0,0010436 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V_1'' = V_{DK} - V_1' = 0,990 \text{ m}^3$$

$$x_1 = \frac{m_1''}{m_W} = \frac{m_W - m_1'}{m_W} = 0,055$$

c) (4 Punkte)

$$h_2 = \frac{H_2}{m_W} = [(1 - x_2)h_2' + x_2 h_2'']$$
$$\rightarrow x_2 = \frac{\frac{H_2}{m_W} - h_2'}{h_2'' - h_2'} \quad \text{mit} \quad h_2' = 762,20 \text{ kJ/kg} \quad \text{und} \quad h_2'' = 2777,5 \text{ kJ/kg}$$
$$= 0,483$$

alternativer Lösungsweg:

$$v = \frac{V_{DK}}{m_W} = 0,094 \text{ m}^3/\text{kg} = \text{konstant, da System geschlossen und isochor}$$

$$v = v_2' + x_2 (v_2'' - v_2')$$

$$x_2 = \frac{v - v_2'}{v_2'' - v_2'} \quad \text{mit} \quad v_2' = 0,0011276 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{und} \quad v_2'' = 0,1944 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$x_2 = 0,483$$

d) (4 Punkte)

$$\frac{dU}{d\tau} = \dot{Q} \Rightarrow U_2 - U_1 = \dot{Q} \Delta\tau_{12}$$

$$U_2 = H_2 - p_2 V_2$$

$$p_2 V_2 = p_2 V_{DK}$$

$$\Delta\tau_{12} = 469,393 \text{ s}$$

e) (4 Punkte)

$$\frac{dS}{d\tau} = \frac{\dot{Q}}{T_B} + \dot{S}_{gen} \Rightarrow S_2 - S_1 = \frac{\dot{Q}}{T_B} \Delta\tau_{12} + \dot{S}_{gen} \Delta\tau_{12}$$

$$S_{gen} = \dot{S}_{gen} \Delta\tau_{12} = S_2 - S_1 - \frac{\dot{Q}}{T_B} \Delta\tau_{12}$$

$$S_2 = m_W s_2 = m_W [s'_2 + x_2 (s''_2 - s'_2)]$$

$$\text{mit } s'_2 = 2,137 \text{ kJ/kgK} \quad \text{und} \quad s''_2 = 6,584 \text{ kJ/kgK}$$

$$S_{gen} = 3,997 \text{ kJ/K}$$

f) (2 Punkte)

Dampfförmig, da Punkt 3 im  $h,s$ -Diagramm genau auf der Taulinie liegt.

alternativer Lösungsweg:

$$v_3 = v = 0,094 \text{ m}^3/\text{kg} > v_{crit} = 0,00318 \text{ m}^3/\text{kg} \Rightarrow \text{dampfförmig}$$

#### 4. Aufgabe (2013): Feuchte Luft (14 Punkte)

a) (4 Punkte)

$$\frac{\overline{23}}{\overline{13}} = \frac{\dot{m}_{L,1}}{\dot{m}_{L,2}}$$

bzw.  $\frac{\overline{23}}{\overline{21}} = \frac{\dot{m}_{L,1}}{\dot{m}_{L,1} + \dot{m}_{L,2}}$

alternativer Lösungsweg:

$$\dot{m}_{L,3} = \dot{m}_{L,1} + \dot{m}_{L,2} = 3 \cdot \dot{m}_{L,1}$$

$$\dot{m}_{L,3}x_3 = \dot{m}_{L,1}x_1 + \dot{m}_{L,2}x_2 \quad \rightarrow \quad x_3 = \frac{\dot{m}_{L,1}x_1 + \dot{m}_{L,2}x_2}{\dot{m}_{L,3}}$$

$$t_3 = 26,5 \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \varphi_3 = 0,7 \quad x_3 = 0,015$$

b) (3 Punkte)

$$t_4 = 6 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \varphi_4 = 1 \quad x_4 = 0,006$$

c) (3 Punkte)

$$0 = \dot{m}_{L,3}x_3 - \dot{m}_{L,4}x_4 - \dot{m}_W \quad \text{mit} \quad \dot{m}_{L,3/4} = \dot{m}_{L,1} + \dot{m}_{L,2} = 3\dot{m}_{L,1}$$
$$\dot{m}_W = \dot{m}_{L,3/4}(x_3 - x_4)$$
$$= 2,7 \text{ kg/h}$$

d) (4 Punkte)

$$0 = \dot{m}_{L,4}h_4 - \dot{m}_{L,5}h_5 + \dot{Q}_{45}$$
$$\dot{Q}_{45} = \dot{m}_{L,4/5}(h_5 - h_4)$$
$$= 1,25 \text{ kW}$$
$$h_4 = 20 \text{ kJ/kg}$$
$$h_5 = 35 \text{ kJ/kg}$$