

$$\dot{n}_2 N_2 = \dot{n}_{ab} \cdot \psi_{ab} N_2 + \dot{n}_L \cdot \psi_L N_2 = 198 \text{ kmol/h} \Rightarrow p_2 N_2 = \underline{\underline{1,19 \text{ bar}}}$$

c) Gesucht:  $T_2$ 

1. Hauptsatz

$$\dot{Q}_{12}^0 + \dot{L}_{12}^0 = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 + \Delta \dot{E}_{a12}^0$$

$$\Rightarrow \dot{H}_2 = \dot{H}_1 \text{ mit } dH = m \cdot c_p \cdot dT \text{ folgt}$$

$$\begin{aligned} & (\dot{m}_{ab} CO_2 \cdot c_p CO_2 + \dot{m}_{ab} O_2 \cdot c_p O_2 + \dot{m}_{ab} N_2 \cdot c_p N_2) \cdot T_{ab} + \\ & + (\dot{m}_L N_2 \cdot c_p N_2 + \dot{m}_L O_2 \cdot c_p O_2) \cdot T_L = \\ & = (\dot{m}_2 CO_2 \cdot c_p CO_2 + \dot{m}_2 O_2 \cdot c_p O_2 + \dot{m}_2 N_2 \cdot c_p N_2) \cdot T_2 \end{aligned}$$

$$T_2 = \frac{\dot{m}_{ab} CO_2 \cdot c_p CO_2 + \dot{m}_{ab} O_2 \cdot c_p O_2 + \dot{m}_{ab} N_2 \cdot c_p N_2}{\dot{m}_2 CO_2 \cdot c_p CO_2 + \dot{m}_2 O_2 \cdot c_p O_2 + \dot{m}_2 N_2 \cdot c_p N_2} \cdot T_{ab} + \frac{\dot{m}_L N_2 \cdot c_p N_2 + \dot{m}_L O_2 \cdot c_p O_2}{\dot{m}_2 CO_2 \cdot c_p CO_2 + \dot{m}_2 O_2 \cdot c_p O_2 + \dot{m}_2 N_2 \cdot c_p N_2} \cdot T_L$$

$$n_i = \frac{m_i}{M_i} \Rightarrow m_i = n_i \cdot M_i = \psi_i \cdot n \cdot M_i \Rightarrow$$

$$T_2 = \frac{5 \cdot 44 \cdot 0,89 + 32 \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 0,91 + 28 \cdot 50 \cdot 0,8 \cdot 1,04}{5 \cdot 44 \cdot 0,89 + 32 \cdot 47 \cdot 0,91 + 28 \cdot 198 \cdot 1,04} \cdot 423 \text{ K} + \frac{200 \cdot 0,79 \cdot 28 \cdot 1,04 + 32 \cdot 200 \cdot 0,21 \cdot 0,91}{5 \cdot 44 \cdot 0,89 + 32 \cdot 47 \cdot 0,91 + 28 \cdot 198 \cdot 1,04} \cdot 296 \text{ K} = \underline{\underline{322 \text{ K}}}$$

d) Gesucht:  $\dot{S}_{pr}$ 

$$\dot{S}_2 - \dot{S}_1 = \dot{S}_{pr} + \dot{S}_{aust}^0$$

$$s_2 - s_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\Rightarrow \dot{S}_{pr} = \dot{m}_{ab} CO_2 \cdot \left( c_p CO_2 \cdot \ln \frac{T_2}{T_{ab}} - R_{CO_2} \cdot \ln \frac{p_2 CO_2}{p_{ab} CO_2} \right) +$$

$$+ \dot{m}_{ab} N_2 \cdot \left( c_p N_2 \cdot \ln \frac{T_2}{T_{ab}} - R_{N_2} \cdot \ln \frac{p_2 N_2}{p_1 N_2} \right) +$$

$$+ (\dot{m}_2 N_2 - \dot{m}_{ab} N_2) \cdot \left( c_p N_2 \cdot \ln \frac{T_2}{T_L} - R_{N_2} \cdot \ln \frac{p_2 N_2}{p_L N_2} \right) +$$

$$+ \dot{m}_{ab} O_2 \cdot \left( c_p O_2 \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R_{O_2} \cdot \ln \frac{p_2 O_2}{p_{ab} N_2} \right) +$$

$$+ (\dot{m}_2 O_2 - \dot{m}_{ab} O_2) \cdot \left( c_p O_2 \cdot \ln \frac{T_2}{T_L} - R_{O_2} \cdot \ln \frac{p_2 O_2}{p_L O_2} \right)$$

$$n_i = \frac{m_i}{M_i} \Rightarrow m_i = n_i \cdot M_i = \psi_i \cdot n \cdot M_i \Rightarrow$$

$$\dot{m}_2 N_2 - \dot{m}_{ab} N_2 = \dot{m}_L N_2 \quad \dot{m}_2 O_2 - \dot{m}_{ab} O_2 = \dot{m}_L O_2$$

$$\Rightarrow \dot{S}_{pr} = 0,1 \cdot 50 \cdot 44 \cdot \left( 0,89 \cdot \ln \frac{322}{423} - 0,189 \cdot \ln \frac{0,03}{0,15} \right) \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{K}) +$$

$$+ 0,8 \cdot 50 \cdot 28 \cdot \left( 1,04 \cdot \ln \frac{322}{423} - 0,297 \cdot \ln \frac{1,19}{1,2} \right) \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{K}) +$$

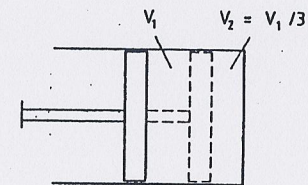
$$+ 0,79 \cdot 200 \cdot 28 \cdot \left( 1,04 \cdot \ln \frac{322}{296} - 0,297 \cdot \ln \frac{1,19}{1,185} \right) \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{K}) +$$

$$+ 0,1 \cdot 50 \cdot 32 \cdot \left( 0,91 \cdot \ln \frac{322}{423} - 0,26 \cdot \ln \frac{0,28}{0,15} \right) \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{K}) +$$

$$+ 0,21 \cdot 200 \cdot 32 \cdot \left( 0,91 \cdot \ln \frac{322}{296} - 0,26 \cdot \ln \frac{0,28}{0,315} \right) \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{K})$$

$$= (12,89 - 315 + 381,83 - 65,69 + 144,13) \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{K}) = \underline{\underline{158,2 \text{ kJ}/(\text{h} \cdot \text{K})}}$$

## Aufgabe 9.3

Gegeben: 1 → 2 isotherme reibungsfreie Kompression

$$V_1 = 15 \text{ m}^3$$

$$p_1 = 0,3 \text{ bar}$$

$$T_1 = 305,9 \text{ K}$$

$$V_2 = 1/3 \cdot V_1$$

$$\varphi_1 = 1$$

$$R_L = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

a) Gesucht:  $m_L$      $m_{wd}$ 

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \Rightarrow m_L = \frac{p_{L1} \cdot V_1}{R_L \cdot T_1}$$

$$p_1 = p_{L1} + p_{d1} \text{ (Dalton)} \quad p_{d1} = p_s(\vartheta_1 = \vartheta_u) = 0,05 \text{ bar} \quad \text{(Dampftafel)}$$

$$\Rightarrow p_{L1} = p_1 - p_{d1} = 0,25 \text{ bar} \Rightarrow m_L = \underline{4,27 \text{ kg}}$$

$$m_{Wd1} = \frac{V_1}{v_1''} \quad v_{Wd1} = v_1'' = 28,19 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\Rightarrow m_{Wd1} = \underline{0,532 \text{ kg}}$$

b) Gesucht:  $p_{d2}$

$$p_{d2} = p_{d1} = p_s(\vartheta_1) = \underline{0,05 \text{ bar}}$$

c) Gesucht:  $m_{W2}$

$$p_{d1} = p_{d2} = p_s(\vartheta_2) \quad (\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta_u = \vartheta_s)$$

$$V_2 = m_{W2} \cdot v_{W2} + m_{d2} \cdot v_{d2}$$

$$m_{Wd} = m_{W2} + m_{d2}$$

$$V_2 = m_{W2} \cdot v_{W2} + (m_{Wd} - m_{W2}) \cdot v_{d2}$$

$$v_{d2} = v'' = 28,19 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow V_2 = m_{Wd} \cdot v'' - m_{W2} \cdot (v'' - v_{W2})$$

$$m_{W2} = \frac{m_{Wd} \cdot v'' - V_2}{v'' - v_{W2}}$$

$$v'' \gg v_{W2}$$

$$\Rightarrow m_{W2} \approx m_{Wd} - \frac{V_2}{v''} \approx 0,532 \text{ kg} - \frac{5 \text{ m}^3}{28,19 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

$$m_{W2} = \underline{0,355 \text{ kg}}$$

d) Gesucht:  $L_{12}$

$$L_{12} = L_{v12} = - \int_1^2 p \cdot dV$$

$$p = p_L + p_d \quad p_W = p$$

$$L_{12} = - \int_{V_1}^{V_2} (p_L + p_d) \cdot dV = - \int_{V_1}^{V_2} p_L \cdot dV - \int_{V_1}^{V_2} p_d \cdot dV - \underbrace{\int_0^{V_{f12}} p_W \cdot dV}_{=0 \text{ wegen } dV_W \ll dV}$$

$$p_L = m_L \cdot R_L \cdot \frac{T}{V} \quad p_d = p_s = 0,05 \text{ bar}$$

$$L_{12} = -m_L \cdot R_L \cdot T_u \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} - p_d \cdot (V_2 - V_1) = \underline{461 \text{ kJ}}$$

e) Gesucht:  $Q_{12}$

$$Q_{12} + L_{12} = U_2 - U_1 + \Delta E_{a12}$$

$$Q_{12} + L_{12} = \underbrace{(U_2 - U_1)_L}_{=0} + \underbrace{(U_2 - U_1)_{Wd}}_{=0} + (U_2 - U_1)_{W2} + \underbrace{\Delta E_{a12}}_{=0}$$

$$Q_{12} = -L_{12} + m_{W2} \cdot (u_2 - u_1) \text{ mit } h = u + p \cdot v \text{ folgt}$$

$$Q_{12} = -L_{12} + m_{W2} \cdot (h_2 - h_1 - p_2 \cdot v_2 + p_1 \cdot v_1)$$

$$p_1 = p_{d1} = 0,05 \text{ bar}$$

$$\vartheta_1 = 32,9^\circ \text{ C}$$

$$\Rightarrow v_1 = v'' = 28,19 \text{ m}^3/\text{kg} \Rightarrow$$

$$p_1 \cdot v_1 = 140,95 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = h'' = 2561,6 \text{ kJ/kg}$$

$$V_{L2} \approx V_2, \text{ da } V_{Wf1} \approx 0$$

$$p_{d1} = p_{d2} = 0,05 \text{ bar}$$

$$p_{L2} = p_{L1} \cdot \frac{V_1}{V_2} = 0,75 \text{ bar}$$

$$p_2 = p_{W2} = p_{L2} + p_{d2} = 0,8 \text{ bar}$$

$$v_2(\vartheta_2, p_2) = 0,001005 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\Rightarrow p_2 \cdot v_2 = 0,08 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2(\vartheta_2, p_2) = 137,8 \text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow Q_{12} = -461 \text{ kJ} + 0,355 \text{ kg} \cdot (-2423,8 + 140,87) \text{ kJ/kg}$$

$$= \underline{-1271,44 \text{ kJ}}$$

## Aufgabe 9.4

Gegeben: 1 → 2 isobare Wärmezufuhr

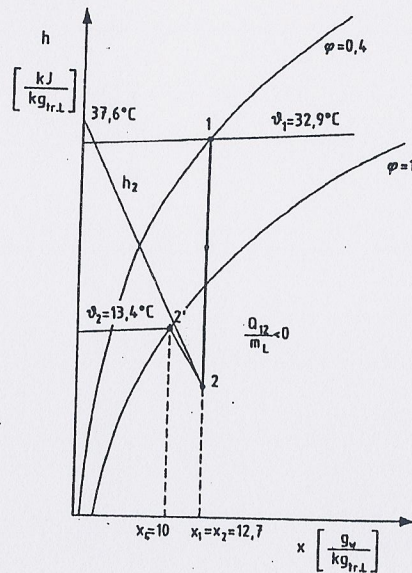
$$\varphi_1 = 40\%$$

$$p_1 = 1 \text{ bar}$$

$$\vartheta_1 = 32,9^\circ \text{ C}$$

$$\dot{m}_{f1} = 500 \text{ kg/h}$$

$$\dot{Q}_{12} = -13,773 \text{ MJ/h}$$

a) Gesucht:  $h, x$ -Diagrammb) Gesucht:  $x_1$ abgelesen:  $x_1 = \underline{0,0127 \text{ kg}_w/\text{kg}_{tr.L}}$ c) Gesucht:  $\dot{m}_L$ 

$$\dot{m}_{f1} = \dot{m}_L + \dot{m}_{w1} \Rightarrow \dot{m}_L = \dot{m}_{f1} - \dot{m}_{w1}$$

$$x_1 = \frac{\dot{m}_{w1}}{\dot{m}_L} \Rightarrow \dot{m}_{w1} = x_1 \cdot \dot{m}_L$$

$$\Rightarrow \dot{m}_L = \dot{m}_{f1} - x_1 \cdot \dot{m}_L \Rightarrow \dot{m}_L = \frac{\dot{m}_{f1}}{1 + x_1} = \underline{493,83 \text{ kg/h}}$$

d) Gesucht:  $h_2 \quad \vartheta_2 \quad x_2$ 

1. Hauptsatz:

$$\dot{Q}_{12} + \dot{L}_{12}^0 = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 + \Delta \dot{E}_{a12}^0$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{12} = \dot{m}_L \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m}_L}$$

$$\text{Aufgabenstellung: } \dot{Q}_{12} = -13,773 \text{ MJ/h}$$

abgelesen:  $h_1 = 65,5 \text{ kJ/kg}$  $\Rightarrow h_2 = 37,6 \text{ kJ/kg}_{tr. \text{Luft}}$  $\Rightarrow \vartheta_2 = \underline{13,4^\circ \text{C}} \quad x_2 = x_1 = \underline{0,0127 \text{ kg}_w/\text{kg}_{tr.L}} \quad h, x\text{-Diagramm}$ e) Gesucht:  $\Delta \dot{m}_w$ 

$$\Delta \dot{m}_w = x_2 \cdot \dot{m}_L - x_{s2} \cdot \dot{m}_L = \dot{m}_L \cdot (x_2 - x_{s2})$$

 $x_{s2} = 0,0097$  aus  $h, x$ -Diagramm

$$\Rightarrow \Delta \dot{m}_w = 493,83 \text{ kg/h} \cdot (0,0127 - 0,0097) = \underline{1,48 \text{ kg/h}}$$

## Aufgabe 9.5

Gegeben: Zustandsänderungen:1  $\rightarrow$  2 adiabate Verdichtung2  $\rightarrow$  3 isobare Abkühlung3  $\rightarrow$  4.5 adiabate. isobare Wasserabscheidung $\varphi_1 = 0,8 \quad p_1 = 1 \text{ bar} \quad \vartheta_1 = 17^\circ \text{C}$  $\vartheta_2 = 230^\circ \text{C} \quad p_2 = 3 \text{ bar} \quad \vartheta_3 = 27^\circ$  $\dot{m}_{f1} = 2,02 \text{ kg/s}$ a) Gesucht:  $\varphi_2 \quad \dot{L}_{12}$ Aus dem  $h, x$ -Diagramm mit  $\vartheta_1, \varphi_1$  und  $p_1$  folgt $x_1 = 9,7 \text{ g}_w/\text{kg}_{tr. \text{Luft}} = 0,0097$ 

Bei adiabater Verdichtung ändert sich der Wassergehalt nicht.

$$\Rightarrow x_1 = x_{d2} = \frac{p_s(\vartheta_2)}{\frac{p_2}{\varphi_2} - p_s(\vartheta_2)} \cdot \frac{M_d}{M_L}$$

$$\Rightarrow \varphi_2 = \frac{p_2}{p_s(\vartheta_2) \cdot \frac{M_d}{M_L \cdot x_{d2}} + p_s(\vartheta_2)}$$

$$p_s(\vartheta_2) = 27,979 \text{ bar aus Tabelle} \Rightarrow \varphi_2 = \underline{0,00167 \hat{=} 0,167\%}$$

1. Hauptsatz:

$$\dot{Q}_{12}^0 + \dot{L}_{12} = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 + \Delta \dot{E}_{a12}^0$$

$$\dot{L}_{12} = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 = \dot{m}_L \cdot (h_2 - h_1)$$

Die Enthalpien sind auf 1 kg trockene Luft bezogen  $\Rightarrow h = \frac{H}{m_L}$ 

$$\dot{m}_{f1} = \dot{m}_L + \dot{m}_{w_d} \quad \text{Massenbilanz}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_L = \dot{m}_{f1} - \dot{m}_{Wd} = \dot{m}_{f1} - x_d \cdot \dot{m}_L \quad \text{Def. } x_d = \frac{m_W}{m_L}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_L = \frac{\dot{m}_{f1}}{1 + x_d} = 2 \text{ kg/s}$$

$\dot{H} = \dot{m}_L \cdot h_L + \dot{m}_{Wd} \cdot h_{Wd}$  bezogen auf 1 kg trockene Luft folgt

$$\frac{\dot{H}}{\dot{m}_L} = h = h_L + x_d \cdot h_{Wd} \quad \text{mit } dh = c_p \cdot d\vartheta \text{ folgt}$$

$$\dot{L}_{t12} = \dot{m}_L \cdot [c_{pL} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) + c_{pWd} \cdot x_d \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)]$$

$$\dot{L}_{t12} = \dot{m}_L \cdot \Delta\vartheta_{12} \cdot [c_{pL} + c_{pWd} \cdot x_d]$$

$$\dot{L}_{t12} = 2 \text{ kg/s} \cdot (230 - 17)^\circ \text{C} \cdot [1,004 + 1,86 \cdot 0,0097] \text{ kJ/(kg K)}$$

$$= \underline{\underline{436 \text{ kW}}}$$

b) Gesucht:  $\dot{m}_{W5}$

$$\dot{m}_L \cdot x_4 + \dot{m}_L \cdot x_5 = \dot{m}_L \cdot x_3 \quad \text{Massenerhaltung}$$

$$\dot{m}_{W5} = \dot{m}_L \cdot x_3 - \dot{m}_L \cdot x_4 = \dot{m}_L \cdot (x_3 - x_4)$$

$$x_3 = x_2 = x_1 = 0,0097 \text{ kgW/kgtr.L}$$

$x_4 = x_{4s}$  gesättigte Luft nach der Rückkühlung

$$\Rightarrow x_{4s} = \frac{p_s(\vartheta_4)}{p_3 - p_s(\vartheta_4)} \cdot \frac{M_d}{M_L} \quad \varphi_3 = 1$$

$$p_2 = p_4 = 3 \text{ bar und } \vartheta_3 = \vartheta_4 = 27^\circ \text{C}$$

$$\Rightarrow p_s(\vartheta_4) = 0,03564 \text{ bar Diagramm}$$

$$\Rightarrow x_{4s} = 0,00747 \text{ kgW/kgtr.L}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_{W5} = 2 \text{ kg/s} \cdot (0,0097 - 0,00747) =$$

$$= \underline{\underline{0,00446 \text{ kg/s}}}$$

c) Gesucht:  $\dot{Q}_{23}$

1. Hauptsatz:

$$\dot{Q}_{23} + \dot{L}_{23}^0 = \dot{H}_3 - \dot{H}_2 + \Delta \dot{E}_{23}^0$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{23} = \dot{m}_L \cdot (h_3 - h_2) \text{ mit } h = h_L + x_d \cdot h_{Wd} \text{ und } dh = c_p \cdot d\vartheta \text{ folgt}$$

$$\dot{Q}_{23} = \dot{m}_L \cdot [c_{pL} \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_2) + x_{3s} \cdot (c_{pWd} \cdot \vartheta_3 + r_d) + (x_3 - x_{3s}) \cdot c_{pWf1} \cdot \vartheta_3 - x_2 \cdot (c_{pWd} \cdot \vartheta_2 + r_d)] \text{ mit } x_{3s} = x_{4s} \text{ folgt}$$

$$\dot{Q}_{23} = 2 \text{ kg/s} \cdot [-1,004 \cdot 203 + 0,00747 \cdot (1,86 \cdot 27 + 2500) + 0,00223 \cdot 4,19 \cdot 27 - 0,0097 \cdot (1,86 \cdot 230 + 2500)] \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{23} = 2 \cdot [-204 + 19,05 + 0,25 - 28,4] \text{ kW} = \underline{\underline{-426 \text{ kW}}}$$

## Aufgabe 9.6

Gegeben: Zustandsänderungen:

3. 1 → 4 isobare Mischung

2 → 3 isobare Wärmezufuhr

$\vartheta_1 = 25^\circ \text{C}$        $\varphi_1 = 0,6$

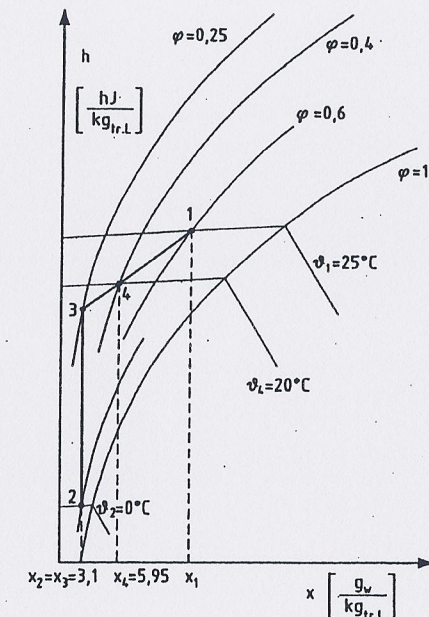
$\vartheta_2 = 0^\circ \text{C}$        $\varphi_2 = 0,8$

$\vartheta_4 = 20^\circ \text{C}$        $\varphi_4 = 0,4$

$p = 1 \text{ bar}$

$V_{f1} = 20000 \text{ m}^3/\text{h}$

a) Gesucht:  $h, x$ -Diagramm



b) Gesucht:  $\vartheta_3$        $\varphi_3$

$x_3 = x_2 = 0,0031 \text{ kgW/kgtr.L}$  aus  $h, x$ -Diagramm mit  $(\vartheta_2, \varphi_2)$   
Schnittpunkt zwischen Mischungsgerade 1-4-3 und Gerade 2-3

$$\Rightarrow \vartheta_3 = \underline{\underline{17,7^\circ \text{C}}}$$

$$\varphi_3 = \underline{\underline{0,25}} \quad \text{aus } h, x\text{-Diagramm}$$

c) Gesucht:  $\frac{\dot{m}_{L3}}{\dot{m}_{L1}}$

Das Verhältnis  $\frac{\dot{m}_{L3}}{\dot{m}_{L1}}$  wird mit dem Gesetz der abgewandten