

$$\dot{Q}_{78} = \dot{m}_W \cdot (h_8 - h_7)$$

h_7 aus Dampftafel

h_8 aus Wassertafel

$h_8 = h_9 = h(40 \text{ °C}, 1 \text{ bar})$

$$\dot{Q}_{78} = 234,11 \frac{\text{t}}{\text{h}} \cdot (167,5 - 533,07) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -23,77 \text{ MW}$$

d) $\dot{W}_{t_{34}}$

1. Hauptsatz $3 \rightarrow 4$

$$\dot{W}_{t_{34}} = \dot{m}_D \cdot (h_4 - h_3)$$

aus h, s -Diagramm

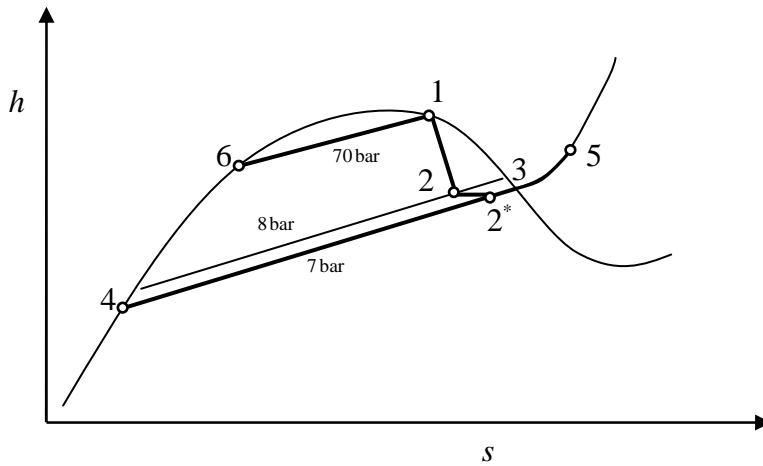
$$\dot{W}_{t_{34}} = 35,88 \frac{\text{t}}{\text{h}} \cdot (3053 - 3789) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -7,43 \text{ MW}$$

e) x_4

$x_4 = 0,945$ abgelesen

Lösung 8.9

a)



b) \dot{m}_I \dot{m}_{II} \dot{m}_{III} \dot{m}_{IV}

$$\dot{m}_D = \dot{m}_I + \dot{m}_{II}$$

$$\dot{m}_I = \dot{m}_{III} + \dot{m}_{IV}$$

$$\dot{m}_{III} = x_{2^*} \cdot \dot{m}_I$$

$$\dot{m}_{IV} = (1 - x_{2^*}) \cdot \dot{m}_I$$

$x_{2^*} = 0,881$ adiabate Drosselung aus h, s -Diagramm

$$\dot{m}_{II} \cdot (h_6 - h_1) = \dot{m}_{III} \cdot (h_3 - h_5) \Rightarrow \dot{m}_{II} = \frac{h_3 - h_5}{h_6 - h_1} \cdot \dot{m}_{III} = \frac{h_3 - h_5}{h_6 - h_1} \cdot x_{2^*} \cdot \dot{m}_I$$

$$\dot{m}_I + \frac{h_3 - h_5}{h_6 - h_1} \cdot x_{2^*} \cdot \dot{m}_I = \dot{m}_D \Rightarrow \dot{m}_I = \frac{\dot{m}_D}{1 + \frac{h_3 - h_5}{h_6 - h_1} \cdot x_{2^*}}$$

$$h_1 = h''(70 \text{ bar}) = 2772,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h''(7 \text{ bar}) = 2761,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_6 = h'(70 \text{ bar}) = 1265,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_5 = h_{\text{Diagr.}} - \Delta h_{h,s-\text{Tab.}} = 2953 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_I = 3237,5 \frac{\text{t}}{\text{h}} = 899,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{II} = 362,5 \frac{\text{t}}{\text{h}} = 100,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{III} = 2852,3 \frac{\text{t}}{\text{h}} = 792,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{IV} = 385,2 \frac{\text{t}}{\text{h}} = 107 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

c) $\dot{W}_{t_{12}}$

$$\dot{W}_{t_{12}} = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 = \dot{m}_I \cdot (h_2 - h_1)$$

$$h_2 = h(8 \text{ bar}, x = 0,87) - \Delta h_{h,s-\text{Tab.}} = 2537 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{t_{12}} = 899,3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (2537 - 2772,5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -211,8 \text{ MW}$$

$$d) \dot{E}_{V_{Absch.}}$$

$$\dot{E}_{V_{Absch.}} = T_u \cdot \dot{S}_{irr_{Absch.}}$$

$$\dot{S}_{irr_{Absch.}} = \dot{S}_3 + \dot{S}_4 - \dot{S}_2 = \dot{m}_{III} \cdot s_3 + \dot{m}_{IV} \cdot s_4 - \dot{m}_I \cdot s_2$$

$$s_2 = 9,57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

$$s_3 = 10,23 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

$$s_4 = 5,86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

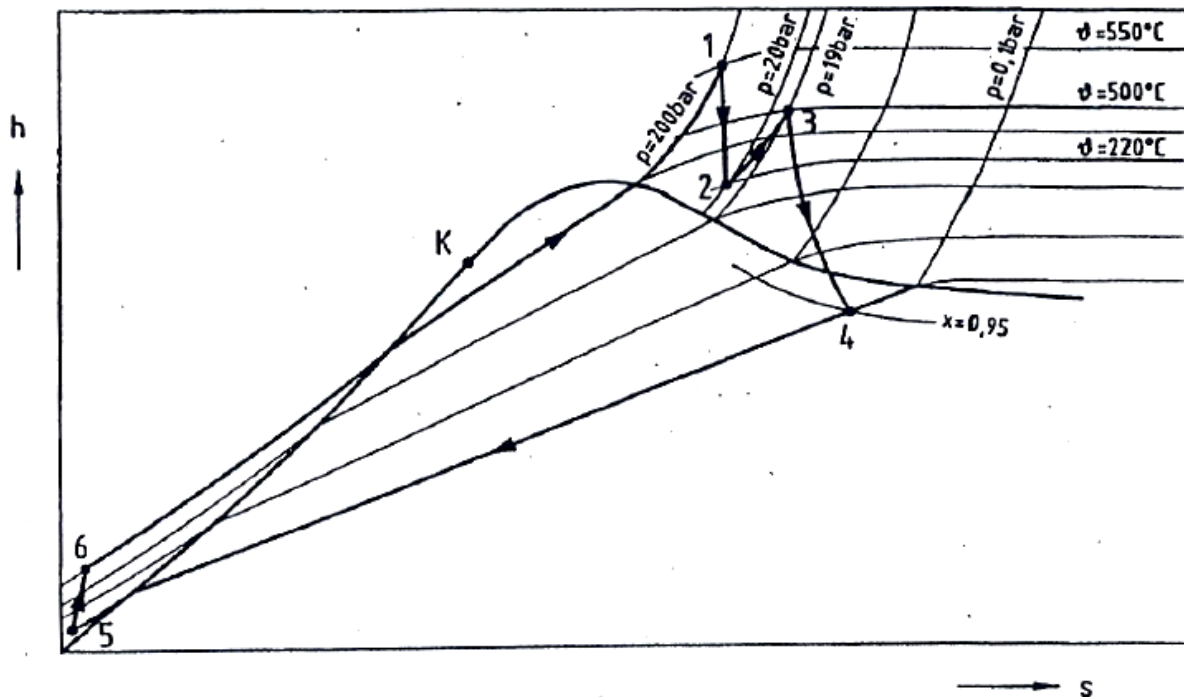
$$\Rightarrow \dot{S}_{irr_{Absch.}} = 125,9 \frac{\text{kW}}{\text{K}} \Rightarrow \dot{E}_{V_{Absch.}} = 37,8 \text{ MW}$$

Lösung 8.10

geg.: Wertetabelle

Zustand	1	2	3	4	5	6
p [bar]	200	20	19	0,1	0,1	200
ϑ [°C]	550	220	500		40	41
x				0,95		

a) h, s -Diagramm



b) n_{12} w_{12} w_{R12} e_{V12}

$$p_1 \cdot v_1^{n_{12}} = p_2 \cdot v_2^{n_{12}} \quad \Rightarrow \quad n_{12} = \frac{\ln \frac{p_1}{p_2}}{\ln \frac{v_2}{v_1}}$$

$$v_1 = 0,017 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad v_2 = 0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \text{ aus } h, s\text{-Diagramm}$$

$$\Rightarrow n_{12} = 1,3$$

1. HS HD:

$$w_{12} = h_2 - h_1 \text{ mit } h_1 = 4026 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ und } h_2 = 3452 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{aus } h, s\text{-Diagramm}$$

$$\Rightarrow w_{12} = -574 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{t_{12}} = w_{R_{12}} + \int_1^2 v \cdot dp$$

$$w_{R_{12}} = w_{t_{12}} - \frac{n_{12}}{n_{12} - 1} \cdot (p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1)$$

$$w_{R_{12}} = -574 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \frac{1,3}{0,3} \cdot (20 \cdot 0,1 - 200 \cdot 0,017) \cdot 10^2 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 32,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$e_{V_{12}} = T_u \cdot s_{irr_{12}}$$

$$s_{irr} = s_2 - s_1$$

$$s_1 = 9,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \quad s_2 = 9,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \text{ aus } h, s\text{-Diagramm}$$

$$\Rightarrow s_{irr_{12}} = 0,05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \quad \Rightarrow e_{V_{12}} = 15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

c) $w_{R_{23}} \quad q_{23}$

Die Zustandsänderungen im Zwischenüberhitzer können als polytrop angesehen werden.

$$w_{t_{23}} = 0 = w_{R_{23}} + \int_2^3 v \cdot dp$$

$$w_{R_{23}} = -\frac{n_{23}}{n_{23} - 1} \cdot (p_3 \cdot v_3 - p_2 \cdot v_2)$$

$$n_{23} = \frac{\ln \frac{p_2}{p_3}}{\ln \frac{v_3}{v_2}} \text{ mit } v_3 = 0,19 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \text{ folgt } n_{23} = 0,08 \Rightarrow w_{R_{23}} = 14 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

1. HS

$$q_{23} = h_3 - h_2$$

$$h_3 = 4100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow q_{23} = 648 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

d) $w_{t_{34}} \quad e_{V_{34}} \quad q_{45}$

1. HS:

$$w_{t_{34}} = h_4 - h_3$$

$$h_4 = 3100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow w_{t_{34}} = -1000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$e_{V_{34}} = T_u \cdot s_{irr_{34}}$$

$$s_{irr_{34}} = s_4 - s_3$$

$$s_3 = 10,97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \quad s_4 = 11,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

$$\Rightarrow s_{irr_{34}} = 0,33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \quad \Rightarrow e_{V_{34}} = 99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

1. HS:

$$q_{45} = h_5 - h_4$$

$$h_5 = 800 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ aus } h, s\text{-Diagramm} \quad \Rightarrow q_{45} = -2300 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

e) $w_{t_{56}} \quad w_{R_{56}} \quad e_{V_{56}}$

1. HS:

$$w_{t_{56}} = h_6 - h_5$$

$$h_5 = h(0,1 \text{ bar}, 40^\circ\text{C}) = 167,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{aus Dampftafel}$$

$$h_6 = h(200 \text{ bar}, 41^\circ\text{C}) = 189,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{aus Dampftafel}$$

$$\Rightarrow w_{t_{56}} = 21,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{t_{56}} = w_{R_{56}} + \int_5^6 v \cdot dp$$

$$w_{R_{56}} = w_{t_{56}} - \frac{n_{56}}{n_{56} - 1} \cdot (p_6 \cdot v_6 - p_5 \cdot v_5)$$

$$n_{56} = \frac{\ln \frac{p_5}{p_6}}{\ln \frac{v_6}{v_5}}$$

$$\text{mit } v_5 = v(0,1 \text{ bar}, 40^\circ\text{C}) = 0,0010078 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v_6 = v(200 \text{ bar}, 41^\circ\text{C}) = 0,00099962 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow n_{56} = 933 \quad \Rightarrow w_{R_{56}} = 1,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$e_{V_{56}} = T_u \cdot s_{irr_{56}}$$

$$s_{irr_{56}} = s_6 - s_5$$

aus Dampftafel:

$$s_5 = s(0,1 \text{ bar}, 40^\circ\text{C}) = 0,5721 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

$$s_6 = s(200 \text{ bar}, 41^\circ\text{C}) = 0,5773 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

$$\Rightarrow e_{V_{56}} = 1,56 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

f) $e_{V_{ges}}$

$$e_{V_{ges}} = T_u \cdot s_{irr_{ges}}$$

2. HS um die Gesamtanlage:

$$s_{irr_{ges}} = \sum s_{aus} - \sum s_{ein} - \sum s_{Q_{ges}} = - \left(\frac{q_{61}}{T_{R_{61}}} + \frac{q_{23}}{T_{R_{23}}} + \frac{q_{45}}{T_{R_{45}}} \right)$$

1. HS:

$$q_{61} = h_1 - h_6$$

$$h_1 = h_{Diagr.} - \Delta h_{Kor.} = 3420 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \Rightarrow q_{61} = 3231 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow s_{irr_{ges}} = - \left(\frac{3231}{1000} + \frac{642}{1000} - \frac{2300}{300} \right) \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} = 3,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

$$\Rightarrow e_{V_{ges}} = 1140 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

g) η_{th} η_{rev}

$$\eta_{th} = \frac{|w_{t_{12}} + w_{t_{34}} + w_{t_{56}}|}{q_{61} + q_{23}} = 0,4$$

$$\eta_{rev} = \eta_C = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}} = \frac{T_R - T_u}{T_R} = 0,7$$

Lösung 8.16

geg.: Zustandsänderungen

- 1 → 2 reversible, adiabate Expansion
- 2 → 3 reversible, adiabate Expansion
- 3 → 4 reversible, adiabate Expansion
- 4 → 5 vollständige, isobare Mischung und Kondensation
- 5 → 6 reversible, adiabate Kompression
- 6 → 7 isobare Wärmezufuhr durch VW1 und VW2
- 7 → 1 isobare Dampferzeugung und Überhitzung
- 2 → 8 isobare Wärmeabfuhr im VW2
- 3 → 10 isobare Wärmeabfuhr im VW1
- 11 → 5 vollständige, isobare Mischung und Kondensation
- 8 → 9 adiabate Drosselung
- 10 → 11 adiabate Drosselung

geg.: Werte

$$\dot{m}_1 = 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{W}_{t_{23}} = 0,7 \cdot \dot{W}_{t_{12}}$$

$$\dot{W}_{t_{34}} = 0,8 \cdot \dot{W}_{t_{12}}$$

$$1: p_1 = 50 \text{ bar}$$

$$\vartheta_1 = 500^\circ\text{C}$$

$$2: p_2 = 10 \text{ bar}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}'_2$$

$$3: p_3 = 1,5 \text{ bar}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}'_3$$

$$4: p_4 = 0,05 \text{ bar}$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_3$$

$$5: h_5 = h'(p_4)$$

$$6: p_6 = 50 \text{ bar}$$

$$h_6 = h_5 (w_{t_{56}} \approx 0)$$

$$7: p_7 = 50 \text{ bar}$$

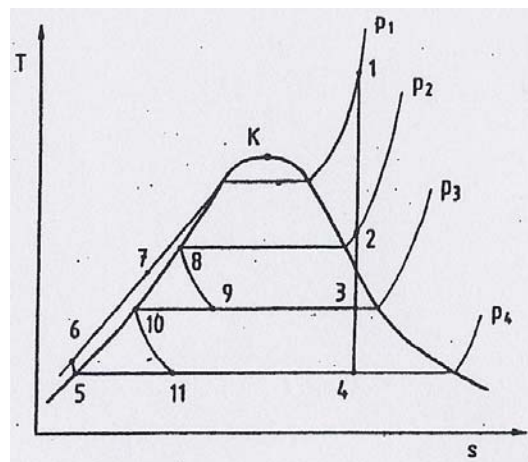
$$8: h_8 = h'(p_2)$$

$$9: h_9 = h_8$$

$$10: h_{10} = h'(p_3)$$

$$11: h_{11} = h_{10}$$

a) T,s-Diagramm



b) $x_3 \quad x_4 \quad x_{11}$

aus h,s-Diagramm abgelesen:

$$x_3 = 0,955 \quad x_4 = 0,821 \quad x_{11} = 0,132$$

c) $\dot{m}'_2 \quad \dot{m}'_3$

$$\dot{m}'_2 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2 \quad \dot{m}'_3 = \dot{m}_2 - \dot{m}_3$$

$$\dot{W}_{t_{12}} = \dot{m}_1 \cdot (h_2 - h_1) \quad \dot{W}_{t_{23}} = \dot{m}_2 \cdot (h_3 - h_2)$$

$$\dot{W}_{t_{34}} = \dot{m}_3 \cdot (h_4 - h_3)$$

aus h,s-Diagramm abgelesen:

$$h_1 = 4062 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_2 = 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = 3225 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_4 = 2756 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_1 \text{ ist gegeben} \Rightarrow \dot{W}_{t_{12}} = -4,6 \text{ MW}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_2 = \frac{\dot{W}_{t_{23}}}{h_3 - h_2} = \frac{0,7 \cdot \dot{W}_{t_{12}}}{h_3 - h_2} = 8,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_3 = \frac{\dot{W}_{t_{34}}}{h_4 - h_3} = \frac{0,8 \cdot \dot{W}_{t_{12}}}{h_4 - h_3} = 7,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}'_2 = 1,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \dot{m}'_3 = 0,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

d) h_7

aus h,s-Diagramm:

$$h_{10} = 1100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_5 = h_6 = 762 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ wegen } \dot{W}_{t_{56}} \approx 0$$

$$\dot{m}_1 \cdot h_7 + (\dot{m}'_2 + \dot{m}'_3) \cdot h_{10} = \dot{m}'_2 \cdot h_2 + \dot{m}'_3 \cdot h_3 + \dot{m}_1 \cdot h_5$$

$$\Rightarrow h_7 = \frac{\dot{m}'_2 \cdot h_2 + \dot{m}'_3 \cdot h_3 + \dot{m}_1 \cdot h_5 - (\dot{m}'_2 + \dot{m}'_3) \cdot h_{10}}{\dot{m}_1} = 1282 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

e) η_{th}

$$\eta_{th} = \frac{|\dot{W}_{t_{12}} + \dot{W}_{t_{23}} + \dot{W}_{t_{34}}|}{\dot{Q}_{71}} = \frac{|2,5 \cdot \dot{W}_{t_{12}}|}{\dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_7)} = 0,414 \hat{=} 41,4 \%$$

f) η_{th} ohne Speisewasservorwärmung

Zustandspunkte 1, 4, 5 und 6 bleiben erhalten und $\dot{m} = \dot{m}_1 = 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$\eta_{th.o.V.} = \frac{|\dot{W}_t|}{\dot{Q}_{zu}} = \frac{|\dot{m}_1 \cdot (h_4 - h_1)|}{\dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_6)} = 0,396 \hat{=} 39,6 \%$$

g) \dot{Q}_K

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_1 \cdot h_5 - \dot{m}_3 \cdot h_4 - (\dot{m}'_2 + \dot{m}'_3) \cdot h_{11}$$

$$h_{11} = h_{10} = 1100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \Rightarrow \dot{Q}_K = -16,3 \text{ MW}$$