Aufgabe 15.1 – Lösung

Stoffdaten für R134a:

zweiphasiger Zustand:

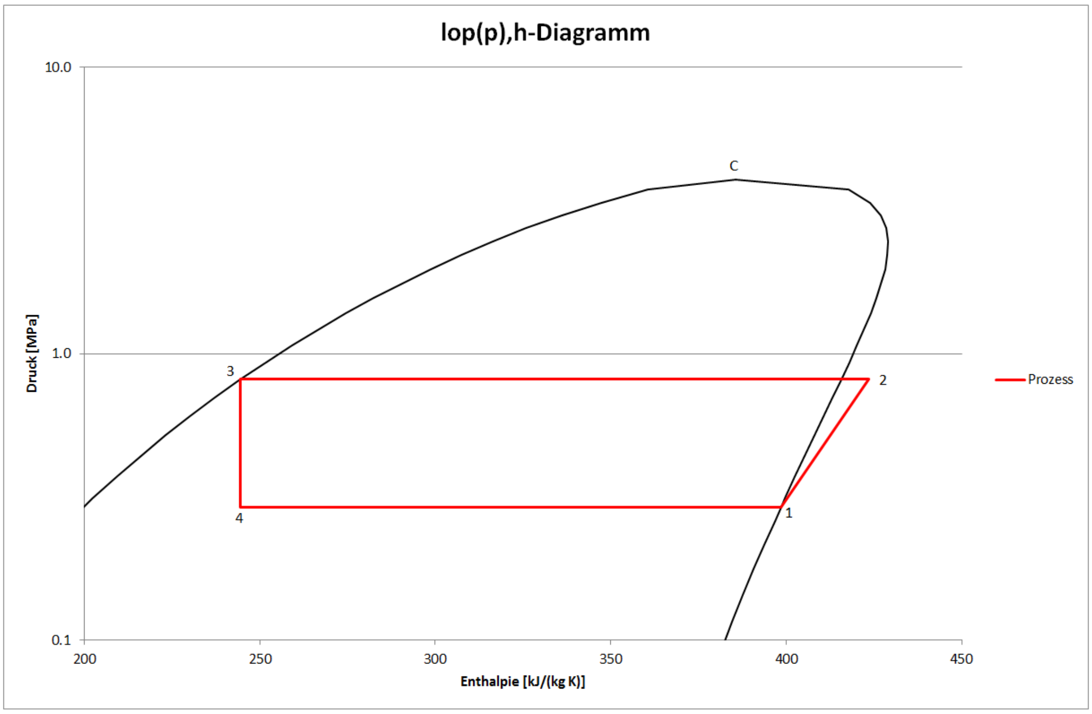
T [K]	p_s [MPa]	h' [kJ/kg]	h'' [kJ/kg]	s' [kJ/(kg K)]	s'' [kJ/(kg K)]
273	0.2912	199.8	398.52	0.999	1.727
305	0.8120	244.4	415.71	1.152	1.714

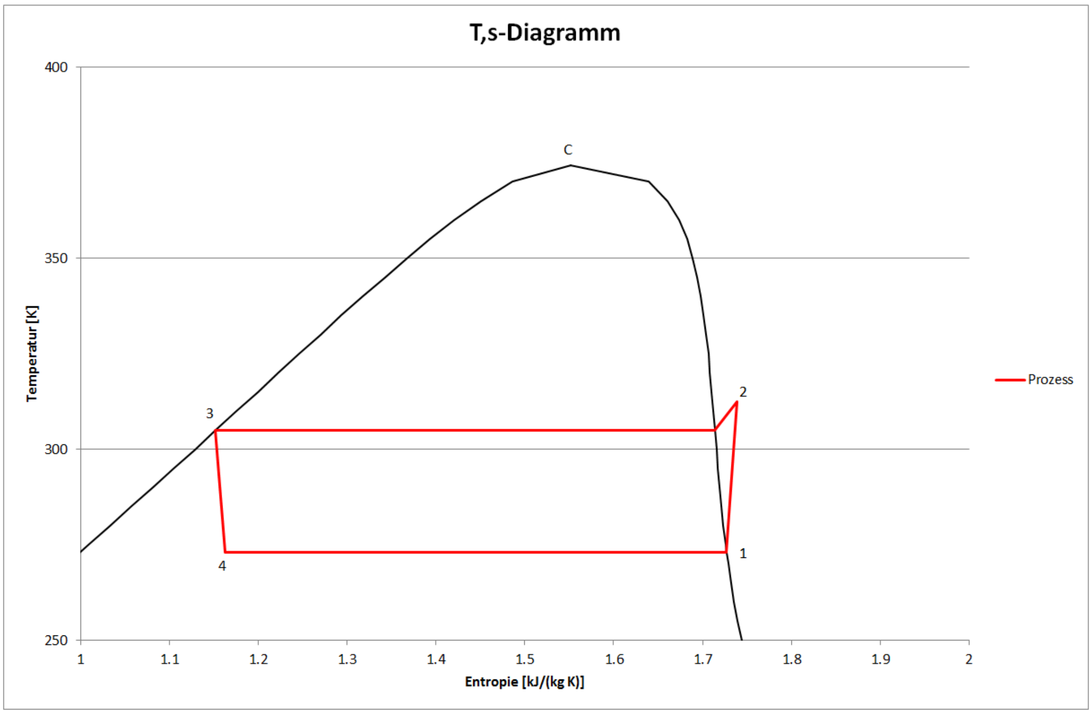
einphasiger Zustand:

T [K]	p_s [MPa]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg K)]
308.83	0.8120	419.79	1.727
312.40	0.8120	423.55	1.739

Zustand 1 und 4
Zustand 2s
Zustand 2
Zustand 3

a)





b) **ges:** Druckverhältnis Π

$$\boxed{\Pi} = \frac{p_{\text{max}}}{p_{\text{min}}} = \frac{p_s(T_3)}{p_s(T_1)} = \frac{p_s(305\,\text{K})}{p_s(273\,\text{K})} = \frac{0.812\,\text{MPa}}{0.2912\,\text{MPa}} = \boxed{2.79} \tag{1}$$

c) **ges:** Leistungszahl ϵ_{WP}

$$\epsilon_{\text{WP}} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{|\dot{Q}_{\text{c}}|}{P_{\text{e}}} = \frac{|q_{\text{c}}|}{w_{\text{t},12}} = \frac{|h_3 - h_2|}{h_2 - h_1} \quad (\text{mit 1. HS: } q + w_{\text{t}} = \Delta h) \tag{2}$$

$$\eta_{s,v} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \implies h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{s,v}} \tag{3}$$

Aus Tabelle:

$$h_1 = h''(T_1) = 398.52\,\tfrac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{4}$$

$$h_3 = h'(T_3) = 244.4\,\tfrac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{5}$$

$$h_{2s} = h(s_{2s}, p_2) \quad \text{mit: } p_2 = p_3 = 0.812\,\text{MPa} \tag{6}$$

$$s_{2s} = s_1 = s''(T_1) = 1.727\,\tfrac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \tag{7}$$

$$\implies h_{2s} = 419.79\,\tfrac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{8}$$

$$\implies h_2 = 398.52\,\tfrac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{(419.79 - 398.52)\text{kJ/kg}}{0.85} = 423.55\,\tfrac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{9}$$

$$\implies \boxed{\epsilon_{\text{WP}}} = \frac{|(244.4 - 423.54)|\text{kJ/kg}}{(423.54 - 398.52)\text{kJ/kg}} = \boxed{7.16} \tag{10}$$

d) Exergieverlust allgemein:

$$\boxed{\Delta e_v = \mathrm{d}e_\mathrm{v} = T_\mathrm{a}\,\mathrm{d}s} \tag{11}$$

i) **ges:** Exergieverlust Verdichter $\Delta e_{v,12}$

$$\Delta e_{v,12} = T_\mathrm{a} \cdot \Delta s_{12} \tag{12}$$

$$\text{mit: } s_2 = 1.739\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} \tag{13}$$

$$\Longrightarrow \boxed{\Delta e_{v,12}} = (1.739 - 1.727)\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} \cdot 280\,\mathrm{K} = \boxed{3.36\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}} \tag{14}$$

ii) **ges:** Exergieverlust Drossel $\Delta e_{v,34}$
Zunächst werten wir den 1. HS f. stat. FP über der adiabaten Drossel aus. Zu beachten ist dabei, dass wir hier **nicht** blind $\xcancel{P_{34} = -\dot{m}\int_3^4 v\,\mathrm{d}p}$ einsetzen dürfen! An einer Drossel wird keine Leistung entnommen, also ist $P_{34} = 0$, auch wenn Druck und spez. Volumen sich verändern!

$$\dot{m}(h_4 - h_3) = P_{34} + \dot{Q}_{34} \tag{15}$$

$$\text{mit} \quad P_{34} = 0 \qquad \text{(keine Leistungsentnahme)} \tag{16}$$

$$\dot{Q}_{34} = 0 \qquad \text{(adiabat)} \tag{17}$$

$$\Longrightarrow \dot{m}(h_4 - h_3) = 0 \tag{18}$$

$$\Longrightarrow h_4 = h_3 \tag{19}$$

Nun können wir den Exergieverlust über der Drossel bestimmen:

$$\Delta e_{v,34} = T_\mathrm{a} \cdot \Delta s_{34} \tag{20}$$

$$s_3 = s'(T_3) = 1.152\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} \tag{21}$$

$$s_4 = s'(1 - x_4) + s'' \cdot x_4 \quad (\text{bei } p_4) \tag{22}$$

$$x_4 = \frac{h_4 - h'}{h'' - h'} = \frac{(244.4 - 199.8)\mathrm{kJ/kg}}{(398.52 - 199.8)\mathrm{kJ/kg}} = 0.2244 \quad \text{mit: } h_4 = h_3 \tag{23}$$

$$\Longrightarrow s_4 = 0.999\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} \cdot (1 - 0.2244) + 1.727\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} \cdot 0.2244 \tag{24}$$

$$= 1.1624\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} \tag{25}$$

$$\Longrightarrow \boxed{\Delta e_{v,34}} = 280\,\mathrm{K} \cdot (1.1624 - 1.152)\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} = \boxed{2.91\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}} \tag{26}$$

iii) **ges:** Exergieverlust bei Wärmeaufnahme im Verdampfer $\Delta e_{v,41}$
1. HS f. stat. FP:

$$\dot{m}(h_1 - h_4) = P_{41} + \dot{Q}_{41} \tag{27}$$

$$\text{mit} \quad P_{41} = 0 \qquad \text{(keine Leistungsentnahme)} \tag{28}$$

$$\Longrightarrow \quad \dot{m}(h_1 - h_4) = \dot{Q}_{41} \tag{29}$$

$$\Longleftrightarrow \quad (h_1 - h_4) = q_{41} \tag{30}$$

Nun können wir den Exergieverlust über den Verdampfer bestimmen:

$$\Delta e_{v,41} = \left(1 - \frac{T_\mathrm{a}}{T_{\mathrm{a}*}}\right) q_{41} - \left(1 - \frac{T_\mathrm{a}}{T_{\mathrm{m},41}}\right) q_{41} \tag{31}$$

$$= T_\mathrm{a} \left(\frac{T_{\mathrm{a}*} - T_{\mathrm{m},41}}{T_{\mathrm{a}*} \cdot T_{\mathrm{m},41}}\right) \cdot (h_1 - h_4) = T_\mathrm{a} \cdot \frac{T_{\mathrm{a}*} - T_1}{T_{\mathrm{a}*} \cdot T_1} \cdot (h_1 - h_4) \tag{32}$$

$$\Longrightarrow \quad \boxed{\Delta e_{v,41}} = 280\,\mathrm{K} \cdot \frac{(278 - 273)\mathrm{K}}{278\,\mathrm{K} \cdot 273\,\mathrm{K}} \cdot (398.52 - 244.4)\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} = \boxed{2.84\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}} \tag{33}$$

e) **ges:** exergetischer Wirkungsgrad $\eta_{\mathrm{ex},P}$; $\eta_{\mathrm{ex},R}$

$$\eta_\mathrm{ex} = \frac{\text{ex. Nutzen}}{\text{ex. Aufwand}} = \frac{|\dot{E}_{\dot{Q}_\mathrm{c}}|}{P_e} = \frac{|e_{q_c}|}{w_{\mathrm{t},12}} \tag{34}$$

$$w_{\mathrm{t},12} = h_2 - h_1 = (423.54 - 398.52)\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} = 25.02\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} \tag{35}$$

i) **Prozess** ($T_\mathrm{Waermeuebergang} = T_{\mathrm{m},23}$; $T_\mathrm{a} = 280\,\mathrm{K}$)

$$e_{q_c} = \Delta e_{23} = \Delta h_{23} - T_\mathrm{a} \cdot \Delta s_{23} \tag{36}$$

$$e_{q_c} = (244.4 - 423.54)\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} - 280\,\mathrm{K} \cdot (1.152 - 1739)\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg\,K}} = -14.78\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} \tag{37}$$

$$\Longrightarrow \quad \boxed{\eta_{\mathrm{ex},P}} = \frac{|(-14.78)|\mathrm{kJ/kg}}{25.02\,\mathrm{kJ/kg}} = \boxed{0.59} \tag{38}$$

ii) **Raumtemperatur:** ($T_\mathrm{Waermeuebergang} = T_\mathrm{R} = 293.15\,\mathrm{K}$)

$$e_{q_c} = \left(1 - \frac{T_\mathrm{a}}{T_\mathrm{R}}\right) \cdot q_\mathrm{c} = \left(1 - \frac{280\,\mathrm{K}}{293.15\,\mathrm{K}}\right) \cdot (-179.14)\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} = -8.036\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} \tag{39}$$

$$\Longrightarrow \quad \boxed{\eta_{\mathrm{ex,R}}} = \frac{|(-8.036)|\mathrm{kJ/kg}}{25.02\,\mathrm{kJ/kg}} = \boxed{0.32} \tag{40}$$

f) **ges:** Antriebsleistung P_e

$$\epsilon_\mathrm{WP} = 7.16 = \frac{|\dot{Q}_\mathrm{c}|}{P_\mathrm{e}} \tag{41}$$

$$\Longrightarrow \quad P_\mathrm{e} = \frac{|\dot{Q}_\mathrm{c}|}{7.16} \tag{42}$$

$$-\dot{Q}_\mathrm{c} = \dot{Q}_\mathrm{Heiz} = (T_\mathrm{R} - T_\mathrm{a}) \cdot 0.3\,\frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{K}} \tag{43}$$

$$= (293.15\,\mathrm{K} - 280\,\mathrm{K}) \cdot 0.3\,\tfrac{\mathrm{kW}}{\mathrm{K}} = 3.945\,\mathrm{kW} \tag{44}$$

$$\Longrightarrow \boxed{P_{\mathrm{e}}} = \frac{3.945\,\mathrm{kW}}{7.16} = \boxed{0.55\,\mathrm{kW}} \tag{45}$$