Institut für Technische Verbrennung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Pitsch

– Musterlösung –

Thermodynamik I

WS 2014/2015

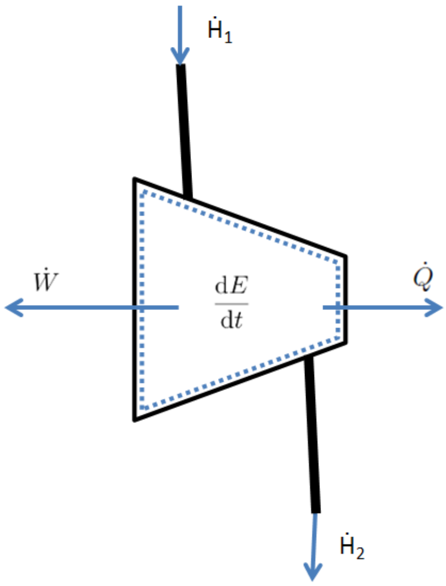
Aachen, den 11. März 2015

Bachelorprüfung

1 Aufgabe (13 Punkte)

(a) Berechnung der Temperatur am Turbinenaustritt (K) 7 Pkt.

Zustand 1: $T_1 = 2500$ K, $v_1 = 81$ m/s
Zustand 2: $v_2 = 81$ m/s
Zustand 3: $v_3 = 476$ m/s, $p_3 = 100$ kPa
$\dot{m} = 0{,}1$ kg/s, $M = 28{,}7$ kg/kmol, $\kappa = 1,4$, $\dot{W}_{12} = 120$ kW
$\dot{Q}_{12} = 20$ kW, $D = 20$ mm



1P

$$R_M = \frac{R}{M} = \frac{8,3143\ \text{kJ/(kmolK)}}{28,7\ \text{kg/kmol}} = 0,2897\ \text{kJ/(kgK)} \ \text{1P}$$

$$c_p = \frac{\kappa}{\kappa - 1} R_M \ \text{1P} \ = \frac{1,4}{0,4} \times 0,2897\ \text{kJ/(kgK)}$$
$$= 1.014\ \text{kJ/(kgK)} \ \text{1P}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{H}_1 - \dot{H}_2 - \dot{W}_{12} - \dot{Q}_{12} \stackrel{!}{=} 0 \ \text{1P}$$
$$0 = \dot{m}c_p(T_1 - T_2) - \dot{W}_{12} - \dot{Q}_{12} \ \text{1P}$$
$$T_2 = T_1 - \frac{\dot{W}_{12} + \dot{Q}_{12}}{\dot{m}c_p}$$
$$= 2500\ \text{K} - \frac{120\ \text{kW} + 20\ \text{kW}}{0,1\ \text{kg} \times 1,014\ \text{kJ/kg}}$$
$$= 1119.33\ \text{K} \ \text{1P}$$

(b) Berechnung der Temperatur am Düsenaustritt (K) 2 Pkt.

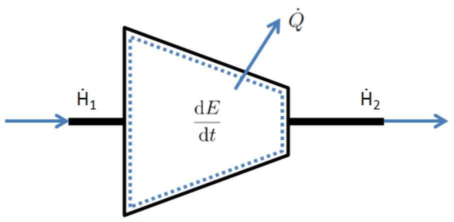
$$p_3\dot{V}_3 = \dot{m}_3 R_M T_3 \quad \text{1P.}$$

$$T_3 = \frac{p_3\dot{V}_3}{\dot{m}_3 R_M} = \frac{p_3(\frac{D}{2})^2\pi v_3}{\dot{m}_3 R_M}$$

$$= \frac{100\ \text{kPa} \times (\frac{0{,}02\text{m}}{2})^2 \times \pi \times 426\ \text{m/s}}{0,1\ \text{kg/s} \times 0,2897\ \text{kJ/(kgK)}}$$

$$= 516,2\ \text{K} \quad \text{1P.}$$

(c) Berechnung des Wärmestroms $\dot{Q}_{23}$ (kW) 4 Pkt.



1P.

$$\frac{dE}{dt} = \dot{H}_{2,t} - \dot{H}_{3,t} - \dot{Q}_{23} \overset{!}{=} 0 \quad \text{1P.}$$

$$0 = \dot{m}(c_p(T_2 - T_3) + \frac{1}{2}v_2^2 - \frac{1}{2}v_3^2) - \dot{Q}_{23} \quad \text{1P.}$$

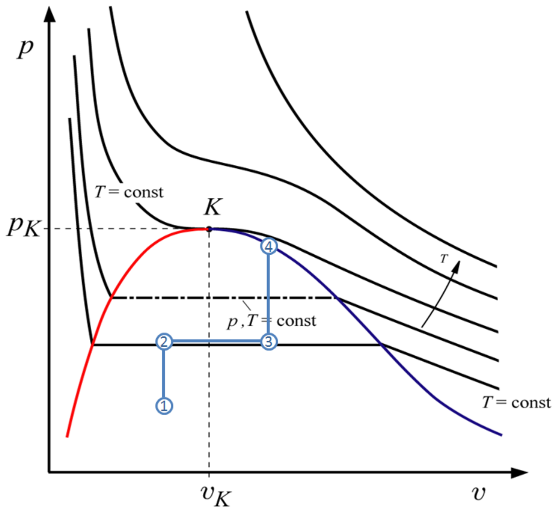
$$\dot{Q}_{23} = 0,1\text{kg/s} \times (1,014\ \text{kJ/(kgK)} \times (1119,33 - 516,2)\text{K}$$

$$+ \frac{1}{2}\left((81\ \ \text{m/s})^2 - (476\ \text{m/s})^2\right)$$

$$= 50,157\ \text{kW} \quad \text{1P.}$$

2 Aufgabe (25 Punkte)

(a) Skizze des p-v-Diagramms 4 Pkt.



Richtige Achsenbeschriftung und Sättigungslinie 1P.
Richtiger Verlauf von 1→2, 2→3, 3→4 jeweils 1P.

(b) Berechnung der Wassermasse (kg) 4 Pkt.

Zustand 1 (Ursprung): V_1 = 0,4 m^3, T_1 = 100°C, x_1 = 0,25,
Zustand 2 (Erste Kolbenbewegung): $V_2 = V_1$ = 0,4 m^3, p_2 = 200 bar,
Zustand 3 (Kolben an oberer Barriere angekommen): p_3 = 200 kPa,
Zustand 4 (Endzustand): $V_4 = V_3$, $x_4 = 1$ p_4 = 300 kPa.

$$\left.\begin{array}{l} \nu_1'(100°\mathrm{C}) = 0,001044\ \mathrm{m}^3/\mathrm{kg} \\ \nu_1''(100°\mathrm{C}) = 1,6729\ \mathrm{m}^3/\mathrm{kg} \end{array}\right\} \text{1P.}$$

$$\begin{aligned} \nu_1 &= (1-x)\nu_1' + x\nu_1'' \quad \text{1P.} \\ &= 0,75 \times 0,001044\ \mathrm{m}^3/\mathrm{kg} + 0,25 \times 1,6729\ \mathrm{m}^3/\mathrm{kg} \\ &= 0,419\ \mathrm{m}^3/\mathrm{kg} \quad \text{1P.} \end{aligned}$$

$$m_1 = \frac{V_1}{\nu_1} = \frac{0,4\ \mathrm{m}^3}{0,419\ \mathrm{m}^3/\mathrm{kg}} = 0,955\ \mathrm{kg} \quad \text{1P.}$$

(c) Berechnung von T_2 3 Pkt.

$$\nu_2 = \nu_1 = 0,419\ \mathrm{m}^3/\mathrm{kg} \quad \text{1P.}$$

$$\left.\begin{array}{l} \nu'(200\ \mathrm{kPa}) = 0,00106\mathrm{m}^3/\mathrm{kg} \\ \nu''(200\ \mathrm{kPa}) = 0,8857\mathrm{m}^3/\mathrm{kg} \end{array}\right\}$$

$\rightarrow \nu_2$ liegt im Nassdampfbereich 1P.

$$T_2 = T_{sat}(200\ \mathrm{kPa}) = 120,23°\mathrm{C} \quad \text{1P.}$$

(d) Berechnung von V_3 2 Pkt.

$$\nu_4 = \nu^{''}(300 \text{ kPa}) = 0,6058 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{1P}$$

$$\begin{aligned} V_4 &= m\nu_4 = 0,955 \text{ kg} \times 0,6058 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{1P} \\ &= 0,5785 \ \ \text{m}^3 \end{aligned}$$

(e) Berechnung von Q_{14} 5 Pkt.

$$\begin{aligned} \Delta U &= W + Q_{14} \quad \text{1P} \\ U_4 - U_1 &= -\int_1^4 pdV + Q_{14} \\ Q_{14} &= U_4 - U_1 + \int_1^4 pdV \end{aligned}$$

Da $\nu_4 = \nu_3$ und $\nu_1 = \nu_2$ gilt:

$$\rightarrow \int_1^4 pdV = \int_2^3 pdV \quad \text{1P}$$

$$\Rightarrow Q_{14} = m(u_4 - u_1) + \int_2^3 pdV$$

$$\begin{aligned} u^{'}(100°\text{C}) &= 418,94 \text{ kJ/kg} \\ u^{''}(100°\text{C}) &= 2506,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_1 &= (1-x)u^{'}(100°\text{C}) + xu^{''}(100°\text{C}) \\ &= (0,75 \times 418,94 + 0,25 \times 2506,5) \text{ kJ/kg} \\ &= 940,875 \text{ kJ/kg} \quad \text{1P} \end{aligned}$$

$$u_4 = 2543,6 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} Q_{14} &= 0,955 \text{ kg} \times (2543,6 - 940,875) \text{ kJ/kg} + 200 \text{ kPa} \times (0,5785 - 0,4) \text{ m}^3 \\ &= 1566,3 \text{ kJ} \quad \text{2P} \end{aligned}$$

(f) Berechnung der Entropieproduktion $S_{irr,23}$ 7 Pkt.

$$s = (1-x)s^{'} + xs^{''}$$

$$\left.\begin{aligned} x_3 &= \tfrac{\nu_3 - \nu_2^{'}}{\nu_2^{''} - \nu_2^{'}} = \tfrac{(0,6058 - 0,001601) \text{ m}^3/\text{kg}}{(0,8857 - 0,001601) \text{ m}^3/\text{kg}} \\ &= 0,6834 \\ x_2 &= \tfrac{(0,419 - 0,001601) \text{ m}^3/\text{kg}}{(0,8857 - 0,001601) \text{ m}^3/\text{kg}} \\ &= 0,4721 \end{aligned}\right\} \text{1P}$$

$$s^{'}(200\ \text{kPa}) = 1,5301\ \text{kJ/(kgK)}$$
$$s^{''}(200\ \text{kPa}) = 7,1271\ \text{kJ/(kgK)}$$

$$\left.\begin{aligned}
s_3 &= (1 - 0,6834) \times 1,5301\ \text{kJ/(kgK)} + 0,6834 \times 7,1271\ \text{kJ/(kgK)} \\
&= (0,4844 + 4,8707)\ \text{kJ/(kgK)} \\
&= 5,3551\ \text{kJ/(kgK)} \\
s_2 &= (1 - 0,4721) \times 1,5301\ \text{kJ/(kgK)} + 0,4721 \times 7,1271\ \text{kJ/(kgK)} \\
&= (0,80774 + 3,35686)\ \text{kJ/(kgK)} \\
&= 4,1646\ \text{kJ/(kgK)}
\end{aligned}\right\}\ \text{1P.}$$

$$u^{'}(200\ \text{kPa}) = 504,49\ \text{kJ/kg}$$
$$u^{''}(200\ \text{kPa}) = 2.529,5\ \text{kJ/kg}$$

$$\left.\begin{aligned}
u_3 &= (1 - 0,6830) \times 504,49\ \text{kJ/kg} + 0,6834 \times 2.529,5\ \text{kJ/kg} \\
&= (159,72 + 1728,66)\ \text{kJ/kg} \\
&= 1888,38\ \text{kJ/kg} \\
u_2 &= (1 - 0,4721) \times 504,49\ \text{kJ/kg} + 0,4721 \times 2.529,5\ \text{kJ/kg} \\
&= (266,32 + 1194,17)\ \text{kJ/kg} \\
&= 1460,497\ \text{kJ/kg}
\end{aligned}\right\}\ \text{1P.}$$

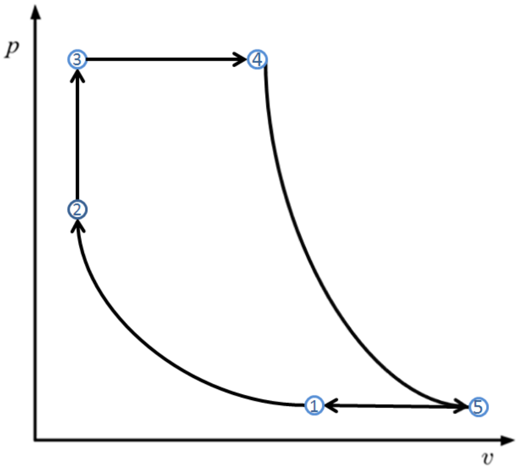
$$\begin{aligned}
Q_{23} &= m(u_3 - u_2) + \int_2^3 pdV \\
&= 0,955\ \text{kg} \times (1888,38 - 1460,497)\ \text{kJ/kg} + 200\ \text{kPa} \times (0,5785 - 0,4)\ \text{m}^3 \\
&= 408,62\ \text{kJ} + 35,7\ \text{kJ} \\
&= 444,33\ \text{kJ}\ \text{1P.}
\end{aligned}$$

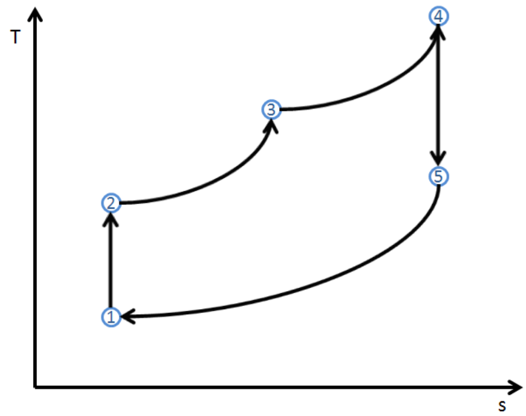
$$T_3 = T_2$$

$$\begin{aligned}
\Delta S &= S_{irr,23} + S_{q,23}\ \text{1P.} \\
S_{irr,23} &= m(s_3 - s_2) - \frac{Q_{23}}{T_2}\ \text{1P.} \\
&= 0,955\ \text{kg} \times (5,3551 - 4,1646)\ \text{kJ/(kgK)} - 1,1295\ \text{kJ/K} \\
&= 0,00738\ \text{kJ/K}\ \text{1P.}
\end{aligned}$$

3 Aufgabe (25 Punkte)

(a) Skizze des p-v-Diagramms und des T-s-Diagramms 6 Pkt.





Für jeden richtigen Zustandsübergang im Diagramm je 0,5 Punkte
Für die richtige Achsbeschriftung im Diagramm je 0,5 Punkte

(b) Berechnung der Temperatur T_2 (K): 6 Pkt.

$$R_M = \frac{R}{M} = \frac{8,31451 \text{ kJ/(kmolK)}}{29,1 \text{ kg/kmol}}$$
$$= 0,2857 \text{ kJ/(kgK)} \quad 1P.$$

$$\kappa = \frac{c_p}{c_p - R_M} = \frac{1}{1 - 0,2857} = 1,4 \quad 1P.$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_1}{V_2}^{\kappa-1} \quad 1P.$$
$$T_2 = T_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}^{\kappa-1}$$
$$= 300 \text{ K} \times 8^{(1,4-1)}$$
$$= 689,22 \text{ K} \quad 1P.$$

(c) Berechnung der Maximaltemperatur (K) 3 Pkt.

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}^{\kappa}$$
$$= 100 \text{ kPa} \cdot 8^{1,4}$$
$$= 1837,9 \text{ kPa} \quad 1P.$$

$$T_3 = T_2 \cdot \frac{p_3}{p_2}$$
$$= 689,22 \text{ K} \times \frac{4 \text{ MPa}}{1837,9 \text{ kPa}}$$
$$= 1500 \text{ K} \quad 1P.$$

$$
\begin{aligned}
T_4 &= T_3 \cdot \frac{V_4}{V_3} \\
&= 1500\ \text{K} \times 2 \\
&= 3000\ \text{K} \quad \text{1P.}
\end{aligned}
$$

(d) Berechnung des Volumenverhältnisses V_5/V_3 2 Pkt.

$$
\begin{aligned}
\frac{p_5}{p_4} &= \frac{V_4}{V_5}^{\kappa} \\
\frac{V_4}{V_5} &= \frac{p_5}{p_4}^{\frac{1}{\kappa}}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
3 \rightarrow 4 &: \text{Isobarer Prozess } p_3 = p_4 \\
5 \rightarrow 1 &: \text{Isobarer Prozess } p_5 = p_1
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\Rightarrow \frac{V_4}{V_5} &= \frac{p_1}{p_3}^{\frac{1}{\kappa}} = \frac{100\ \text{kPa}}{4\ \text{MPa}}^{\frac{1}{1,4}} \\
&= 0,0717 \quad \text{1P.}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\frac{V_5}{V_3} &= \frac{V_5}{V_4}\frac{V_4}{V_3} \\
&= \frac{2}{0,0717} \\
&= 27,88 \quad \text{1P.}
\end{aligned}
$$

(e) Berechnung des thermischen Wirkungsgrads 10 Pkt.

$$
\begin{aligned}
c_v &= c_p - R_M \\
&= (1 - 0,2857)\ \text{kJ/(kgK)} \\
&= 0,7143\ \text{kJ/(kgK)}
\end{aligned}
$$

$2 \rightarrow 3$: Isochorer Prozess

$$
\begin{aligned}
\Delta u_{23} &= q_{23} + \cancelto{0}{w_{23}} \quad \text{2P.} \\
\Delta u_{23} &= q_{23} \\
q_{23} &= c_v(T_3 - T_2) \\
&= 0,7143\ \text{kJ/(kgK)} \times (1500\ \text{K} - 689,22\ \text{K}) \\
&= 578,9\ \text{kJ/kg} \quad \text{1P.}
\end{aligned}
$$

$3 \rightarrow 4$: Isobarer Prozess

$$
\begin{aligned}
\Delta u_{34} &= q_{34} + w_{34} \\
\Delta u_{34} &= q_{34} - \int_3^4 p dv \\
q_{34} &= \Delta u_{34} + \int_3^4 p dv = \Delta h_{34} \quad \text{1P.} \\
&= c_p \cdot (T_4 - T_3) \\
&= 1\ \text{kJ/(kgK)} \times (3000\ \text{K} - 1500\ \text{K}) \\
&= 1500\ \text{kJ/(kg)} \quad \text{1P.}
\end{aligned}
$$

Alternativlösung:

$$\begin{aligned}
q_{34} &= \Delta u_{34} + \int_3^4 p dv \\
&= c_v(T_4 - T_3) + p_3 \cdot (v_4 - v_3) \\
&= 0,7143 \text{ kJ/(kgK)} \times (3000 - 1500) \text{ K} \\
&+ 4 \text{ MPa} \times (0,21525 \text{ m}^3/\text{kg} - 0,107625 \text{ m}^3/\text{kg}) \\
&= 1500 \text{ kJ/(kg)} \quad \text{1P.}
\end{aligned}$$

Berechnung von v_4 und v_3 über das ideale Gasgesetz:

$$\begin{aligned}
v_4 &= \frac{R_M T_4}{p_4} = \frac{0,2857 \text{ kJ/(kgK)} \times 3000 \text{ K}}{4\text{MPa}} \\
&= 0,21525 \text{ m}^3/\text{kg} \\
v_3 &= \frac{R_M T_3}{p_3} = \frac{0,2857 \text{ kJ/(kgK)} \times 1500 \text{ K}}{4\text{MPa}} \\
&= 0,107625 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{1P.}
\end{aligned}$$

$5 \rightarrow 1$: Isobarer Prozess

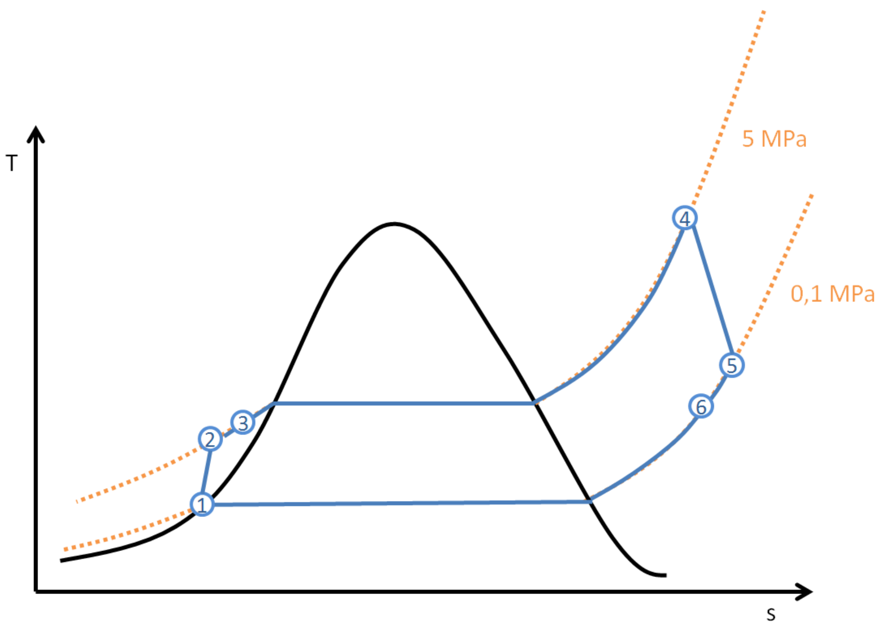
$$\begin{aligned}
q_{51} &= \Delta u_{5,1} + \int_1^5 p dv = \Delta h_{51} \quad \text{1P.} \\
&= c_p(T_5 - T_1) \\
&= 1 \text{ kJ/(kgK)} \times (1045,7 \text{ K} - 300 \text{ K}) \\
&= 745,7 \text{ kJ/kg} \quad \text{1P.}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_5 &= T_4 \cdot \frac{p_5}{p_1}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \\
&= 3000 \text{ K} \cdot \frac{100 \text{ kPa}}{4 \text{ MPa}}^{\frac{1,4-1}{1,4}} \\
&= 1045,7 \text{ K} \quad \text{1P.}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_{ab} &= q_{51} \\
q_{zu} &= q_{23} + q_{34} \\
\eta_{th} &= 1 - \frac{|q_{ab}|}{|q_{zu}|} \quad \text{1P.} \\
\eta_{th} &= 1 - \frac{745,7}{1500 + 578,9} = 0,6413 \\
&= 64,13\% \quad \text{1P.}
\end{aligned}$$

4 Aufgabe (27 Punkte)

(a) Skizze des T-s-Diagramms 6 Pkt.



- Für die richtigen Zustandsübergänge 1→2, 2→3, und 5→6 je 0,5 Punkte
- Für die richtigen Zustandsübergänge 3→4, 4→5, und 6→1 je 1 Punkt
- Für die Sättigungslinie 0,5 Punkte
- Für die richtige Darstestellung von $T_5 > T_3$ und $T_6 > T_2$ je 0,5 Punkte

(b) Berechnung der Temperatur T_2 (K) 6 Pkt.

$$\eta_{is} = \frac{h_2^* - h_1}{h_2 - h_1} \quad \text{1P.}$$

$$h_2 = \frac{h_2^* - h_1}{\eta_{is}} + h_1$$

$$s_1 = s^{'}(0,1\ \text{MPa}) = 1,3026\ \text{kJ/kg}$$
$$h_1 = h^{'}(0,1\ \text{MPa}) = 417,46\ \text{kJ/kg}$$

$$p_2 = 5\ \text{MPa}$$
$$s_2^* = s_1 = 1,3026\ \text{kJ/kg}$$

$$\left.\begin{array}{l} s^{'}(5\ \text{MPa}) = 2,9202\ \ \text{kJ/kg} \\ s_2^* < s^{'}(5\ \text{MPa}) \rightarrow\ \text{Unterkühlte Flüssigkeit} \end{array}\right\} \text{1P.}$$

$$\Rightarrow T_2^* = 100°\text{C}$$

$$\Rightarrow h_2^* = 422,72 \text{ kJ/kg} \quad \text{1P.}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= \frac{422,72 \text{ kJ/kg} - 417,46 \text{ kJ/kg}}{0,9} + 417,46 \text{ kJ/kg} \\ &= 423,34 \text{ kJ/kg} \quad \text{1P.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h^{'}(5 \text{ MPa}) &= 1154,23 \text{ kJ/kg} \\ h_2 < h^{'}(5 \text{ MPa}) &\rightarrow \text{ Unterkühlte Flüssigkeit} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow T_2 = 100°\text{C} \quad \text{1P.}$$

(c) Berechnung der Temperatur T_3 (K) 10 Pkt.

Bestimmung h_5:

$$T_4 = 1000°\text{C}, p_4 = 5 \text{ MPa}$$

$$\left.\begin{aligned} h_4 &= 4.625,7 \text{ kJ/kg} \\ s_4 &= 8,1612 \text{ kJ/(kgK)} \end{aligned}\right\} \text{1P.}$$

$$s_5^* = s_4 > s^{''}(0,1 \text{ MPa}) = 7,3594 \text{ kJ/(kgK)}$$

$$\Rightarrow \text{ Überhitzter Dampf} \quad \text{1P.}$$

$$h_5^* = 3074,3 \text{ kJ/kg} \quad \text{1P.}$$

$$\begin{aligned} \eta_{is} &= \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_5^*} \quad \text{1P.} \\ h_5 &= h_4 - (h_4 - h_5^*)\eta_{is} \\ &= 4.625,7 \text{ kJ/kg} - (4.625,7 \text{ kJ/kg} - 3.074,3 \text{ kJ/kg}) \times 0,9 \\ &= 3.229,44 \text{ kJ/kg} \quad \text{1P.} \end{aligned}$$

Bestimmung h_6:

$$\left.\begin{aligned} &T_6 = 150°\text{C}, p_6 = 0,1 \text{ MPa} \\ &\Rightarrow \text{ Überhitzter Dampf} \end{aligned}\right\} \text{1P.}$$

$$h_6 = 2776,5 \text{ kJ/kg} \quad \text{1P.}$$

Bestimmung h_3:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &\overset{!}{=} 0 = \dot{H}_2 - \dot{H}_3 + \dot{H}_5 - \dot{H}_6 - \cancelto{0}{\dot{W}} - \cancelto{0}{\dot{Q}} \\ &= \dot{m}(h_2 - h_3 + h_5 - h_6) \quad \text{1P.} \\ h_3 &= h_2 + h_5 - h_6 \\ &= 423,34 \text{ kJ/kg} + 3229,44 \text{ kJ/kg} - 2776,5 \text{ kJ/kg} \\ &= 876,38 \text{ kJ/kg} \quad \text{1P.} \end{aligned}$$

$$h_3 < h^{'}(5\text{ MPa}) = 1154,23\text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow \text{ Unterkühlte Flüssigkeit}$$

$$h(5\text{ MPa}, 200°\text{C}) = 853,9\text{ kJ/kg}$$
$$h(5\text{ MPa}, 220°\text{C}) = 944,4\text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} T_3 &= 200°\text{C} + \frac{(220-200)°\text{C}}{(944,4-853,9)\text{ kJ/kg}} \times (876,38-853,9)\text{ kJ/kg} \\ &= 205°\text{C} \quad \text{1P.} \end{aligned}$$

(d) Berechnung des Thermischen Wirkungsgrads η_{th} 3 Pkt.

$$\begin{aligned} \dot{W} &= W_{Turbine} - W_{Pumpe} \\ &= \dot{H}_4 - \dot{H}_5 + \dot{H}_1 - \dot{H}_2 \\ \dot{Q}_{zu} &= \dot{H}_4 - \dot{H}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_{th} &= \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{zu}} \quad \text{1P.} \\ &= \frac{\dot{H}_4 - \dot{H}_5 + \dot{H}_1 - \dot{H}_2}{\dot{H}_4 - \dot{H}_3} \\ &= \frac{\dot{m}\cdot(h_4 - h_5 - h_2 + h_1)}{\dot{m}\cdot(h_4 - h_3)} \\ &= \frac{h_4 - h_5 - h_2 + h_1}{h_4 - h_3} \quad \text{1P.} \\ &= \frac{(4625,7 - 3229,44 - 423,34 + 417,46)\text{ kJ/kg}}{(4625,7 - 876,38)\text{ kJ/kg}} \\ &= \frac{1290,38\text{ kJ/kg}}{3749,32\text{ kJ/kg}} \\ &= 34,4\% \quad \text{1P.} \end{aligned}$$

(e) Berechnung des notwendigen Massenstroms $\dot{m}$ (kg/s) 2 Pkt.

$$\begin{aligned} q_{34} &= h_4 - h_3 \\ &= (4625,7 - 876,38)\text{ kJ/kg} \\ &= 3749,32\text{ kJ/kg} \quad \text{1P.} \end{aligned}$$

$$\dot{Q}_{34} = \dot{Q}_W = 5\text{ MW}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{\dot{Q}_{34}}{q_{34}} \\ &= \frac{5\text{ MW}}{3.749,32\text{ kJ/kg}} \\ &= 1,335\text{ kg/s} \quad \text{1P.} \end{aligned}$$