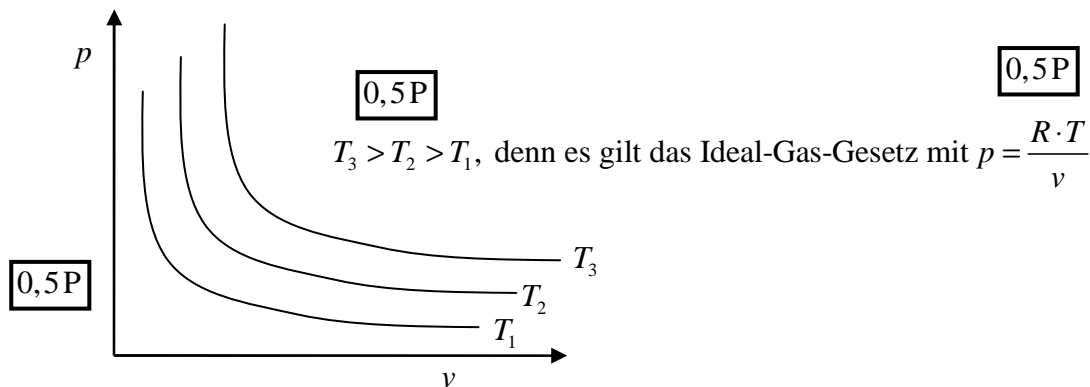


## Lösung der Klausur im Fach „Höhere Thermodynamik“ am 03.03.2011

Aufgabe	1	2	3	4	Σ
mögliche Punkte	11,5	16	13,5	13	54

### 1. Aufgabe

a)



b) beide, siehe Vorlesung

1,0P

c) Bei einer realen Turbine entstehen Reibungsverluste, die zu einer signifikanten Erhöhung der Entropie führen. Daher muss die Turbine in dem Maße gekühlt worden sein, wie die irreversible Entropie zugenommen hat.

$$ds = 0 = \frac{\delta q}{T} + \frac{\delta w_R}{T} \quad \text{mit } \delta w_R > 0 \quad | \text{ reale Turbine}$$

1,0P

$$\Rightarrow \frac{\delta w_R}{T} = -\frac{\delta q}{T}$$

$$\Rightarrow \delta q < 0$$

d) gleich, da der Verlustwärmestrom sonst ansteigt:  $\dot{Q}_V \propto T - T_u$

1,0P

e) Eine Verringerung der Temperatur der Fluidströme führt zur Erhöhung der irreversiblen Entropie, weshalb die Prozessgüte abnehmen muss.

$$ds = \underbrace{\frac{\delta q}{T}}_{=0} + \frac{\delta w_R}{T}$$

1,0P

$$\Rightarrow ds = \frac{\delta w_R}{T} > 0$$

f) Die Enthalpie bleibt gleich und die Entropie fällt.

$$\Delta s = \frac{\overbrace{\Delta h}^{=0, \text{ da } h=f(T)}}{T} - \int v \cdot dp = -R \int \frac{dp}{p} = -R \ln \frac{p}{\underbrace{p_1}_{>0}} \Rightarrow dh = \text{const. und } ds < 0,$$

1,0P

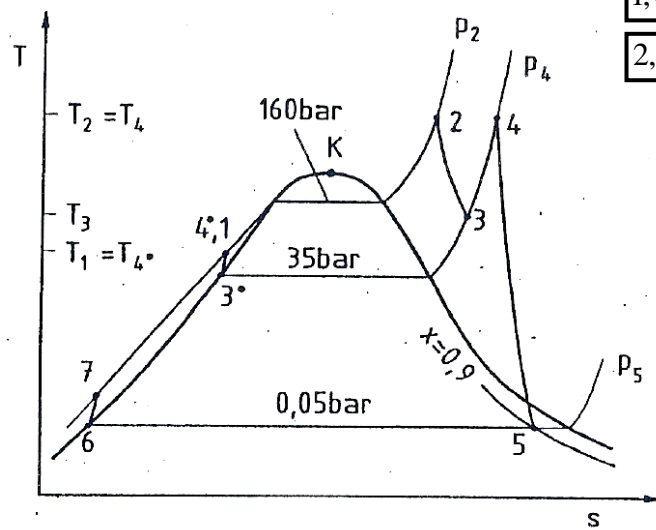
1,0P

bzw. wurden in der Vorlesung die Möglichkeiten zur Änderung der Entropie besprochen.

- g) Nicht möglich da  $s_2 < s_1$  (h,s-Diagramm oder Tabellen). 1,0P
- h) Der Elektroofen liefert eine geringere Wärmemenge als die Wärmemenge X, welche bei direkter Verbrennung im heimischen Ofen erzeugt wird (Energieumwandlungsverlust). 1,0P
- i) Nein, der Heizwert ist unabhängig vom Luftverhältnis bei stöchiometrischer und überstöchiometrischer Verbrennung. 1,0P
- j) Auf Meereshöhe, da hier die Siedetemperatur wegen dem höheren Druck größer ist. 1,0P

## 2. Aufgabe

a)  $T, s$ -Diagramm



1,0P für Isobaren und Isostere

2,0P für Kreislauf

b)  $\dot{m}^*$

1. HS Vorwärmer:

$$0 = \sum_i \dot{H}_i = \dot{m}^* \cdot (h_{3^*} - h_3) + (\dot{m}_W - \dot{m}^*) \cdot (h_1 - h_7)$$

$$= \dot{m}^* \cdot (h_{3^*} - h_3 + h_7 - h_1) + \dot{m}_W \cdot (h_1 - h_7) \quad \boxed{1,0P}$$

$$\Rightarrow \dot{m}^* = \frac{\dot{m}_W \cdot (h_7 - h_1)}{h_{3^*} - h_3 + h_7 - h_1}$$

aus  $h, s$ -Diagramm bzw. Tabelle (Bezugspunkt beachten)

$$\begin{array}{lll} h_1 = 1086,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & h_2 = 3405 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & h_3 = 3020 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h_{3^*} = 1047,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & h_4 = 3520 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & h_5 = 2320 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \quad \boxed{1,0P}$$

$$h_6 = 137,77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_7 = 223,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow \dot{m}^* = 45,67 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \boxed{1,0P}$$

c)  $\dot{Q}_{12}$     $\dot{Q}_{34}$     $\dot{Q}_{56}$

$$1. \text{ HS } 1 \rightarrow 2: \quad \dot{Q}_{12} = \dot{H}_2 - \dot{H}_1 = \dot{m}_W \cdot (h_2 - h_1) = 347,81 \text{ MW} \quad \boxed{1,0P}$$

$$1. \text{ HS } 3 \rightarrow 4: \quad \dot{Q}_{34} = \dot{H}_4 - \dot{H}_3 = (\dot{m}_W - \dot{m}^*) \cdot (h_4 - h_3) = 52,17 \text{ MW} \quad \boxed{1,0P}$$

$$1. \text{ HS } 5 \rightarrow 6 \quad \dot{Q}_{56} = \dot{H}_6 - \dot{H}_5 = (\dot{m}_W - \dot{m}^*) \cdot (h_6 - h_5) = 227,67 \text{ MW} \quad \boxed{1,0P}$$

d)  $\dot{W}_{t67}$     $\dot{W}_{t23}$     $\dot{W}_{t45}$

$$1. \text{ HS } 6 \rightarrow 7: \quad \dot{W}_{t67} = \dot{H}_7 - \dot{H}_6 = (\dot{m}_W - \dot{m}^*) \cdot (h_7 - h_6) = 8,89 \text{ MW} \quad \boxed{1,0P}$$

$$1. \text{ HS } 2 \rightarrow 3: \quad \dot{W}_{t23} = \dot{H}_3 - \dot{H}_2 = \dot{m}_W \cdot (h_3 - h_2) = -57,75 \text{ MW} \quad \boxed{1,0P}$$

$$1. \text{ HS } 4 \rightarrow 5 \quad \dot{W}_{t_{45}} = \dot{H}_5 - \dot{H}_4 = (\dot{m}_w - \dot{m}^*) \cdot (h_5 - h_4) = -125,2 \text{ MW} \quad \boxed{1,0\text{P}}$$

e)  $\eta_{th}$  bei Vernachlässigung der Pumpe  $P$

$$\eta_{th} = \frac{|\dot{W}_{t_{ges}}|}{\dot{Q}_{zu}} = \frac{|\dot{W}_{t_{67}} + \dot{W}_{t_{23}} + \dot{W}_{t_{45}}|}{\dot{Q}_{12} + \dot{Q}_{34}} = 0,435 \quad \boxed{1,0\text{P}}$$

f)  $\dot{E}_{V_{ges}}$  mit  $T_R = 1000 \text{ K}$ ,  $T_u = 293 \text{ K}$

$$\dot{E}_{V_{ges}} = T_u \cdot \dot{S}_{irr} \quad 0 = \dot{S}_Q + \dot{S}_{irr} \quad \boxed{1,0\text{P}}$$

$$\Rightarrow \dot{S}_{irr} = -\dot{S}_Q = -\left(\frac{\dot{Q}_{12}}{T_R} + \frac{\dot{Q}_{34}}{T_R} + \frac{\dot{Q}_{56}}{T_u}\right) \quad \boxed{1,0\text{P}}$$

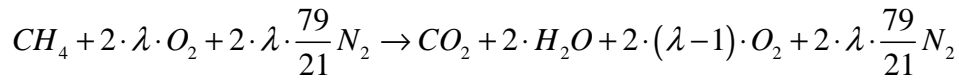
$$\Rightarrow \dot{E}_{V_{ges}} = -T_u \cdot \left(\frac{\dot{Q}_{12}}{T_R} + \frac{\dot{Q}_{34}}{T_R} + \frac{\dot{Q}_{56}}{T_u}\right) = 110,48 \text{ MW} \quad \boxed{1,0\text{P}}$$

### 3. Aufgabe

0,5 P für Edukte und Produkte

a)  $\lambda$   $\dot{n}_i$

1,0 P für Koeffizienten



$$\dot{H}_1 = \dot{n}_{CH_4} \cdot h_{m,CH_4} + \underbrace{\dot{n}_{O_2}}_{=2 \cdot \lambda \cdot \dot{n}_{CH_4}} \cdot h_{m,O_2} + \underbrace{\dot{n}_{N_2}}_{=2 \cdot \lambda \cdot \frac{79}{21} \cdot \dot{n}_{CH_4}} \cdot h_{m,N_2} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{\frac{190}{1} + 56,94}{2 \cdot 8,68 + 2 \cdot \frac{79}{21} \cdot 8,67} = 3 \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$\dot{n}_I = \dot{n}_{CH_4} \cdot \left( 1 + 2 \cdot \lambda + 2 \cdot \lambda \cdot \frac{79}{21} \right) = 29,6 \frac{\text{kmol}}{\text{s}} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$\dot{n}_{II} = \dot{n}_{CH_4} \cdot \left( 1 + 2 + 2 \cdot (\lambda - 1) + 2 \cdot \lambda \cdot \frac{79}{21} \right) = 29,6 \frac{\text{kmol}}{\text{s}} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

b)  $\dot{S}_3 - \dot{S}_1$   $\dot{S}_4 - \dot{S}_2$

$$\dot{S}_3 - \dot{S}_1 = -\dot{n}_I \cdot R_m \cdot \ln \left( \frac{p_3}{p_1} \right) = -0,315 \frac{\text{MW}}{\text{K}} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

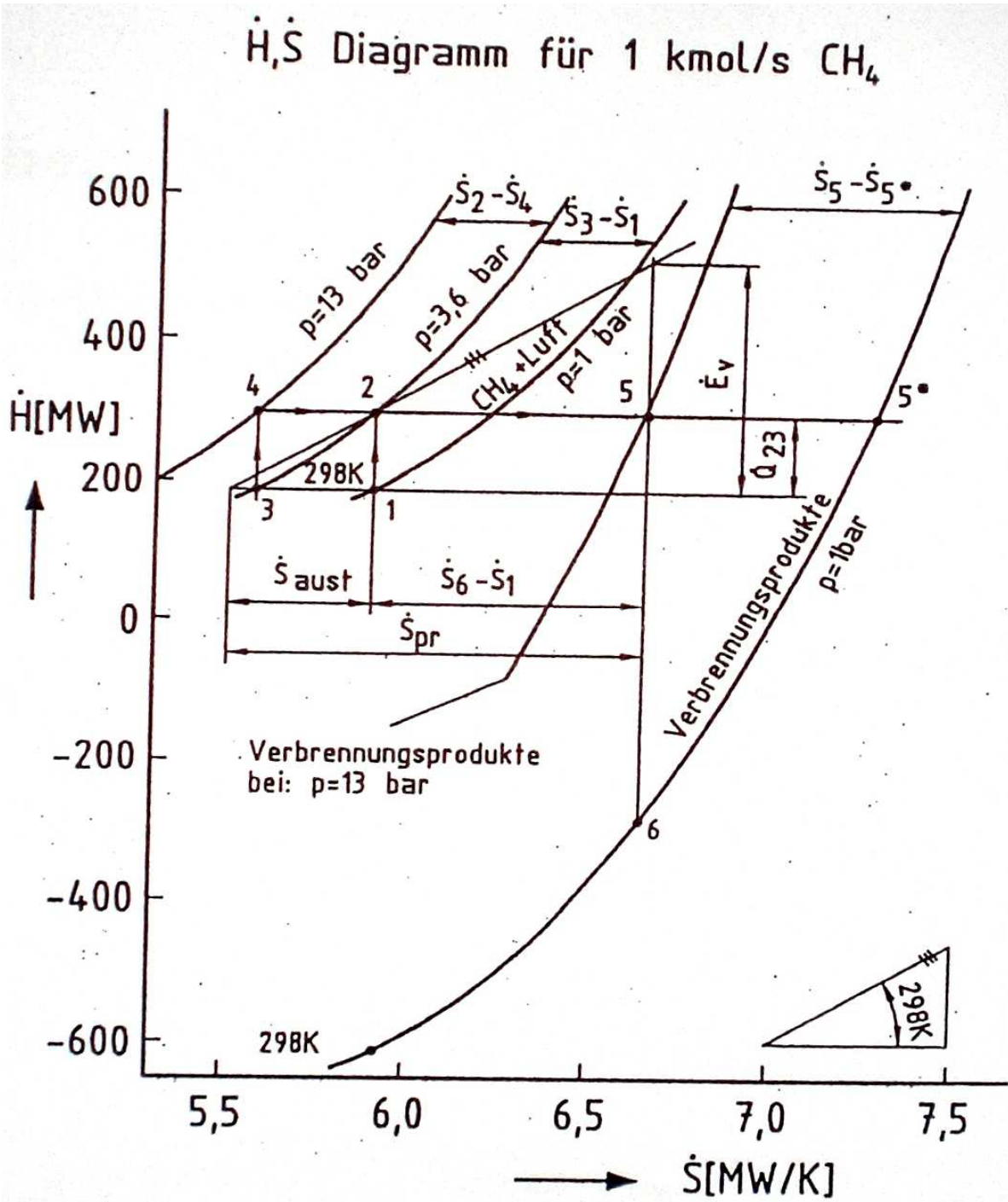
$$\dot{S}_4 - \dot{S}_2 = -\dot{n}_I \cdot R_m \cdot \ln \left( \frac{p_4}{p_2} \right) = -0,316 \frac{\text{MW}}{\text{K}} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

d)  $\dot{E}_V$

$$\dot{E}_V = T_u \cdot \dot{S}_{irr} = T_u \cdot \left( \dot{S}_6 - \dot{S}_1 - \frac{\dot{Q}_{23}}{T_u} \right) = T_u \cdot (\dot{S}_6 - \dot{S}_1) - \dot{Q}_{23} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$\dot{E}_V = 335 \text{ MW} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

c)



b) 0,5 P für 13 bar Isobare  
0,5 P für 3,6 bar Isobare

c) 0,5 P für  $1 \rightarrow 2$   
0,5 P für  $3 \rightarrow 4$   
0,5 P für Isenthalpe  $4 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 5^*$   
1,0 P für 13 bar Isobare der Produkte  
0,5 P für  $5 \rightarrow 6$

#### 4. Aufgabe

a)  $\dot{Q}_{12_B}$

Adiabates Gesamtsystem

$$\dot{Q}_{12_A} + \dot{Q}_{12_B} = 0 \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$\dot{Q}_{12_A} = \dot{m}_A \cdot c_{pA} \cdot (T_{A_2} - T_{A_1}) = -200 \text{ kW} = -\dot{Q}_{12_B} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

b)  $\Delta \dot{E}_{B12,u}$

$$\dot{E}_{B2,u} - \dot{E}_{B1,u} = (\dot{H}_{2,u} - \dot{H}_{1,u})_B - T_u \cdot (\dot{S}_2 - \dot{S}_1)_B = \dot{Q}_{12_B} - \dot{m}_B \cdot T_u \cdot (s_{2_B} - s_{1_B}) \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$\dot{m}_B = \frac{\dot{Q}_{12_B}}{c_B \cdot (T_2 - T_1)_B} = 4,77 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$(s_2 - s_1)_B = c_B \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)_B = 0,1374 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$\rightarrow \dot{E}_{B2,u} - \dot{E}_{B1,u} = \dot{Q}_{12_B} - \dot{m}_{B,u} \cdot T_u \cdot c_B \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)_B = 3,26 \text{ kW} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

c)  $(\dot{E}_{A1,u})_A$

$$\dot{E}_{A1,u} = \dot{H}_{A1} - \dot{H}_{Au} - T_u \cdot (\dot{S}_{A1} - \dot{S}_{Au}) = \dot{m}_A \cdot (c_p \cdot (T_{A1} - T_{Au}) - T_u \cdot (s_{A1} - s_{Au})) \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$s_{A1} - s_{Au} = c_p \cdot \ln\left(\frac{T_{A1}}{T_{Au}}\right) - R \cdot \ln\left(\frac{p_{A1}}{p_{Au}}\right)$$

$$\rightarrow \dot{E}_{A1,u} = 180,7 \text{ kW} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

d)  $(\dot{E}_{2,u} - \dot{E}_{1,u})$

$$\dot{E}_{A2,u} - \dot{E}_{A1,u} = \dot{H}_{A2} - \dot{H}_{A1} - T_u \cdot (\dot{S}_{A2} - \dot{S}_{A1}) \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$= \dot{Q}_{A12} - \dot{m}_A \cdot T_u \cdot (s_{A2} - s_{A1})$$

$$= \dot{Q}_{A12} - \dot{m}_A \cdot T_u \cdot \left( c_p \cdot \ln\left(\frac{T_{A2}}{T_{A1}}\right) - R \cdot \ln\left(\frac{p_{A2}}{p_{A1}}\right) \right) \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$= -134 \text{ kW} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

e)  $\dot{E}_V$

$$\dot{E}_V = \dot{E}_{1,u} - \dot{E}_{2,u} = \dot{E}_{A1,u} + \dot{E}_{B1,u} - \dot{E}_{A2,u} - \dot{E}_{B2,u} = -(\dot{E}_{A2,u} - \dot{E}_{A1,u}) - (\dot{E}_{B2,u} - \dot{E}_{B1,u}) \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$

$$= 130,7 \text{ kW} \quad \boxed{1,0 \text{ P}}$$