

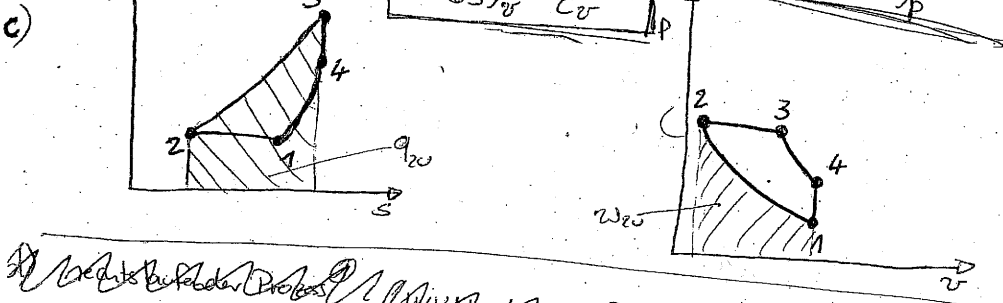
# Wärmekraftmaschine (24P)

# 2. Kl SoSe09

# Theorie (20P)

a) Wärmeabfuhr  $du = \int q + dw = cvdT = 0 \Rightarrow \int q = -dw$

b)  $c_p dT = T ds + v dp \Rightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_p = \frac{T}{c_p}$   
 $c_v dT = T ds - p dv \Rightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_v = \frac{T}{c_v}$   
 $c_p > c_v \Rightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_v > \left(\frac{\partial T}{\partial s}\right)_p$



Wichtigster Bestandteil (Wärmeabfuhr siehe Diagramme)

d) 1)  $T_1 = T_2$   
 $v_1 = v_4$   
 $p_1 = \frac{p}{\rho} \frac{T_1}{v_1} = 287 \frac{J}{kg \cdot K} \frac{400K}{0,5 \frac{m^3}{kg}} = 230,4 \text{ kPa}$   
 $= 2,304 \text{ bar}$

4)  $p_4 = p_3 \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{1,4}$   
 $= 30 \text{ bar} \left(\frac{0,15}{0,5}\right)^{1,4} = 5,56 \text{ bar}$   
 $u = \frac{p}{\rho v} = 1,4$

$T_4 = \frac{p_4 v_4}{R/M} = \frac{5,56 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,5 \frac{m^3}{kg}}{287 \frac{J}{kg \cdot K}} = 965,87 \text{ K}$

e)  $w_{23} = - \int_2^3 p dv = - p_2 (v_3 - v_2) = -30 \cdot 10^5 \text{ Pa} (0,15 - 0,0882) \frac{m^3}{kg} = -335 \frac{kJ}{kg}$

$\frac{du}{dt} = q + w$   
 $du = cvdT$   
 $cv(T_3 - T_2) \rightarrow w_{23} = q_{23} = 770 \frac{J}{kg \cdot K} (1568 - 400) K + 335 \frac{kJ}{kg}$   
 $= 1176,36 \frac{kJ}{kg}$

f)  $\eta = \frac{|w_{net}|}{q_{2v}} = \frac{|w_{12} + w_{23} + w_{34}|}{q_{2v}} = 0,23$

a)  $0 = \frac{Q_1}{T_1} + S_{gen} \Rightarrow S_{gen} = -\frac{Q_1}{T_1} \parallel \dot{E}_D = T_0 S_{gen} = -\frac{T_0}{T_1} Q_1$   
 $\Sigma_0 = 2$

b) I) Annahme: ideales Gas / bei idealen Gasen  
 II) im 2-Phasengebiet, da p und T nicht unabhängig voneinander sind  
 x, oder v, s müssen noch bekannt sein  
 $\Sigma_0 = 4$

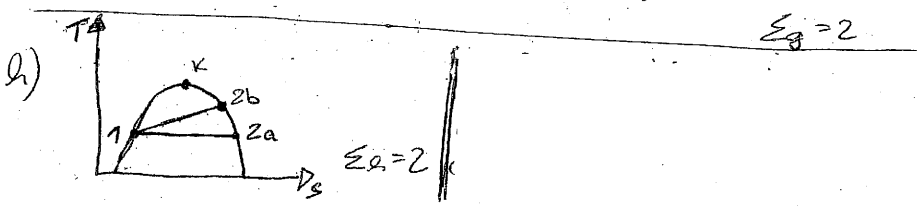
c)  $\eta_{max} = 1 - \frac{T_{kalt}}{T_{warm}} = 1 - \frac{3}{300} = 99\% \parallel E_{max} = 1$   
 $\Sigma_0 = 2$

d) Nein, ein thermisches oder mechanisches Potential zur Umgebung kann zur Erzeugung von Arbeit genutzt werden, damit ist  $e^{PH} > 0$ .  
 $\Sigma_D = 2$

e) Ausgleich eines thermischen (Wärmetransport), mechanischen (Drosselung), oder chemischen (Mischung, Reaktion) Potentials im abgeschlossenen Syst.  
 $\Sigma_0 = 1$

f) Die Differenz zwischen Brenn- und Heizwert ist die Kondensationswärme, die durch die Verbrennung von H<sub>2</sub> entstehenden Wassers im Abgas. Der Brennstoff darf kein H<sub>2</sub> enthalten.  
 $\Sigma_f = 2$

- gleiche Temperatur T
- gleiche Zusammensetzung x



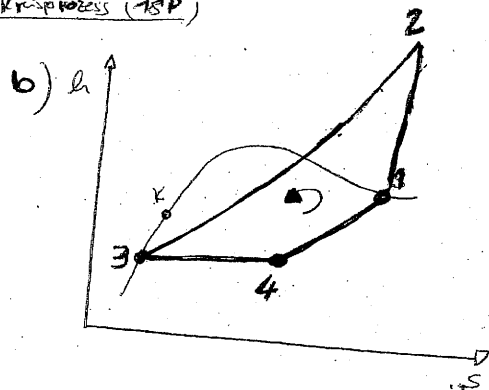
i) Ein spontaner (von selbst) Wärmetransport von "kalt" zu "warm" widerspricht dem 2. H.S. Da bei einem Wärmetransport Arbeit zugeführt wird, ist dieser Wärmetransport möglich.  
 $\Sigma_i = 1$

j) Nein, bei kleinen Drücken, kann es dampfförmig sein.  
 $\Sigma_i = 2$

Linksuferender Kreisprozess (15P)

a)

	T [°C]	h [kJ/kg]	x [-]
1	-10	245	1
2	38	300	-
3	70	170	0
4	-10	170	0,52



$\epsilon_a = 6P$

$\epsilon_b = 3P$

d)  $LZ_{KH} = \frac{q_{41}}{w_{12}} = \frac{75 \frac{kJ}{kg}}{55 \frac{kJ}{kg}} \approx 1,363$

$q_{41} = h_1 - h_4 = 245 \frac{kJ}{kg} - 170 \frac{kJ}{kg} \approx 75 \frac{kJ}{kg}$   
 $w_{12} = h_2 - h_1 = 300 \frac{kJ}{kg} - 245 \frac{kJ}{kg} \approx 55 \frac{kJ}{kg}$

$\epsilon_d = 4P$

e)  $\eta_{S,V} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_{2,r} - h_1}$

$h_{2,s} = 285 \frac{kJ}{kg}$   
 $\Rightarrow \eta_{S,V} = \frac{285 - 245}{300 - 245} \approx 0,73$

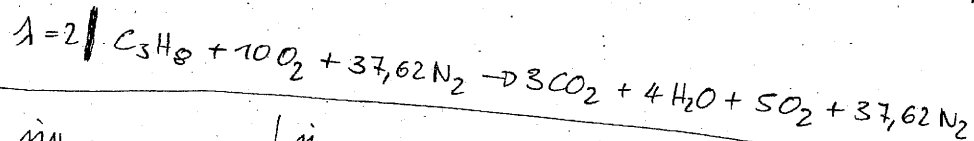
$\epsilon_e = 3P$

e) Ja, damit würde  $q_{20}$  größer oder (und) die gewonnene Arbeit kann die netto zugeführte Arbeit reduzieren.

$\epsilon_c = 2P$

Verbrennung

a)  $\frac{y_{N_2}}{y_{O_2}} = \frac{0,79}{0,21} \approx 3,762 \quad \left| \cdot 1 = 1 \right. \rightarrow C_3H_8 + 5O_2 + 18,81N_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + 18,81N_2$



b)  $\frac{\dot{m}_{Abgas}}{\dot{m}_{C_3H_8}} = 3 + 4 = 7$       $\frac{\frac{\dot{m}_{CO_2}}{\dot{m}_{C_3H_8}}}{\frac{\dot{m}_{Abgas}}{\dot{m}_{C_3H_8}}} = \frac{3}{7}$       $\frac{\frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_{C_3H_8}}}{\frac{\dot{m}_{Abgas}}{\dot{m}_{C_3H_8}}} = \frac{4}{7}$

c)  $P_{H_2O} = y_{H_2O} \cdot P = \frac{4}{7} \cdot 3,5 \text{ bar} = 2 \text{ bar}$

$T_S(P_{H_2O} = 2 \text{ bar}) = 120,23^\circ C \text{ (WDT)}$

d)  $T_S(1=2, \text{Luft}) < T_S(1=1, O_2)$  Bei der Verbrennung mit  $\lambda = 2$  und Luft ist  $y_{H_2O}$  kleiner, da mehr  $O_2$  und  $N_2$  in den Abgasen ist, und damit auch  $P_{H_2O}$  kleiner, und folglich  $T_S$  ebenso.

e)  $\dot{m}_{CO_2} = 3 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$ ;  $\dot{m}_{H_2O} = 4 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$ ;  $y_{CO_2} = 1 - y_{H_2O} = \frac{3}{7}$

$\bar{s}_{CO_2}(T=2000K, P_{ref}) = -87,078 + 51,128 \cdot \ln(2000) + 4,368 \cdot (2) + \frac{1,469}{2} (2)^{-2} = 310,46 \frac{J}{\text{molK}}$

$\bar{s}_{CO_2}(T=2000K, P=P_{CO_2}) = 310,46 \frac{J}{\text{molK}} - 8,314 \frac{J}{\text{molK}} \cdot \ln\left(\frac{\frac{3}{7} \cdot 3,5 \text{ bar}}{1 \text{ bar}}\right) = 307,089 \frac{J}{\text{molK}}$

$\bar{s}_{H_2O}(T=2000K, P_{ref}) = -11,75 + 34,376 \cdot \ln(2000) + 7,841 \cdot (2) + \frac{0,423}{2} (2)^{-2} = 265,2735 \frac{J}{\text{molK}}$

$\bar{s}_{H_2O}(T=2000K, P=P_{H_2O}) = 265,2735 \frac{J}{\text{molK}} - 8,314 \frac{J}{\text{molK}} \cdot \ln\left(\frac{\frac{4}{7} \cdot 3,5 \text{ bar}}{1 \text{ bar}}\right) = 259,51 \frac{J}{\text{molK}}$

$S_{Abgas} = \sum \dot{m}_i \cdot \bar{s}_i(T,P) = 1959,3 \frac{kJ}{K}$