

Aufgabe a)

$$C_{pG} = m_{H2} \cdot \frac{C_{pH2}}{m_G} + m_L \cdot \frac{C_{pL}}{m_G} \quad C_{vG} = m_{H2} \cdot \frac{C_{vH2}}{m_G} + m_L \cdot \frac{C_{vL}}{m_G}$$

$$R_G = C_{pG} - C_{vG}$$

dann haben wir

$$R_G = \frac{m_{H2}}{m_G} \cdot (C_{pH2} - C_{vH2}) + \frac{m_L}{m_G} \cdot (C_{pL} - C_{vL})$$

$$\text{weil} \quad R_{H2} = C_{pH2} - C_{vH2} \quad R_L = C_{pL} - C_{vL}$$

$$\text{dann} \quad R_G = R_{H2} \cdot \frac{m_{H2}}{m_G} + R_L \cdot \frac{m_L}{m_G}$$

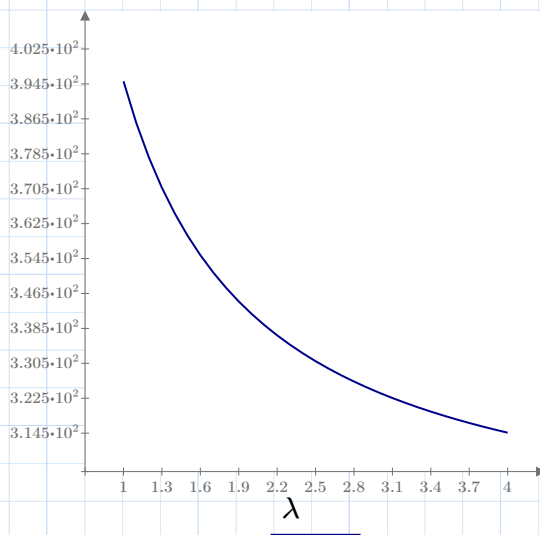
$$\lambda = \frac{m_L}{m_{Lmin} \cdot m_{H2}} \quad \text{transformieren} \quad m_L = \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot m_{H2}$$

$$\text{und} \quad m_G = m_L + m_{H2}$$

$$\text{also} \quad R_G = \frac{R_{H2} + \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot R_L}{1 + \lambda \cdot m_{Lmin}} = \frac{4125 + 9901.5 \lambda}{1 + 34.5 \lambda}$$

$$\lambda := 1, 1.1 \dots 4$$

$$R_G(\lambda) := \frac{4125 + 9901.5 \lambda}{1 + 34.5 \lambda} \quad \frac{\mathbf{J}}{\mathbf{kg \cdot K}}$$



$$R_G(\lambda) \left(\frac{\mathbf{m}^2}{\mathbf{s}^2 \cdot \mathbf{K}} \right)$$

$$\kappa_{H_2} := 1.41 \quad \kappa_L := 1.4 \quad R_L := 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad R_{H_2} := 4125 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m_{Lmin} := 34.5$$

$$C_{vH_2} := \frac{R_{H_2}}{\kappa_{H_2} - 1} = (1.006 \cdot 10^4) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

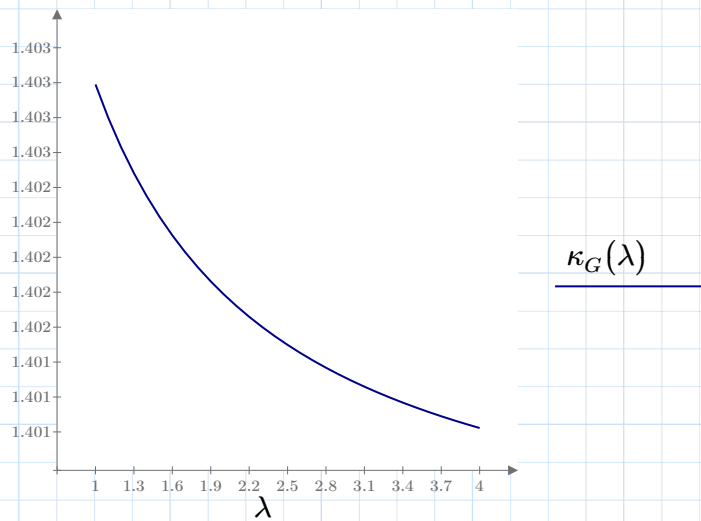
$$C_{pH_2} := C_{vH_2} \cdot \kappa_{H_2} = (1.419 \cdot 10^4) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_{vL} := \frac{R_L}{\kappa_L - 1} = (7.175 \cdot 10^2) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_{pL} := C_{vL} \cdot \kappa_L = (1.005 \cdot 10^3) \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\kappa_G = \frac{C_{pG}}{C_{vG}} = \frac{m_{H_2} \cdot C_{pH_2} + \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot m_{H_2} \cdot C_{pL}}{m_{H_2} \cdot C_{vH_2} + \lambda \cdot m_{H_2} \cdot C_{vL}} = \frac{C_{pH_2} + \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot C_{pL}}{C_{vH_2} + \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot C_{vL}}$$

$$\kappa_G(\lambda) := \frac{C_{pH_2} + \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot C_{pL}}{C_{vH_2} + \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot C_{vL}}$$



Aufgabe b)

$$n_p := 2000 \text{ min}^{-1}$$

$$p_{max} := 240 \text{ bar}$$

$$\varepsilon := 12$$

$$p_u := 1 \text{ bar}$$

$$V_H := 7755 \text{ cm}^3$$

$$\kappa_G(2.1) = 1.402$$

$$\eta_g := 0.8$$

$$\eta_m := 0.815$$

$$\kappa_G := \kappa_G(2.1)$$

$$H_u := (120 \cdot 10^6) \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

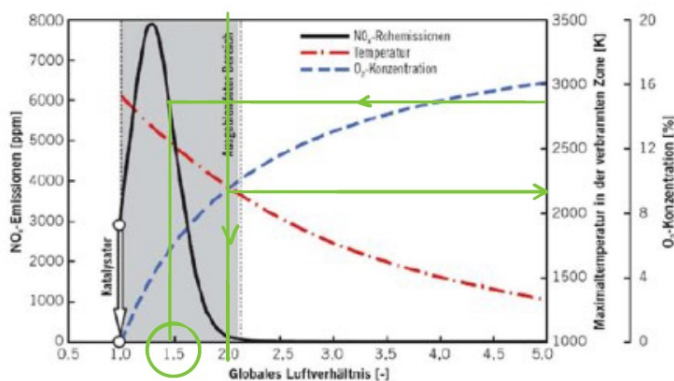


BILD 1 NO_x, O₂-Konzentration und Verbrennungstemperatur im H₂-Betrieb mit äußerer Gemischbildung [4]
© H. Eichlischer et al.)

Da die maximale Verbrennungstemperatur soll unter 2800K sein, anhand dieser Bild können wir wissen, je höher λ ist, desto weniger wird NOx Emissionen entstehen, bei Temperatur 2800K wird $\lambda = 1.5$, aber es entsteht auch NOx.

wenn $\lambda \geq 2$ ist, wird es kleine NOx Emission entsteht, und die Temperatur ist kleiner als ca. 2200K.

und Startpunkt kann von $\lambda = 2$ anfangen.

Durch viele iterative Rechnung, kann ich wissen:

wenn p_1 fest ist, je höher λ ist, wird die Temperatur 4 sinken und die Abtriebsleistung sinken. Also ich wähle $\lambda = 2.1$ aus, da wenn $\lambda = 2.1$ mit verschiedene p_1 ist, kann die Ergebnisse die Forderung nicht erfüllen.

Dann fangt von $\lambda := 2.2$ an.

Mit fest Lamda und zunehmende p_1 wird die Abtriebsleistung steigern, und die Temperatur wird erst steigern und dann sinken.

Mit fest p_1 und zunehmende Lamda werden die Temperatur und die Abtriebsleistung sinken.

Nach vielen Proben wird ich eine optimierte Betriebspunkt gefunden:

$$\lambda := 2.2$$

$$p_1 := 3.1 \text{ bar}$$

um die mechanische Abtriebsleistung zu erreichen

Seiliger-Prozess

Punkt 1 Einlassschluss:

$$V_h := \frac{7755 \text{ cm}^3}{6} = 1292.5 \text{ cm}^3$$

$$V_1 := \frac{\varepsilon \cdot V_h}{\varepsilon - 1} = 1410 \text{ cm}^3$$

$$p_1 = 310000 \text{ Pa}$$

$$T_1 := 300 \text{ K} \left(\frac{p_1}{p_u} \right)^{0.2} = 376.178 \text{ K}$$

$$S_1 := 1 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Punkt 2 Wasserstoffzufuhr Saugmotor: Gasgemisch (Luft + Wasserstoff)

$$\kappa_G(\lambda) := \frac{C_{pH_2} + \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot C_{pL}}{C_{vH_2} + \lambda \cdot m_{Lmin} \cdot C_{vL}}$$

$$\kappa_G(\lambda) = 1.402 \quad \kappa_G := \kappa_G(\lambda)$$

$$R_G(\lambda) = 336.909 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$R_G := R_G(\lambda) = 336.909 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$m_G := \frac{p_1 \cdot V_1}{R_G \cdot T_1} = 3448.853 \text{ mg}$$

$$m_{H_2} := \frac{m_G}{1 + m_{Lmin} \cdot \lambda} = 44.849 \text{ mg} \quad m_L := \lambda \cdot m_{H_2} \cdot m_{Lmin} = 3404.004 \text{ mg}$$

$$Q_{zu} := m_{H_2} \cdot H_u = 5381.825 \text{ J}$$

$$C_{vG} := \frac{R_G}{\kappa_G - 1} = 839.002 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_{vL} := \frac{R_L}{\kappa_L - 1} = 717.5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_{pG} := C_{vG} \cdot \kappa_G = 1175.911 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_{pL} := C_{vL} \cdot \kappa_L = 1004.5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

3-4 isobare Wärmezufuhr:

$$Q_{34} := Q_{zu} - Q_{23} = 1311.678 \text{ J}$$

$$T_4 := T_3 + \frac{Q_{34}}{m_G \cdot C_{pG}} = 2750.384 \text{ K}$$

$$p_4 := p_3$$

$$V_4 := \frac{m_G \cdot R_G \cdot T_4}{p_4} = 133.159 \text{ cm}^3$$

$$dS_{34} := \left(C_{vG} \cdot \ln \left(\frac{T_4}{T_3} \right) + R_G \cdot \ln \left(\frac{V_4}{V_3} \right) \right) \cdot m_G = (5.074 \cdot 10^{-1}) \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$S_4 := S_3 + dS_{34} = 4.015 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

4-5 isentrope Expansion:

$$V_5 := V_1 = (1.41 \cdot 10^3) \text{ cm}^3$$

$$p_5 := p_4 \cdot \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{\kappa_G} = (8.787 \cdot 10^5) \text{ Pa}$$

$$T_5 := \frac{p_5 \cdot V_5}{m_G \cdot R_G} = 1066.241 \text{ K}$$

$$S_5 := S_4 = 4.015 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$Q_{ab} := m_G \cdot C_{vG} \cdot (T_5 - T_1) = 1996.761 \text{ J}$$

$$\lambda = 2.2 \quad p_1 = 3.1 \text{ bar}$$

Wirkungsgrad:

$$\eta_{th} := \frac{Q_{zu} - Q_{ab}}{Q_{zu}} = 62.898\%$$

effektiver Wirkungsgrad:

$$\eta_e := \eta_g \cdot \eta_m \cdot \eta_{th} = 41.01\%$$

Verbrennungstemperatur:

$$T_4 = 2750.384 \text{ K}$$

Anforderung:

$$T_4 \leq 2800 \text{ K}$$

thermodynamische Leistung:

$$P_{th} := (Q_{zu} - Q_{ab}) \cdot \frac{4}{2} \cdot n_P = 225.671 \text{ kW}$$

mechanische Abtriebsleistung:

$$P_{ab} := P_{th} \cdot \eta_g \cdot \eta_m = 147.137 \text{ kW}$$

Das ist die maximale mechanische Abtriebsleistung

Abtriebsleistung Pab kW	p1			
λ	1	2	3	4
$\lambda=2$	64.694	112.639	155.07	191.403
$\lambda=2.5$	53.581	93.289	128.942	160.154
$\lambda=3$	45.726	79.613	110.118	137.553
$\lambda=4$	35.359	61.563	85.152	107.036

eff.Wirkungsgrad	p1			
λ	1	2	3	4
$\lambda=2$	41.170%	41.170%	40.978%	40.181%
$\lambda=2.5$	41.153%	41.153%	41.123%	40.577%
$\lambda=3$	41.141%	41.141%	41.141%	40.825%
$\lambda=4$	41.124%	41.124%	41.124%	41.066%

Temperatur K	p1			
λ	1	2	3	4
$\lambda=2$	2828.473	2949.512	2874.595	2770.654
$\lambda=2.5$	2481.330	2602.281	2626.859	2522.973
$\lambda=3$	2236.095	2356.984	2435.87	2347.939
$\lambda=4$	1912.587	2033.395	2112.227	2116.96

Aufgabe c)

$$\lambda := 2.1 \quad p_1 := 1 \text{ bar}$$

$$\eta_e := \eta_g \cdot \eta_m \cdot \eta_{th} = 41.1661\%$$

$$T_4 = 2747.965 \text{ K}$$

$$\eta_{th} := \frac{Q_{zu} - Q_{ab}}{Q_{zu}} = 63.13812\%$$

$$P_{ab} := P_{th} \cdot \eta_g \cdot \eta_m = 62.117 \text{ kW}$$

therm. dyn. Wirkungsgrad	p1			
	1	2	3	4
λ				
$\lambda=2$	63.144%	63.144%	62.850%	61.627%
$\lambda=2.5$	63.118%	63.118%	63.072%	62.235%
$\lambda=3$	63.099%	63.099%	63.099%	62.616%
$\lambda=4$	63.074%	63.074%	63.074%	62.985%

wir können finden, wenn p_1 gleich 1 ist, wird die Wirkungsgrad relative größer ist.

und wenn λ gleich 1 ist, wird die Wirkungsgrad relative größer ist.

Anforderung: Temperatur unter 2800K und Wirkungsgrad ober 41%

Probieren:

$$\lambda := 2 \quad p_1 := 1 \text{ bar}$$

$$\eta_e := \eta_g \cdot \eta_m \cdot \eta_{th} = 41.1701\%$$

$$T_4 = 2828.473 \text{ K}$$

$$\eta_{th} := \frac{Q_{zu} - Q_{ab}}{Q_{zu}} = 63.14429\%$$

$$P_{ab} := P_{th} \cdot \eta_g \cdot \eta_m = 64.694 \text{ kW}$$

Deswegen ist die höchste Betriebspunkt $\lambda = 2.1$ und $p_1 = 1$.