

Hydraulikpumpen und -motoren

	Pumpe	Motor
Volumenstrom	$Q = \eta_v \cdot n \cdot V$	$Q = \frac{1}{\eta_v} \cdot n \cdot V$
Moment	$M = \frac{1}{\eta_{hm}} \cdot \frac{V \cdot \Delta p}{2\pi}$	$M = \eta_{hm} \cdot \frac{V \cdot \Delta p}{2\pi}$

Gilt nur für inkompressible Fluide!

- η_v = volumetrischer Wirkungsgrad
 n = Drehzahl
 V = Schluckvolumen
 η_{hm} = hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad
 Δp = Druckdifferenz an der Verdrängermaschine

Thermische Zustandsgleichung idealer Gase:

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

- p = Druck
 V = Volumen
 m = Masse
 R = Gaskonstante
 T = Temperatur

spezifisches Volumen:

$$v = V / m$$

isentropie Zustandsänderung:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^\kappa$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

- spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen
 spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
 Isentropenexponent
 Gaskonstante

c_v
 c_p
 $\kappa = c_p / c_v$
 $R = c_p - c_v$

Wirkungsgrade von Kreisprozessen

Carnot-Wirkungsgrad:

$$\eta_{th,C} = \frac{T_3 - T_1}{T_3}$$

Wirkungsgrad des Gleichraumprozesses:

$$\eta_{th,v} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

Verdichtungsverhältnis:

$$\varepsilon = v_1/v_2$$

Wirkungsgrad des Gleichdruckprozesses:

$$\eta_{th,p} = 1 - \frac{1}{\kappa \cdot q^*} \cdot \left[\left(\frac{q^*}{\varepsilon^{\kappa-1}} + 1 \right)^\kappa - 1 \right]$$

mit der dimensionslosen Größe q^* als Maß für die Wärmezufuhr $q^* = \frac{q_{zu}}{c_p \cdot T_1}$

$$\eta_{th,vp} = 1 - \frac{\left[q^* - \frac{1}{\kappa \cdot \varepsilon} \left(\frac{p_3}{p_1} - \varepsilon^\kappa \right) + \frac{p_3}{p_1 \cdot \varepsilon} \right]^\kappa \cdot \left(\frac{p_1}{p_3} \right)^{\kappa-1} - 1}{\kappa \cdot q^*}$$

Kenngrößen

Kolbenarbeit pro Arbeitsspiel:

$$W_{KA} = \oint p \, dV = p_{mi} \cdot V_h$$

p_{mi} = indizierte Mitteldruck

indizierte Leistung:

$$P_i = i \cdot n \cdot p_{mi} \cdot V_h$$

i = 0,5 für 4-Takt-Motor, 1 für Zweitaktmotor

n = Drehzahl

effektive Leistung:

$$P_e = i \cdot n \cdot p_{me} \cdot V_h$$

effektiver Mitteldruck:

$$p_{me} = p_{mi} - p_{mr}$$

p_{mr} = Reibmitteldruck

indizierter Wirkungsgrad

$$\eta_i = \frac{P_i}{\dot{m}_B \cdot H_u}$$

effektiver Wirkungsgrad

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_B \cdot H_u}$$

\dot{m}_B = Massenstrom des Brennstoffs

H_u = Heizwert des Brennstoffs

Mechanischer Wirkungsgrad:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{p_{me}}{p_{mi}} = \frac{\eta_e}{\eta_i}$$

Gütegrad:

$$\eta_g = \frac{\eta_i}{\eta_v} \quad \text{bzw.} \quad \eta_g = \frac{\eta_i}{\eta_{vp}}$$

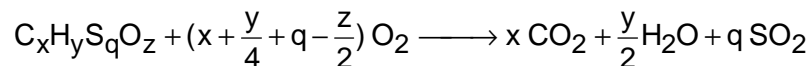
spezifischer Verbrauch

$$b_e = \frac{\dot{m}_B}{P_e} = \frac{1}{\eta_e \cdot H_u}$$

mittlere Kolbengeschwindigkeit:

$$c_m = 2 \cdot s \cdot n$$

s = Kolbenhub

Verbrennung eines Kraftstoffes:

mit den stöchiometrischen Koeffizienten

$$x = \frac{M_B}{M_C} c, \quad y = \frac{M_B}{M_H} h, \quad q = \frac{M_B}{M_S} s, \quad z = \frac{M_B}{M_O} o$$

M_B, M_C, M_H, M_S, M_O Molmassen von Brennstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel, Sauerstoff
 c, h, s, o Massenanteile von Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel und Sauerstoff

stöchiometrischer Luftbedarf

Massenanteil Sauerstoff in Luft

$$\xi_{L,O_2} = \frac{m_{O_2}}{m_L} = 0,232$$

stöchiometrischer Luftbedarf:

$$L_{st} = \frac{1}{\xi_{L,O_2}} \cdot \frac{m_{O_2,st}}{m_B} = \frac{1}{\xi_{L,O_2}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_B} \cdot \frac{n_{O_2,st}}{n_B}$$

M_{O_2}, M_B Molmassen von O_2 bzw. vom Brennstoff

$n_{O_2,st}, n_B$ Anzahl der einzelnen Atome (Stoffmengen)

mit $n_{O_2,st} = x + \frac{y}{4} + q - \frac{z}{2}$ und $n_B = 1$ ergibt sich:

$$L_{st} = \frac{1}{\xi_{L,O_2}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_B} \cdot \left(x + \frac{y}{4} + q - \frac{z}{2}\right)$$

$$L_{st} = \frac{1}{\xi_{L,O_2}} \cdot \left(\frac{M_{O_2}}{M_C} c + \frac{1}{4} \frac{M_{O_2}}{M_H} h + \frac{M_{O_2}}{M_S} s - o\right)$$

oder als Zahlenwertgleichung

$$L_{st} = \frac{1}{0,232} \cdot (2,664 c + 7,937 h + 0,998 s - o)$$

$$\text{Luftverhältnis: } \lambda = \frac{m_L}{m_{L,st}} = \frac{m_L}{m_B \cdot L_{st}}$$

Gemischheizwert:

Ottomotor mit Saugrohreinspritzung oder Vergaser:

$$H_G = \frac{H_u \cdot \rho_G}{\lambda \cdot L_{st} + 1}$$

Diesel- oder Ottomotor mit Direkteinspritzung:

$$\bar{H}_G = \frac{H_u \cdot \rho_L}{\lambda \cdot L_{st}}$$

 ρ_G = Dichte des Kraftstoff-Luftgemisches ρ_L = Dichte der Luft**Liefergrad:**

$$\lambda_1 = \frac{m_Z}{m_{th}} = \frac{m_Z}{V_h \cdot \rho_{th}}$$

 m_Z = Zylinderfrischladung m_{th} = theoretische Ladung je Arbeitsspiel V_h = Hubvolumen ρ_{th} = theoretische Ladungsdichte**Kolbenweg einer Kolbenmaschine mit Kurbeltrieb:**

$$s_\alpha(\alpha) = r \cdot \left[(1 - \cos(\alpha)) + \frac{1}{\lambda_S} \left(1 - \sqrt{1 - \lambda_S^2 \cdot \sin^2(\alpha)} \right) \right]$$

 α = Kurbelwinkel r = Kurbelradius λ_S = r / l (Schubstangenverhältnis, l = Pleuellänge)**Massenkräfte einer Einzylindermaschine:**

$$F_M = m_h \cdot \ddot{s}_\alpha \approx m_h \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha) + \lambda_S \cdot m_h \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(2\alpha)$$

 m_h = oszillierender Massenanteil

Massenkraft 1. Ordnung:

$$F_1 = m_h \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha) = F_{01} \cdot \cos(\alpha)$$

Massenkraft 2. Ordnung:

$$F_2 = \lambda_S \cdot m_h \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos(2\alpha) = F_{02} \cdot \cos(2\alpha)$$