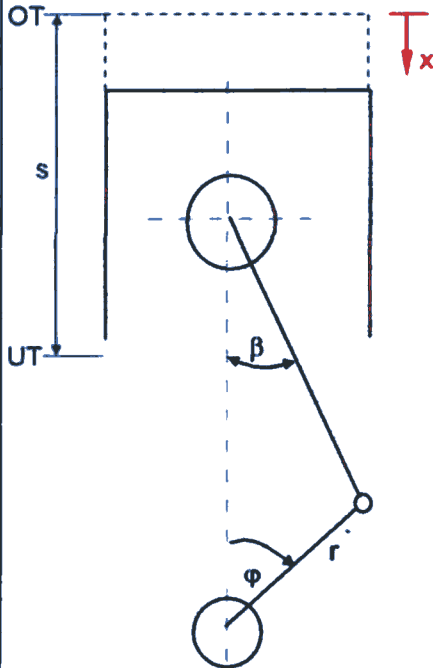


Kinematik und Kinetik des Kurbeltriebs:

Kinematik des Kurbeltriebs:

Kolbenweg x:



- x = Kolbenweg (bezogen auf OT)
- φ = Kurbelwinkel
- β = Pleuelstangenwinkel
- $\lambda = \frac{r}{l} = \text{Pleuels tan genverhältnis}$
- r = Kurbelradius
- s = 2 · r = Kolbenhub
- l = Pleuellänge

$$x = r \cdot (1 - \cos \varphi) + l \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}\right)$$

$$x = r \cdot (1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}\right)$$

Näherungsformel:

$$x = r \cdot \left[1 - \cos \varphi + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos 2\varphi)\right]$$

Bezogener Kolbenweg:

$$\frac{x}{r} = 1 - \cos \varphi + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos 2\varphi)$$

Kolbengeschwindigkeit:

$$\dot{x}(\varphi) = r \cdot \omega \cdot \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin 2\varphi\right)$$

max. Kolbengeschwindigkeit bei φ_{max}:

$$\varphi_{\max} = \arccos \left[-\frac{1}{4 \cdot \lambda} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{4 \cdot \lambda}\right)^2 + \frac{1}{2}} \right]$$

Kolbenbeschleunigung:

$$\ddot{x}(\varphi) = r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi)$$

Beschleunigung im OT (ẍ_{max}):

$$\varphi = 0^\circ$$

$$\ddot{x}_{OT} = r \cdot \omega^2 \cdot (1 + \lambda)$$

Beschleunigung im UT:

$$\varphi = 180^\circ$$

$$\ddot{x}_{UT} = r \cdot \omega^2 \cdot (\lambda - 1)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$\ddot{x} = r \cdot \omega^2$$

$$T = \frac{1}{n}$$

$$t = \frac{\Delta \varphi}{360^\circ} \cdot T$$

Beschleunigung 1. Ordnung:

$$\ddot{x}(\varphi)_1 = r \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi$$

Amplitude: r · ω²
Drehzahl: n

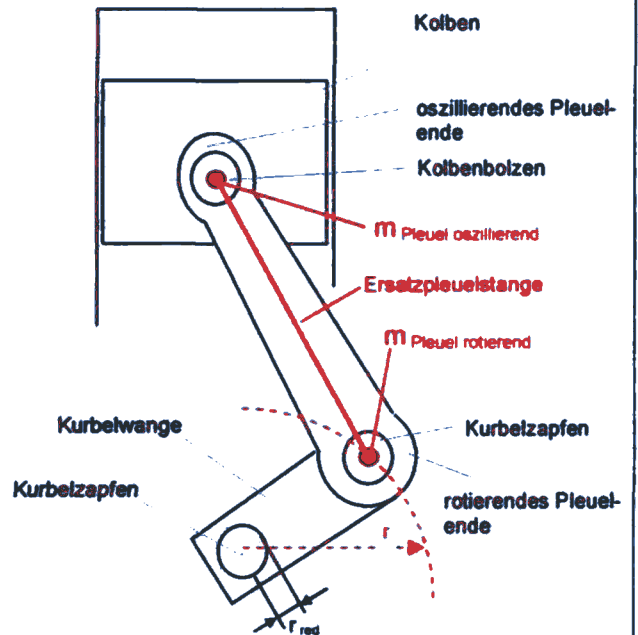
Beschleunigung 2. Ordnung:

$$\ddot{x}(\varphi)_2 = r \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot \cos(2\varphi)$$

Amplitude: r · ω² · λ · cos 2φ
Drehzahl: 2n

Kräfte am Kurbeltrieb:

- **oszillierende Kräfte:** Kolben, obere Pleuelstange
- **rotierende Kräfte:** untere Pleuelstange, Kurbelwelle (Kurbelzapfen, Kurbelwange)



Gaskräfte:

$$F_G = A \cdot (p - p_0)$$

Massenkkräfte:

$$F_m = -m \cdot \ddot{x}$$

Rotierende Massenkkräfte:

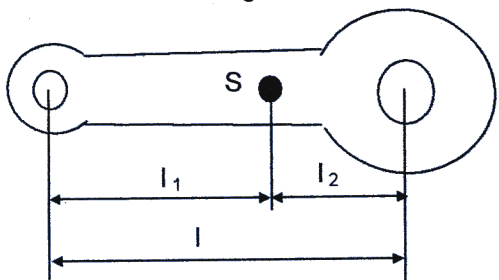
1. Kurbelzapfen: m_z

2. Kurbelwange: m_w muss auf r reduziert werden

$$m_{wred} = m_w \cdot \frac{r_{red}}{r}$$

r_{red} : Abstand der wirklichen Masse vom Drehpunkt
 r : Abstand der Ersatzmasse vom Drehpunkt

3. Untere Pleuelstange:



$$m_{PI} = m_{PIosz} + m_{PIrot}$$

$$m_{PIosz} = m_{PI} \cdot \frac{l_2}{l}$$

$$m_{PIrot} = m_{PI} \cdot \frac{l_1}{l}$$

Erfahrungswerte:

$$l_1 \approx \frac{2}{3} \cdot l$$

$$l_2 \approx \frac{1}{3} \cdot l$$

$$F_{Mrot} = -m_{rot} \cdot \ddot{x}_{rot} = -m_{rot} \cdot r \cdot \omega^2$$

$$F_{Mrot} = -4 \cdot m_{rot} \cdot r \cdot \pi^2 \cdot n^2$$

$$m_{rot} = m_z + m_w \cdot \frac{r_{red}}{r} + \frac{2}{3} m_{pl}$$

Oszillierende Beschleunigung:

$$\ddot{x}_{osz} = r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi)$$

Oszillierende Massen:

$$m_{osz} = m_K + m_{PIosz}$$

$$m_{PIosz} = m_{PI} \cdot \frac{l_2}{l}$$

Oszillierende Massenkkräfte (durch ungleichförmige Kolbenbewegung):

$$F_{Mosz} = -m_{osz} \cdot r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi)$$

oszillierende Massenkkräfte 1. Ordnung:

$$F_{Mosz1} = -m_{osz} \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi$$

oszillierende Massenkkräfte 2. Ordnung:

$$F_{Mosz2} = -m_{osz} \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\varphi$$

Kräfte auf den Kolben:

$$F_K = F_G + F_{Mosz}$$

$$F_{Stange} = F_K + F_N$$

$$F_{Stange} = F_{rad} + F_{tang}$$

$$M = F_{tang} \cdot r$$

Kräfte am Kurbeltrieb:

Stangenkraft:

$$F_{St} = \frac{F_K}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}}$$

Normalkraft:

$$F_N = \frac{F_K \cdot \lambda \cdot \sin \varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}}$$

Tangentialkraft am Kurbelzapfen:

$$F_t = F_K \cdot \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\sin 2\varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \right)$$

Radialkraft am Kurbelzapfen:

$$F_R = F_K \cdot \left(\cos \varphi - \frac{\lambda \cdot \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \right)$$

Massenausgleich:

$$F_{Grot} = F_{rrot}$$

$$m_{Grot} \cdot r_G \cdot \omega^2 = m_{rrot} \cdot r \cdot \omega^2$$

$$m_{Grot} = m_{rrot} \cdot \frac{r}{r_G}$$

Mehrzylinder:

Zündabstand:

$$ZA = \frac{720^\circ}{z} \Rightarrow 4\text{-Takter}$$

$$ZA = \frac{360^\circ}{z} \Rightarrow 2\text{-Takter}$$

Kräfte:

$$\sum F_{rot} = 0$$

Momente:

$$\sum M_{rot} = 0$$