2.1 Der Kurbeltrieb

Der Kurbeltrieb (Bild 2.1) hat zwei wichtige Aufgaben:

- die oszillierende Bewegung des Kolbens in eine möglichst gleichmäßige (ω = Konst.) Drehbewegung der Kurbelwelle umzuwandeln
- die Umsetzung des thermodynamischen Kreisprozesses zu ermöglichen (das Arbeitsmittel a.: Ansaugen, b.: Verdichten, c.: Expandieren, d.: Ausschieben)

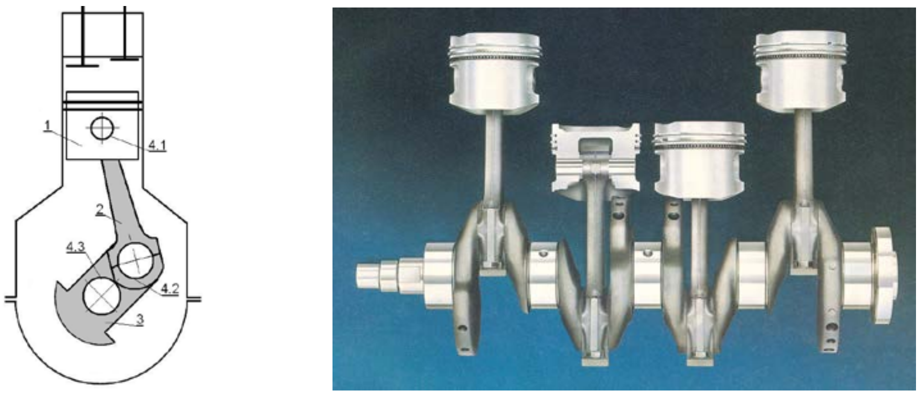


Bild 2.1 Der Kurbeltrieb

Der Kurbeltrieb besteht aus folgenden Bauteilen:

1. Kolben (mit Kolbenringen, Kolbenbolzen)
2. Pleuelstange
3. Kurbelwelle (mit Gegengewichten
4. Lagern (Pleuelbuchse, Pleuellager, Kurbelwellenlager)

Die Kinematik des Kurbeltriebs

Die einzelnen Teile des Kurbeltriebs führen im Motorenbetrieb unterschiedliche Bewegungen aus:

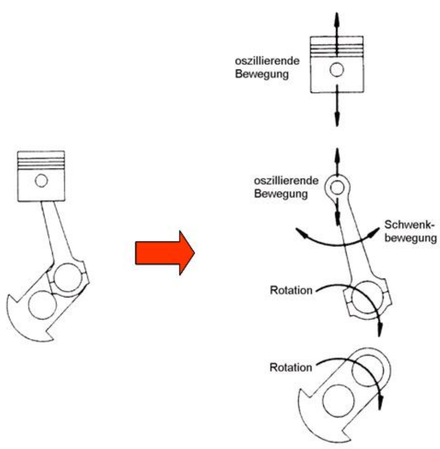


Bild 2.2 Bewegungsformen der Triebwerksteile

- Der Kolben bewegt sich im Zylinder oszillierend (hin- und her)
- Das Pleuel
  - mit dem kleinen Pleuelauge am Kolbenbolzen angelenkt bewegt sich zusammen mit dem Kolben oszillierend
  - das große Pleuelauge am Kurbelwellenhubzapfen angelenkt führt eine Drehbewegung aus
  - der Pleuelschaft schwingt in der Kurbelkreisebene
- Die Kurbelwelle rotiert.

Zerlegung der Pleuelstange in ein Zweimassen-Ersatzsystem
Das Ziel dieser Zerlegung ist, die Gesamtmasse des Pleuels in zwei Teilmassen zu verteilen: in eine oszillierende Teilmasse, die bei der Berechnung der Massenkräfte zur Kolbenmasse dazugezählt wird ($m_{Pl\ osz}$), und in eine rotierende Masse ($m_{Pl\ rot}$), die mit dem rotierenden Kurbelwellen-Zapfen gekoppelt ist.
Die Zerlegung muss so erfolgen, dass das Ersatzsystem die gleichen Wirkungen bei der Bewegung hervorruft wie die wirkliche Pleuelstange. Dafür sind zwei Forderungen zu erfüllen:

- Die Summe der Ersatzmassen muss genauso groß sein wie die Pleuelstangengesamtmasse
- Die Schwerpunktabstände müssen identisch sein

Dafür gilt:

$$m_{Pl\,osz} = \frac{m_{Pl} \cdot a}{l} \qquad (2.1)$$

$$m_{Pl\,rot} = \frac{m_{Pl} \cdot b}{l} \qquad (2.2)$$

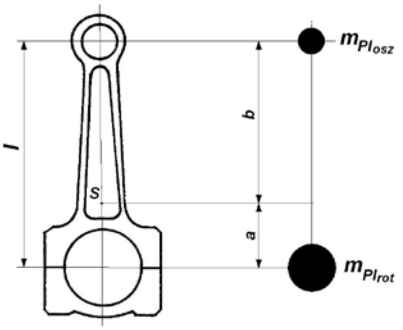


Bild 2.3 Ersatzmassensystem einer Pleuelstange

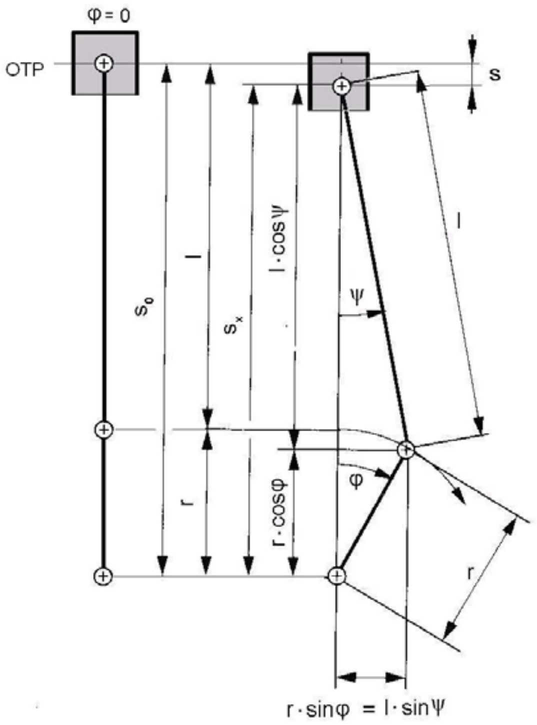
Die Lage des Schwerpunktes kann durch Auspendeln, durch Auswägen oder durch Berechnung (CAD) ermittelt werden.

Bewegungsgleichungen für die Kolbenbewegung

Während einer Kurbelwellenumdrehung bewegt sich der Kolben vom oberen Totpunkt zum unteren- und kehrt wieder vom unteren zum oberen Tutpunkt zurück. Dabei legt er den Hub zweimal zurück. Bei dieser Bewegung wird er beschleunigt und verzögert.
Die kinematischen Parameter des Kurbeltriebs (der Kolbenweg, die Kolbengeschwindigkeit und die Kolbenbeschleunigung) werden üblicherweise als Funktion de des Kurbelwinkels φ angegeben.

Die Kinematik des Kolbens kann durch 3 Bewegungsgleichungen angegeben werden:

$s = f(\varphi)$ - der Kolbenweg als Funktion des Kurbelwinkels φ
$v = f(\varphi)$ - die Kolbengeschwindigkeit als Funktion des Kurbelwinkels φ
$a = f(\varphi)$ - die Kolbenbeschleunigung als Funktion des Kurbelwinkels φ



r = Kurbelradius

l = Pleuellänge

λ = Pleuelstangenverhältnis $\lambda = \frac{r}{l}$

$$s_0 = l + r$$
$$s_x = r \cdot \cos\varphi + l \cdot \cos\psi$$
$$s = s_0 - s_X$$
$$s = l + r - (r \cdot \cos\varphi + l \cdot \cos\psi) \tag{2.3}$$

mit:

$$r \cdot \sin\varphi = l \cdot \sin\psi \quad \Rightarrow \quad \sin\psi = \lambda \cdot \sin\varphi$$

und:

$$\cos\psi = \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2\varphi} \tag{2.4}$$

Bild 2.4 Geometrische Verhältnisse Am Kurbeltrieb

$$s = r \cdot \left[1 - \cos\varphi + \frac{1}{\lambda} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2\varphi}\right)\right] \tag{2.5}$$

Der Wurzelausdruck kann in eine Potenzreihe entwickelt werden:

$$\sqrt{1-y} = 1 - \frac{1}{2} \cdot y - \frac{1}{8} \cdot y^2 - \frac{1}{16} \cdot y^3 \ldots\ldots\ldots$$

Mit ….. $y = \lambda^2 \cdot \sin^2\varphi$ wird

$$\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2\varphi} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \lambda^2 \cdot \sin^2\varphi - \frac{1}{8} \cdot \lambda^4 \cdot \sin^4\varphi - \frac{1}{16} \cdot \lambda^6 \cdot \sin^6\varphi \ldots\ldots\ldots$$

Berechnet man die vor den Winkelfunktionen stehenden Koeffizienten, so erkennt man, dass diese sehr schnell verschwindend klein werden. Für λ= ¼ ergibt sich zum Beispiel:

$$\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2\varphi} = 1 - \frac{1}{32} \cdot \sin^2\varphi - \frac{1}{2048} \cdot \sin^4\varphi - \ldots\ldots\ldots \tag{2.6}$$

Die Potenzreihe kann für die näherungsweise Behandlung der Gleichung (3) nach der zweiten Potenz abgebrochen werden.

Durch Einsetzen in Gleichung (2.5) ergibt sich:

$$s = (1-\cos\varphi) + l \cdot \left[1-\left(1-\left(1-\frac{1}{2}\cdot\lambda^2\cdot\sin^2\varphi\right)\right)\right]$$

$$s = r\cdot(1-\cos\varphi) + \frac{r}{2}\cdot\lambda\cdot\sin^2\varphi$$

Mit der trigonometrischen Funktion

$$\sin^2\varphi = \frac{1}{2}(1-\cos 2\varphi)$$

ergibt sich die in der Regel verwendete Näherungsgleichung für den Kolbenweg ***s*** in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel ***φ***.

$$s = r\left[(1-\cos\varphi) + \frac{\lambda}{4}(1-\cos 2\varphi)\right] \tag{2.7}$$

Bei Gleichung (7) beschreibt der erste Term den durch die Drehung des Kurbel und der zweite Ausdruck näherungsweise den durch die Auslenkung des Pleuels verursachten Anteil des Kolbenwegs.

Durch Differentiation der Gleichung (7) nach der Zeit erhält man die Kolbengeschwindigkeit:

$$\dot{s} = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} = \frac{ds}{d\varphi}\cdot\dot{\varphi} \qquad \text{bei konstanter Drehzahl gilt} \qquad \dot{\varphi} = \omega = 2\cdot\pi\cdot n = konst$$

$$v = \frac{ds}{d\varphi}\cdot\omega \quad = r\cdot\omega\left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2}\cdot\sin 2\varphi\right) \tag{2.8}$$

Durch Differentiation der Gleichung (6) nach der Zeit erhält man die Kolbenbeschleunigung:

$$a = \frac{dv}{d\varphi}\cdot\omega \quad = r\cdot\omega^2\left(\cos\varphi + \lambda\cdot\cos 2\varphi\right) \tag{2.9}$$

Der Kolbenweg, -Geschwindigkeit und –Beschleunigung werden durch das Pleuelverhältnis beeinflusst. Je größer das Pleuelverhältnis λ, desto größer die Abweichung von der harmonischen Bewegung. Große λ-Werte, d.h. relativ zum Hub kurze Pleuelstangen verringern zwar die Motorhöhe, haben aber wegen der stärkeren Schrägstellung der Pleuelstangen auch größere Reibungskräfte zwischen Kolben und Zylinderwand zur Folge.

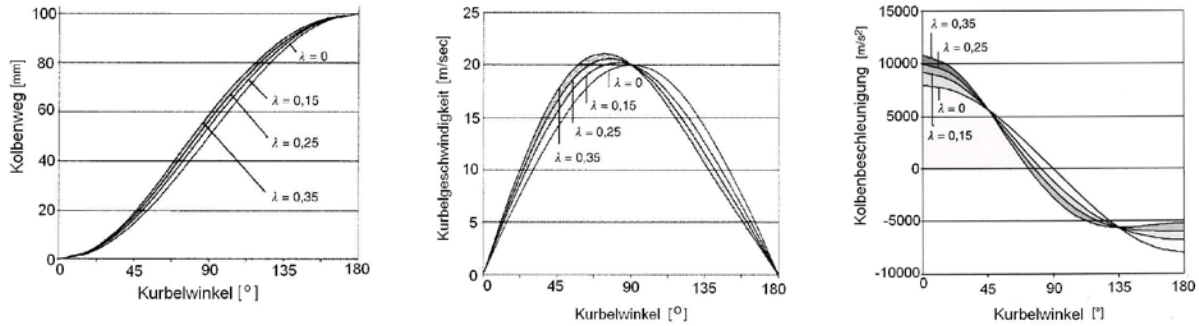


Bild 2.5 Kolbenweg, Kolbengeschwindigkeit und Kolbenbeschleunigung

Aufgrund der *Kolbenweg*-Werte können die konstruktiven Parameter des Ventiltriebs und des Kolbenbodens aufeinander abgestimmt werden, damit im oberen Totpunktbereich ein Aufschlagen der Ventile auf den Kolbenboden vermieden werden kann.
Für die Auslegung der Steuerung des Ladungswechsels bei Zweitaktmotoren (Schlitzsteuerung durch den Kolben) präzise Werte über Kolbenpositionen über den Kurbelwinkel ebenfalls sehr wichtig.

Durch die *Geschwindigkeitswerte* werden die Bedingungen der Schmierfilmausbildung zwischen Kolbenring und Zylinderwand beeinflusst

Die *Beschleunigungswerte* bestimmen in Verbindung mit den bewegten Massen die oszillierenden Massenkräfte.