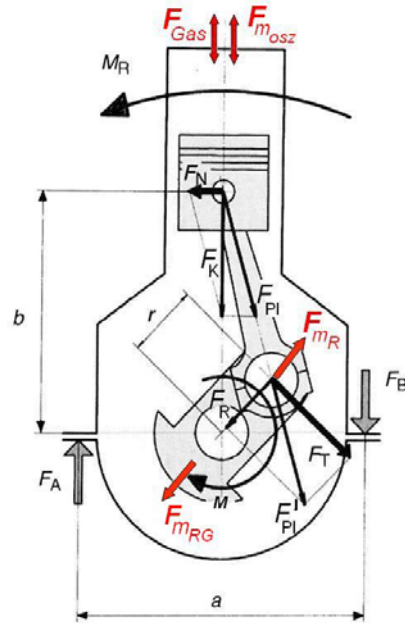


## Kräfte im Kurbeltrieb

Die im Motorbetrieb im Kurbeltrieb eines Verbrennungsmotors aktiv wirkenden Kräfte rühren vom Gasdruck im Brennraum und von den Massenkräften her. Das Bild 2.6 zeigt die im Motorbetrieb auftretenden Kräfte und Momente.

$F_{Gas}$	- Gaskraft
$F_{m\ osz}$	- Oszillierende Massenkraft
$F_{m\ R}$	- Rotierende Massenkraft
$F_{m\ RG}$	- Massenkraft d. rotierenden Gegenmasse
$F_K$	- Kolbenkraft
$F_N$	- Normalkraft
$F_{Pl}$	- Pleuelstangenkraft
$F_R$	- Radialkraft
$F_T$	- Tangentialkraft (Drehkraft)
$M$	- Vom Motor abgegebenes Drehmoment
$M_R$	- Reaktionsmoment
$F_A, F_B$	- Dynamische Abstützkräfte in der Motorlagerung



**Bild 2.6 Kräfte und Momente im Kurbeltrieb**

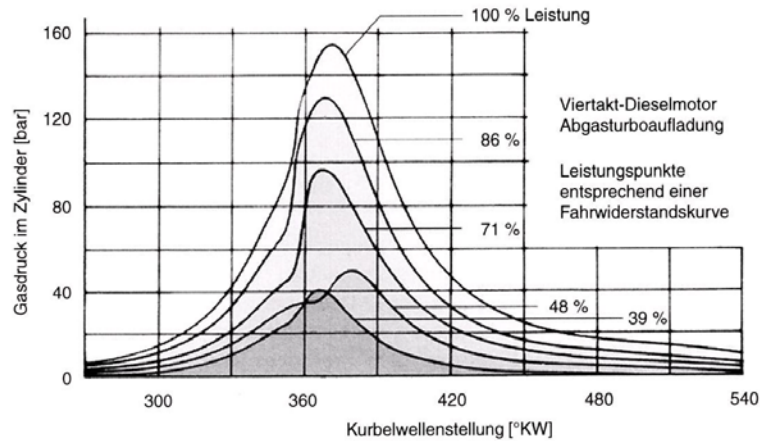
*Gaskraft*

Der Kolben wird von dem im Brennraum herrschenden momentanen Gasdruck  $p_{Gas}$  beaufschlagt, aufgrund dessen die Gaskraft  $F_{gas}$  entsteht.

Der die Gaskraft bestimmende Gasdruck hängt von verschiedenen Einflüssen ab:

- vom thermodynamischen Verfahren (Otto, Diesel)
- vom Gemischbildungs- und Verbrennungsverfahren
- von der Lage des Betriebspunktes (Drehzahl und Belastung)

Der genaue Gasdruckverlauf kann durch Druckmessung im Zylinder (Indizieren) ermittelt werden.



**Bild 2.7 Gasdruckverlauf**

### Größe der Gaskraft:

$$F_{Gas} = p_{gas} \cdot A_K$$

$p_{gas}$  - Zeitlich veränderliche Gasdruck im Zylinder

$A_K$  - Kolbenquerschnitt

### **Massenkräfte**

Im Motorbetrieb treten sowohl oszillierende ( $F_{mosz}$ ), als auch rotierende ( $F_{mrot}$ ) Massenkräfte auf.

#### Oszillierende Massenkraft

Die oszillierende Bewegung des Kolbens und des mit ihm zusammen bewegendenden Massenanteils vom Pleuel verursacht die oszillierende Massenkraft  $F_{mosz}$ .

Bei der Berechnung der oszillierenden Massenkräfte müssen die Kolbenmasse (einschließlich Masse von Kolbenringen, Kolbenbolzen und Sicherungsringen) ( $m_K$ ) und die mit dem Kolben gekoppelten Massenanteile des Pleuels ( $m_{Pl osz}$ ) berücksichtigt werden. (Für vereinfachte Rechnungen kann etwa 1/3 der Pleuelmasse als oszillierend angenommen werden.).

Oszillierende Masse:

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

Mit der Formel für die Beschleunigung (2.9):

$$F_{mosz} = m_{osz} \cdot r \cdot \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi) \quad (2.10)$$

#### Rotierende Massenkraft

Am Kurbeltrieb treten 3 rotierende Massenkräfte auf:

- Rotierende Massenkraft des Pleuels
- Rotierende Massenkraft der Kurbelkröpfung
- Rotierende Massenkraft der Gegenmasse

Die rotierende Massenkraft  $F_{mR}$  entsteht aus der ungleichmäßigen Massenverteilung der Kurbelkröpfung, sowie aus dem rotierenden Massenanteil des Pleuels. Diese Massenkraft

kann durch Anbringen von Gegenmassen an der Kurbelwelle verringert, bzw eliminiert werden. (wenn  $F_{mR} = F_{mRG}$ )

$$F_{mR} = (m_{KKr} + m_{Plrot}) \cdot r \cdot \omega - m_G \cdot r_G \cdot \omega$$

$m_{KKr}$	- reduzierte Masse der Kurbelkröpfung
$m_{Plrot}$	- rotierender Massenanteil vom Pleuel
$r$	- Kurbelradius
$m$	- Masse der Gegengewichte
$r_G$	- Abstand Schwerpunkt Gegenmasse - Achse Kurbelwelle
$\omega$	- Winkelgeschwindigkeit KW

Nachdem die Gas- und Massenkräfte definiert sind, können die im Bild 2.7 dargestellte Kraftkomponente auch berechnet werden.  
können Tangentialkraft (Drehkraft) Diagramme

Wegen der Schräglage des Pleuels ( $\psi$ ) muss die Kolbenkraft in zwei Komponente aufgeteilt werden:

Normalkraft  $F_N$

$$F_N = -F_K \cdot \tan \psi = F_K \cdot \frac{\lambda \cdot \sin \varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (212)$$

Drückt den Kolben an die Zylinderwand, (Anlagenwechsel) und verursacht Reibung

Pleuelkraft  $F_{Pl}$

$$F_{Pl} = \frac{F_K}{\cos \psi} = \frac{F_K}{\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (213)$$

Leitet die Kolbenkraft an die Kurbelwellenzapfen weiter. Die Pleuelkraft kann ebenfalls in zwei Komponente aufgeteilt werden.

Tangentialkraft  $F_T$

$$F_T = F_{Pl} \cdot \sin(\varphi + \psi) = F_K \cdot \frac{\sin(\varphi + \psi)}{\cos \psi} \quad (214)$$

Die Tangential- oder Drehkraftdiagramm bestimmt das vom Motor abgegebene Drehmoment:  
 $M = F_T \cdot r$

Radialkraft  $F_R$

$$F_R = F_{Pl} \cdot \cos(\varphi + \psi) = F_K \cdot \frac{\cos(\varphi + \psi)}{\cos(\psi)} \quad (215)$$

Verantwortlich für die Belastung der Grundlager.

Die auf den Kurbeltrieb wirkenden Kräfte stellen für den Kurbeltrieb und auch für die anderen Bauteile eine dynamische Belastung dar, da sich ihre Größe abhängig von dem Kurbelwinkel  $\varphi$  und von der Lastpunktlage ändert.