

ermittelt, führt zu der auf den Hub  $s$  bezogenen Kolbenüberdrucklinie, Abb. 1055, für die Deckelseite des Hochdruckzylinders der Maschine Tafel I, an der:

$$F' = \frac{\pi}{4} (45^2 - 7,5^2) = 1546,3 \text{ cm}^2$$

und

$$F'' = \frac{\pi}{4} (45^2 - 10^2) = 1511,9 \text{ cm}^2$$

ist. Annähernd kann man für die Kolbenfläche den Mittelwert:

$$F = \frac{F' + F''}{2}$$

setzen und dann die Kolbenkraft aus:

$$P = F(p_1 - p_2) = F \cdot p_{\bar{u}} \quad (297)$$

berechnen, wobei  $p_{\bar{u}}$  der aus Abb. 1054 oder 1051 zu entnehmende Überdruck ist.

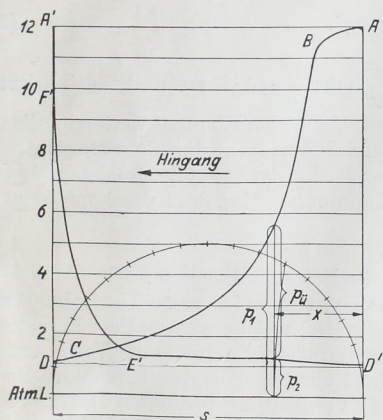


Abb. 1054. Ermittlung des auf den Hochdruckkolben wirkenden spezifischen Überdrucks  $p_{\bar{u}}$  beim Hingang.

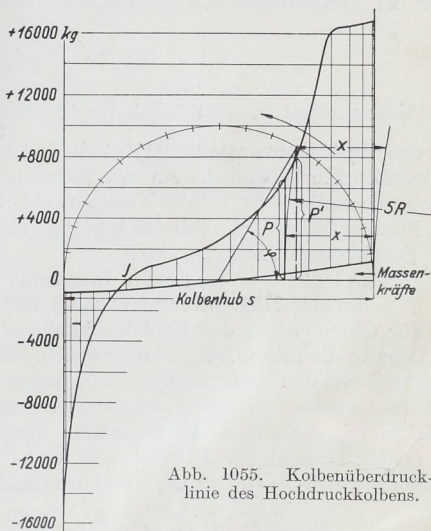


Abb. 1055. Kolbenüberdrucklinie des Hochdruckkolbens.

In Rücksicht auf die weitere Untersuchung empfiehlt es sich, die Kolbendrucke zu bestimmten Kurbelstellungen zu suchen. Man teilt zu diesem Zwecke einen über dem Kolbenhub  $s$  in Abb. 1051 oder 1054 geschlagenen Halbkreis in eine Anzahl gleicher Teile, vorteilhafterweise in 9 oder 18 Teile, je 20 oder 10° Kurbelwinkel entsprechend. ermittelt die Kolbenwege  $x$  zu den Teilpunkten auf der Kolbenweglinie durch Kreisbögen mit der Schubstangenlänge als Halbmesser und an Hand der in ihnen errichteter Ordinaten die Kolbendrucke. Will man die endliche Länge der Schubstange nicht berücksichtigen, so sind die Ordinaten durch die Teilpunkte auf dem Kreise selbst zu legen.

Im Punkte  $J$  der Linie, Abb. 1055, wird die Kolbenkraft Null und zwischen  $J$  und  $C$  negativ; in  $J$  tritt also Druckwechsel ein. Die unterhalb der wagrechten Grundlinie liegenden, zur Verdichtung des Dampfes nötigen Kräfte müssen von der Welle durch den Kurbeltrieb hergegeben werden. Sie werden zum Teil von der im anderen Dampfzylinder erzeugten Energie, zum Teil von der Wucht des Schwungrades bestritten.

#### b) Einfluß der Massenkräfte.

Während der Kurbelzapfen einer Kolbenmaschine annähernd gleichförmige Umlaufgeschwindigkeit hat, ist, wie oben gezeigt, die Geschwindigkeit der hin- und hergehen

Teile bei jedem Hube sehr wechselnd. Von Null in der Totlage steigt sie auf einen Höchstwert und sinkt dann wieder auf Null in der anderen Totlage. Dementsprechend müssen die Massen im ersten Teil des Hubes beschleunigt, im zweiten verzögert werden. Die dazu nötigen Massenkräfte können bei hohen Betriebsgeschwindigkeiten den Verlauf der freien, zum Antrieb der Maschine zur Verfügung stehenden Kolbenkräfte erheblich beeinflussen. Ihre Größe  $P_b$  ergibt sich durch Multiplikation der Beschleunigung  $b$  mit

der Masse  $\frac{G}{g}$  der hin- und hergehenden Teile, wobei sich  $G$  aus den Gewichten des Kolbens, der Kolbenstange und des Kreuzkopfes, sowie  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{2}{3}$  desjenigen der Schubstange zusammensetzt, da deren Kurbelzapfenende ja im wesentlichen eine umlaufende Bewegung macht [XIV, 3]:

$$(298) \quad P_b = \frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \left( \cos \varphi \pm \frac{R}{L} \cos 2\varphi \right)$$

oder bei Vernachlässigung der endlichen Länge der Schubstange:

$$(299) \quad P_b' = \frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \cdot \cos \varphi.$$

Praktisch rechnet man zunächst die Größe  $\frac{G}{g} \frac{v^2}{R}$  oder  $\frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot R$  aus und multipliziert sie mit den der Zusammenstellung 112, Seite 602, zu entnehmenden Klammerwerten für die verschiedenen Kurbelwinkel. An der Maschine Tafel I betragen die Einzelgewichte des Hochdruckkolbens 122 kg, des Niederdruckkolbens 282 kg, der Dampfkolbenstange 122 kg, des Pumpenkolbens, einschließlich Stange und Kupplung 282 kg, des Kreuzkopfes 190 kg, der Schubstange 220 kg, so daß

auf der Hochdruckseite insgesamt rund 830 kg,

auf der Niederdruckseite rund 990 kg in Betracht kommen.

Für den Hingang des Hochdruckkolbens ergeben sich bei  $n = 50$  Umdrehungen in der Minute die in Abb. 1055 eingetragenen Massenkräfte, welche während der Beschleunigungszeit von den Kolbenkräften aufgebracht werden müssen, während der Verzögerungszeit aber wieder frei werden und dadurch die im Zylinder erzeugten Kolbendrücke bis zum Punkte  $J$  erhöhen, die negativen, durch die Verdichtung bedingten Kräfte von  $J$  bis  $O$  aber erniedrigen. Beispielweise wird die größte Beschleunigungskraft im hinteren Totpunkte bei  $\varphi = 0$  auf der Hochdruckseite:

$$P_{b \max} = \frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \left( 1 + \frac{R}{L} \right) = \frac{830}{9,81} \cdot \frac{2,095^2}{0,4} \left( 1 + \frac{0,4}{2,0} \right) = 1115 \text{ kg,}$$

auf der Niederdruckseite 1330 kg. Da die Massen die gesamte Wucht, die sie während der Beschleunigungszeit aufspeicherten, während der Verzögerung wieder abgeben, muß die oberhalb der Kolbenweglinie liegende, die Beschleunigungskräfte umfassende Fläche der unterhalb liegenden Verzögerungsfläche inhaltgleich sein. Zum Antrieb der Maschine und der unmittelbar gekuppelten Pumpe stehen die durch senkrechte Strichelung hervorgehobenen freien Kräfte zur Verfügung.

Der Einfluß der Massenkräfte ist um so bedeutender, je größer die Massen und Geschwindigkeiten sind und je größer das Verhältnis  $\frac{R}{L}$  ist. Bis zu einer gewissen Geschwindigkeit lassen die Massenwirkungen den Verlauf der freien Kräfte gleichmäßiger werden, weil die großen Kräfte während der Einström- und Verdichtungszeit an den Enden des Hubes durch die Beschleunigung bzw. Verzögerung der Massen vermindert werden. Bei der Festigkeitsrechnung ist aber zu beachten, daß die Teile auch den größten auftretenden Kräften, also den vollen Kolbenkräften, genügen müssen, die beim Anlaufen oder bei geringen Geschwindigkeiten vorkommen, weil da die Massenkräfte noch unbedeutend sind.

Bei sehr raschem Lauf und großen Massen kann es andererseits vorkommen, daß die Massenkräfte die statischen Kolbendrucke übersteigen und der Berechnung zugrunde zu legen sind.

c) Die Kraftwirkungen in Verbrennungsmaschinen.

Die zweite Hauptart der Kolbenkraftmaschinen, die Verbrennungsmaschinen, arbeiten nach verschiedenen Verfahren: 1. mit fremder Zündung unter Verpuffung, 2. mit Selbst-

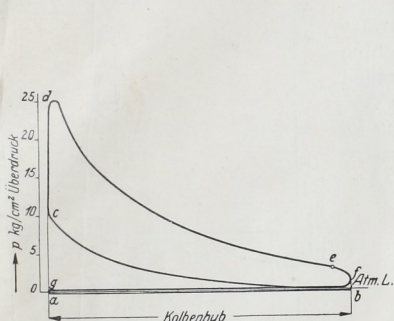


Abb. 1056. Druckverlauf in einer Viertaktverpuffungsmaschine.

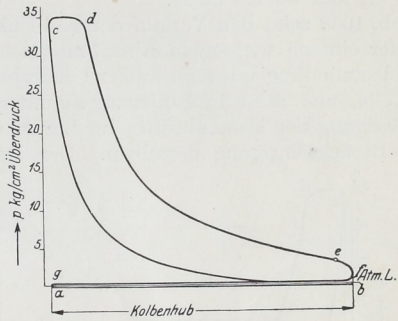


Abb. 1057. Druckverlauf in einer Viertaktselbstzündmaschine.

zündung des Gemisches (Dieselmaschinen) und entweder im Viertakt oder im Zweitakt, so daß vier Gattungen entstehen, die konstruktiv noch als einfach und doppelwirkende Maschinen stehender oder liegender Bauart auf verschiedenste Weise durchgebildet werden.

In Abb. 1056 ist der Druckverlauf einer Viertakt-Verpuffungsmaschine wiedergegeben.

Beim ersten Hinlauf saugt der Kolben das Gasluftgemisch unter geringem Unterdruck, der Linie *cb* entsprechend, an (Saughub) und verdichtet es beim Rücklauf nach *bc* (Verdichtungshub). Im Punkt *c* wird das Gemisch entzündet, verbrennt unter rascher Steigerung des Druckes und treibt

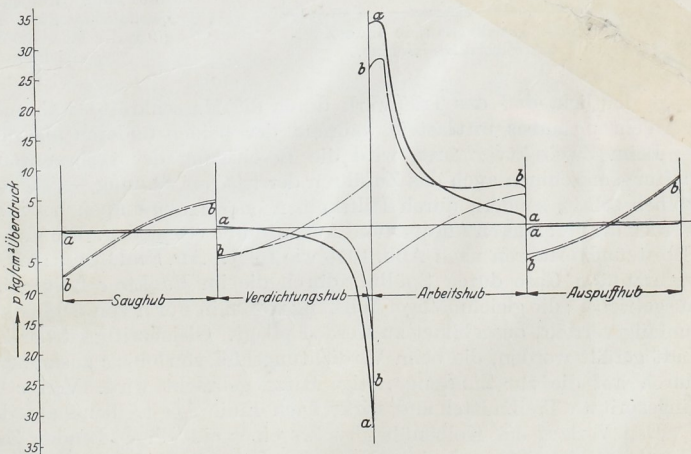


Abb. 1058. Kolbenüberdrucklinie für eine Viertaktmaschine mit Selbstzündung *a-a* unter Vernachlässigung der Massenkräfte, *b-b* unter Berücksichtigung derselben.

den Kolben während des dritten, des Arbeitshubes, dem Druckverlauf *cdef* gemäß an. In *e* wurde die Auslaßöffnung freigegeben, durch welche die verbrannten Gase während des vierten, des Auspuffhubes, von *f* bis *g* vom Kolben hinausgeschoben werden; in *a* beginnt das Spiel von neuem. Der höchste Druck, den man zur Berechnung des größten Kolbendruckes benutzt, pfl egt bei 25 at zu liegen.