X. Abschnitt.

Die Arbeit an der Kurbel.

171. Schwankungen der Geschwindigkeit während einer Umdrehung der Kurbelwelle. Aufgabe des Schwungrades. Außer jenen Veränderungen der Geschwindigkeit der Maschinenwelle, welche von Hub zu Hub stattfinden, deren Ausgleich Aufgabe des Regulators ist, kommen während jedes einzelnen Kolbenhubes Geschwindigkeitsschwankungen vor, über welche der Regulator keine Kontrolle besitzt. Diese Schwankungen sind die Folge der Veränderlichkeit der während einer Umdrehung an die Kurbelwelle abgegebenen Arbeit. Diese unvermeidlichen Geschwindigkeitsschwankungen während einer Arbeitsperiode innerhalb bestimmter Grenzen zu erhalten, ist Aufgabe des Schwungrades.

Das Schwungrad ist ein Energiereservoir, welches in jener Periode einer Umdrehung, während welcher die von der Kurbelwelle aufgenommene Arbeit größer ist, als die von derselben abgegebene Arbeit, diesen Arbeitsüberschuß ansammelt, um in jener Periode, während welcher die von der Kurbelwelle abgegebene Arbeit größer ist als die aufgenommene Arbeit, denselben wieder an die Welle abzugeben. Dieses abwechselnde Ansammeln und Abgeben von Energie ist selbstverständlich mit Schwankungen der Geschwindigkeit des Schwungrades verbunden, deren Größe abhängig ist von dem Verhältnisse dieses wachsenden Überschusses und Mangel an Energie zu jener Energie, welche das Schwungrad vermöge seiner Geschwindigkeit besitzt.

Die Aufgabe des Schwungrades läßt sich am besten an Hand eines Tangentialdruckdiagrammes studieren, welches die auf die Kurbel übertragene Arbeit in gleicher Weise graphisch darstellt, wie das Indikatordiagramm die auf den Kolben übertragene Arbeit.

172. Das Tangentialdruckdiagramm. Das Tangentialdruckdiagramm ist eine mit rechtwinkligen Koordinaten gezeichnete Kurve, welche die Beziehung des von der Schubstange auf die Kurbel übertragenen Momentes zu dem von der Kurbel durchlaufenen Winkel darstellt. Ist der Winkel im Bogenmaße ausgedrückt, dann stellt die Diagrammfläche die an die Kurbel übertragene Arbeit dar. Statt dem Drehmomente und dem durchlaufenen Winkel kann man als eine der beiden Koordinaten den Tangentialdruck auf den Kurbelzapfen annehmen, das ist die in die Richtung der Tangente an den Kurbelkreis fallende Komponente der Stangenkraft (die andere Komponente geht durch das Wellenzentrum, das Drehmoment derselben ist somit gleich Null), und als zweite Koordinate den in eine gerade Linie aufgerollten Kurbelzapfenweg; die Fläche dieses Diagrammes stellt gleichfalls die an die Kurbel übertragene Arbeit dar.

Unter vorläufiger Vernachlässigung der Reibung und der Annahme, die Maschine laufe so langsam, daß die zur Beschleunigung der bewegten

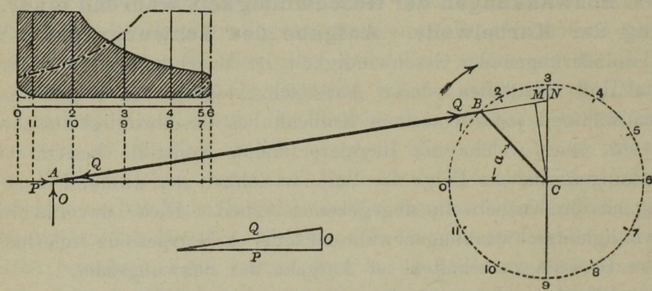

Fig. 166.

Massen erforderlichen Kräfte vernachlässigt werden können, ergibt sich das auf die Kurbel übertragene Moment bei einer beliebigen Stellung des Kolbens durch Zerlegung der Stangenkraft P in eine Komponente Q in der Richtung der Schubstange, und eine zweite Komponente O senkrecht zur Gleitbahn (Fig. 166).

Zieht man die Linie CM senkrecht zur Stangenrichtung AB, CN senkrecht zur Mittelpunktslinie AC, beziehungsweise zur Bewegungsrichtung des Kolbens; bezeichne ferner $l = AB$ die Länge der Schubstange, $r = CB$ die Länge der Kurbel, $\alpha = \sphericalangle ACB$ den Neigungswinkel der Kurbel gegen die Mittelpunktslinie AC, und $\beta = \sphericalangle BAC$ den Neigungswinkel der Stangenrichtung mit der Mittelpunktslinie, dann ergibt sich für das Drehmoment die Beziehung

$$Q \times CM = P \times CN.$$

Der Wert von CN bestimmt sich auf folgende Weise:

$$CN = AC \operatorname{tang} \beta, \quad AC = l \cos \beta + r \cos \alpha,$$

$$CN = l \cos \beta \operatorname{tang} \beta + r \cos \alpha \operatorname{tang} \beta$$

$$= l \sin \beta + r \cos \alpha \frac{\sin \beta}{\cos \beta}.$$

Nachdem jedoch

$$l \sin\beta = r \sin\alpha, \text{ somit } \sin\beta = \frac{r}{l} \sin\alpha,$$

wird

$$CN = r \sin\alpha + r^2 \sin\alpha \frac{\sin\alpha}{l \cos\beta}.$$

Ferner besteht die bekannte Beziehung zwischen den Winkeln β und α

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2} \sin^2\alpha};$$

somit wird

$$CN = r \sin\alpha \left(1 + \frac{r \cos\alpha}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2\alpha}}\right),$$

und

$$Q \cdot CM = Pr \sin\alpha \left(1 + \frac{r \cos\alpha}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2\alpha}}\right).$$

Für den praktischen Gebrauch dieser Gleichung ist die graphische Bestimmung von CN durch Einzeichnen der Stangenrichtung für die der Reihe nach folgenden Stellungen der Kurbel vorzuziehen.

Unter Zugrundelegung des Indikatordiagrammes Fig. 166 (ca. $^1/_3$ Füllung) und einer Stangenlänge $l = 3{,}5\,r$ wurde das Momentendiagramm Fig. 167 entworfen. Die Stangenkraft P bestimmt sich aus dem Indika-

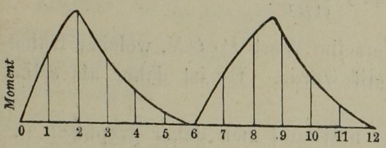

Fig. 167.

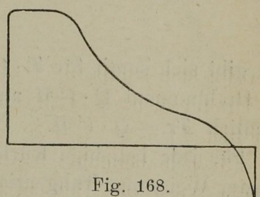

Fig. 168.

tordiagramm Fig. 166, indem man die Differenz der Drücke vor und hinter dem Kolben (ausgedrückt in kg/qcm) mit der Kolbenfläche multipliziert. Die Fläche dieses Diagrammes entspricht der pro Umdrehung der Maschine geleisteten Arbeit.

In dem vorliegenden Beispiel arbeitete die Maschine mit sehr geringer Kompression, daher der Arbeitsdruck auf den Kolben während des ganzen Kolbenhubes größer war als der Gegendruck. In vielen Fällen steigt jedoch infolge weitgehender Kompression der Gegendruck gegen Ende des Hubes so hoch, daß der resultierende Druck der Bewegung des Kolbens entgegenwirkt und die Kurve des effektiven Dampfdruckes die in Fig. 168 skizzierte Form annimmt; die Ordinaten der korrespondierenden Partie des Momentendiagrammes werden daher negativ.

Der andere, vorhin angedeutete Weg, die Beziehung des in Rede stehenden Drehmomentes zum Druck auf den Kolben P aufzustellen, basiert darauf, daß man den Druck Q in der Richtung der Schubstange in eine Komponente T, in der Richtung der Tangente im Punkte B, und eine Komponente in der Richtung des Halbmessers BC zerlegt. Nur der Tangentialdruck T allein erzeugt ein Drehmoment $T \cdot CB$ um die Kurbelwelle.

Der Tangentialdruck T kann nach der Arbeitsgleichung

$$Tv_b = Pv_o,$$

worin v_b die Geschwindigkeit des Punktes B im Kurbelkreise und v_o jene des Kolbens darstellt, bestimmt werden;

$$T = \frac{Pv_o}{v_b} = \frac{P \cdot IO}{IB},$$

worin I das Momentancentrum für die Bewegung der Schubstange bildet.

Das Momentancentrum I läßt sich für jede Kurbelstellung graphisch durch Verlängerung der CB bis zum Durchschnitte mit einem in O errichteten Perpendikel bestimmen. Nachdem nun

$$\frac{IO}{IB} = \frac{CN}{CB} \quad \text{(siehe Fig. 166)},$$

so wird

$$T = P \frac{CN}{CB};$$

es ergibt sich somit für $T \cdot CB$ derselbe Wert $P \cdot CN$, welcher früher für das Drehmoment $Q \cdot CM$ aufgestellt wurde. Es ist daher als selbstverständlich $Tr = Q \cdot CM$.

Für jede beliebige Kurbellage bestimmt sich daher graphisch in einfachster Weise der Tangentialdruck T aus dem korrespondierenden Kolbendruck P, indem man die Richtung der Schubstange bis zum Durchschnitte N mit der Vertikalen in C zur Richtung des Kolbenweges verlängert; das Verhältnis der Strecke CN zum Halbmesser $r = CB$ ergibt das jeweilige Verhältnis von T zu P.

T als Ordinate über den Kurbelweg als Abscisse aufgetragen und die Endpunkte der Ordinaten durch eine kontinuierliche Kurve verbunden, gibt die Tangentialdruckkurve nach Fig. 167. Die Fläche des Diagrammes stellt die an die Kurbel übertragene Arbeit pro Umdrehung der Maschine dar; sie ist bei Vernachlässigung der Reibung des Gestänges gleich der Fläche des Indikatordiagrammes.

173. Einfluß der Reibung. Die Reibung des Kolbens im Cylinder sowie der Kolbenstange in der Stopfbüchse kann, sobald ihre Größe bekannt ist, einfach in der Weise berücksichtigt werden, daß man einen