

Die verticale Woolfmaschine ist daher von diesem Standpunkte für die höchsten Geschwindigkeiten geeignet und bedarf keiner Balanzgewichte, wenn nur die Cylinder möglichst eng-benachbart stehen.

*d) Schiffsmaschinen.* Eincylindermaschinen werden nur für ganz kleine Boote verwendet. Zweicylindrige Verbundmaschinen sind die Regel für mittelgroße Schiffe, während die Oceandampfer heute fast ausschließlich mit dreicylindrigen Maschinen ausgerüstet sind. Des Schraubenantriebes und der Raumverhältnisse halber sind es fast durchwegs stehende Maschinen.

An die Schiffsmaschine werden nun die höchsten Anforderungen gestellt, welche der Maschinenbau zu erfüllen vermag, weshalb die höchsten Kolbengeschwindigkeiten, aber auch die höchsten Dampfdrücke und die leichtesten Gewichte der auf- und abgehenden Kolben- und anderen Gestängsmassen hier vereinigt vorkommen. Wenn auch der hohe Druck und das leichte Gestänge wegen der höchstmöglichen Kraftentwicklung und geringsten Belastung des Schiffes eingeführt erscheinen, so bietet ersterer (der hohe Druck) doch die Bedingung für die hohe Geschwindigkeit und letzteres (das leichte Gestänge) für die Verwendung der von Gegengewichten möglichst freizuhaltenden, stehenden Maschine.

Das Gewicht der Gestänge, d. i. der Kolben und der Schubstangen etc., ist nun bei Schiffsmaschinen zu erstaunlich geringem Betrage gebracht, wenn man es mit den Gewichten dieser Theile bei Stationär- und selbst Locomotivmaschinen vergleicht. Während bei diesen der Betrag  $\frac{P}{F} \sim \cdot 3$  Kil. und mehr per  $1 \text{ cm}^2$  Kolbenfläche beträgt, sinkt an den Mittel- und Niederdruckseiten der Torpedoboote Dank der dünneren stahlgeschmiedeten Kolben der ausgebohrten Schubstangen und hohlen Zapfen etc. dieses Gewicht auf  $\frac{P}{F} \sim \cdot 1$ , ja selbst  $0\cdot 05$  und  $0\cdot 04$  Kil. per  $1 \text{ cm}^2$  Kolbenfläche, also fast  $\frac{1}{10}$  des landläufigen Betrages.

Dies ist aber die unerlässliche Bedingung für die Möglichkeit der Kolbengeschwindigkeiten von  $v = 4$  bis  $5$ , ja von  $6$   $m$  per Secunde, bei Verwendung des Niederdruckes in mehrstufigen Expansionsmaschinen. Beträgt der freie Anfangsüberdruck im letzten Expansionscylinder nur  $1.0$   $Atm.$ , und werden  $v = 5$   $m$  Kolbengeschwindigkeit verlangt, so darf das Gewicht der auf- und abgehenden Theile  $\frac{P}{f}$  aus Formel (7) nicht größer sein als

$$\text{(bei } 1\text{ } m \text{ Hub)} \quad \frac{P}{f} = 0.08 \text{ Kil. oder}$$

$$\text{(bei } 45\text{ } m \text{ Hub)} \quad = 0.04 \text{ Kil. per } 1\text{ } cm^2 \text{ Kolbenfläche,}$$

wenn nicht jene Stöße auftreten sollen, deren Eintritt dort, Seite 45, betrachtet wurde.

Nun wird aber auch die ganze übrige Schiffsmaschine weit aus leichter gebaut als für festes Land, und  $3.0$  Kil. Totalgewicht des mehrcylindrigen und schwungradlosen Motors per  $1\text{ } cm^2$  der Fläche des Niederdruckkolbens, aber selbst  $1.6$  und  $1.4$  Kil. kommen dafür vor.

Nach den im allgemeinen Theil über stehende Maschinen entwickelten Grundsätzen wird die Grenzgeschwindigkeit für balanzgewichtlosen Gang dann erreicht, wenn der Beschleunigungsdruck gleich dem Eigengewicht der Maschine wird.

Wäre daher das Gestänge  $0.1$  Kil. und die ganze Maschine  $2.0$  Kil. per  $1\text{ } cm^2$  Kolbenfläche schwer, so würde sie bei einer Kolbengeschwindigkeit

bei  $1\text{ } m$  Hub      von  $v \sim 6.2\text{ } m$  per Sec. oder  $n \sim 185$  Umdrehungen,

bei  $.4\text{ } m$  Hub      von  $v = 4\text{ } m$  per Sec. oder  $n = 300$  Umdrehungen von den Unterlagen geradezu aufspringen wollen. Ihre Grundplatte würde die Bodenträger des Schiffes nach auf- und sofort doppelt belastend nach abwärts beanspruchen, wodurch der ganze Schiffskörper und insbesondere das Maschinenfundament in

unleidliche Unruhe versetzt und die Gefahr eines Bruches sichtbar würde. In solchem Falle müssen nun Balanzirungen der Gestängsmassen vorgenommen werden, wenn auch dadurch seitliche Bewegungen durch die Horizontalcomponenten der Fliehkräfte eingeführt werden.

Daher sind die Meinungen über die Nothwendigkeit der Gegengewichte an Schiffsmaschinen so getheilt. Bei halb-hohen Geschwindigkeiten, leichten Gestängen und sonst schweren Maschinen sind sie nicht nöthig, und dann nur der mit-erscheidenden Horizontalcomponenten wegen von Uebel. Bei hohen Geschwindigkeiten und leichten Totalgewichten der Maschine sichern aber nur sie allein den Bestand.

Die Grenze für die Nothwendigkeit der Anwendung von Gegengewichten ist in der allgemein giltigen Gleichung (6) und (7)

$$G = F = \frac{\pi^2}{2g} \frac{P}{l} v^2$$

oder für Kilogramm und Metermaß in der Form:

$$G = F = \frac{1}{2} \frac{P}{l} v^2$$

niedergelegt, in welcher  $G$  das Totalgewicht der Maschine,

$$F = \frac{Pw^2}{g \cdot r} = \frac{Pv^2}{2 \cdot l}$$

der totale Beschleunigungsdruck des Kolbengestänges,  $P$  das Gewicht der auf- und abgehenden Theile,  $l$  der Hub und  $v$  die Kolbengeschwindigkeit per Secunde bedeuten.  $G$ ,  $F$  und  $P$  lassen sich auch durch  $\frac{G}{f}$ ,  $\frac{F}{f}$  und  $\frac{P}{f}$ , auf die Flächeneinheit des Kolbens bezogen, ersetzen.

Bei Eincylindermaschinen gelten diese Grenzen in ungestörter Reinheit, weil das Eigengewicht und der Beschleunigungsdruck nahezu genau in einer gemeinschaftlichen Verticallinie wirken. Der Auflagedruck der Grundplatte auf den Schiffsboden verändert sich hier innerhalb der Grenzen  $G \pm F$ , deren

Wirkung auf das Stampfen des Schiffes etc. nicht weiter hiehergehört.

Bei Zweicylindermaschinen wird aber die Grenze früher erreicht werden, indem der äußere Cylinder an einem längeren Hebelarm in der Längsrichtung der Kurbelaxe anhebt als das Eigengewicht das Ganze niederhält. Dabei geht die zweite Kurbel eben durch Mitte Hub, ist also von Beschleunigungsdrücken frei, während die erste den Niedergang beginnt. Der hebenden Geschwindigkeitskraft wird also keine solche drückend entgegengestellt, und verhalten sich die Entfernungen von einem Ende der Grundplatte zur Kurbel, zur Mitte, zur anderen Kurbel wie  $a : b : c = 1 : 2 : 3$ , so müsste das Eigengewicht der Maschine  $G = \frac{c}{b} \cdot F = \frac{3}{2} F$  sein, um das Gleichgewicht ohne Beanspruchung des Schiffsbodens und ohne Balanzgewichte zu wahren.

Hier werden also Gegengewichte viel früher nöthig als bei Eincylinder- (und Dreicylinder-) Maschinen.

Dabei ist der Totaldruck, mit dem die Grundplatte auf dem Schiffsboden lastet, ein veränderlicher, wie dies auch bei der Eincylindermaschine der Fall war, und schwankt hier zwischen den Grenzen  $G \pm F$ .

Liegt daher die Maschine weit vom Schwerpunkte des Schiffes, so können Gegengewichte mit der ganzen oder theilweisen Wirkung  $\mp F$  zur Beruhigung des Stampfens schon weit vor der Grenze aus  $G = \frac{c}{b} F$  als nöthig erscheinen, wenn auch damit horizontal wirkende Kräfte und die Neigung zum Rollen des Schiffes in den Kauf genommen werden müssen.

Es ist das reine Spiegelbild der Balanzirung an der Locomotive, wo auch nur eine theilweise Ausgleichung der Massen die Mitte zwischen dem Abspringen von den Schienen und dem Schlingern hält. Nur wird bei einem Schiffe das zusammengesetzte Pendeln,

welches aus theilweisem Rollen und Stampfen entsteht, für die Mannschaft unerträglich und macht sie krank, nachdem die Ausschlagswinkel hier viel stärker anwachsen als bei der zwischen festen Schienen hineilenden Locomotive. Daher soll eine der beiden Bewegungen gänzlich vermieden oder behoben werden.

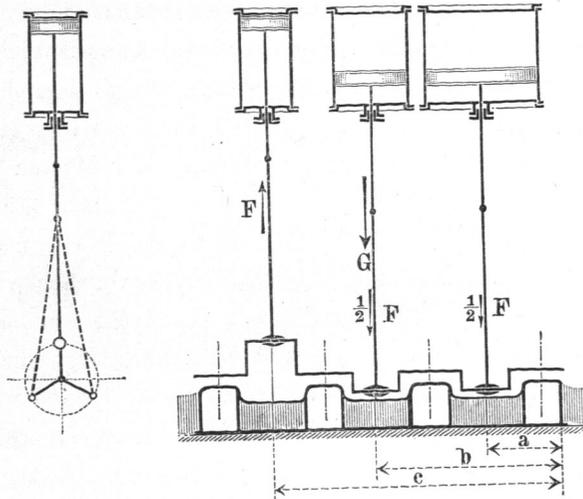
Bei Dreicylindermaschinen heben sich die Massenwirkungen theilweise auf, und würden es bei  $120^\circ$  Kurbelstellung selbst mathematisch genau thun, wenn die drei Gestänge gleich schwer wären und in einer und derselben Ebene wirken würden. Die erste Bedingung: gleich schwere Gestängsmassen, findet sich meist nahezu genau erfüllt, und wird selbst absichtlich durch identische Schubstangen etc. herbeigeführt, wenn schon die Rücksicht auf die Anfertigung und gleiche Ersatztheile hier eine Rolle mitspielt. Die zweite Bedingung: Wirkung der Massen in einer und derselben Ebene ist allerdings unerfüllbar, aber die Grundplatte erfährt dadurch, dass sie zur Zeit, als sie von einem Cylinder beim beginnenden Niedergang seines Kolbens gehoben werden will, von den Beschleunigungsdrücken der beiden anderen Maschinen, wenn auch nur je mit halber Kraft, niedergedrückt wird, nur innere Biegemomente und eine wechselnde Vertheilung der Auflagerdrücke an den Enden, wobei sich aber ihr Gesamtdruck, ihre Last auf den Schiffskörper nicht ändert. Letzterer wird höchstens in der Längsrichtung des Schiffes durch das Hin- und Herwandern des Druckmittelpunktes der Grundplatte ein gewisses Stampfen annehmen wollen, welches aber bei der verhältnissmäßig großen Länge des Schiffes gegen die kleinen Unterschiede der Hebelarmlängen zu seinem Schwerpunkte hin ziemlich unmerklich bleibt.

Das Gleiche gilt hier auch betreffs der Kurbeln und der abschwingenden Schubstangen im horizontalen Sinne.

Daher benöthigen Dreicylindermaschinen im Allgemeinen gar keine Gegengewichte, selbst nicht für die Kurbeln allein.

Ist nun aber auch bei den Dreicylindermaschinen die Summe der Beschleunigungsdrücke aller drei Maschinen stets nahe gleich Null und wollen diese daher auch keine Parallelverschiebungen oder Totalhebungen veranlassen, so greifen sie doch die Grundplatte an verschiedenen Punkten, u. zw. auf- und gleichzeitig nach abwärts wirkend an, wodurch Drehungen, d. i. einseitige Hebungen derselben (unter gleichzeitiger Mehrbelastung der anderen Kante) veranlasst werden.

Fig. 71



Der Schiffsboden würde also wieder Biegungen nach auf- und abwärts erfahren, wenn eine steigende Geschwindigkeit den Bau der Maschine derart in's Wanken bringt, dass sich die Grundplatte einseitig zu heben strebt. Verhalten sich die Entfernungen von deren Enden zur nächsten Kurbel, zur Mitte und zur anderen Kurbel wieder  $= a : b : c$ , so findet ein einseitiges Aufspringen der Maschine erst statt bei

$$G = F \cdot \frac{c - \frac{1}{2}(a+b)}{b},$$

was bei dem Verhältniss  $a : b : c = 1 : 3 : 5$  übergeht in  $G = F$  wie bei der eincylinderigen Maschine.

Nur wenn die Kolbengeschwindigkeit größer würde als dem Werthe  $G$  entspricht, müssen Gegengewichte zur Sicherung und Beruhigung des Schiffsbodens und der Fundamente in Anwendung kommen, was aber thatsächlich oftmals nothwendig wird. Das Zahlenbeispiel auf Seite 256 gilt in reiner Anwendung auch hier.

## 2. Schubstange von endlicher Länge.

Bei Maschinen mit endlichen Schubstangenlängen nehmen die Beschleunigungsdrücke in den beiden Hälften eines Kolbenges ungleiche Werthe an, welche von dem Verhältniss der Kurbel- zur Schubstangenlänge  $\frac{r}{L}$  abhängen. Da die Componente der Fliehkraftwirkung eines Gegengewichtes aber symmetrisch auftritt, so erhellt, dass die hin- und hergehenden Massen einer Maschine mit endlicher Schubstange nie völlig, sondern nur theilweise (und zwar zum größten Theile) balancirt werden können.

### Theilweise Balancirung.

Wendet man ein Gegengewicht von der Größe  $m P$  an, wobei  $P$  das Gewicht der hin- und hergehenden Massen und  $m$  einen Factor vorstellt, der stets kleiner als 1 ist, so wird die Horizontalcomponente der geweckten Fliehkraft von der Größe  $m F \cdot \cos \omega$  der Verschiebungskraft entgegenwirken, welche die Folge der Druckunterschiede am Cylinderdeckel und im Kurbel-lager ist.

Dieser Unterschied wird nun

$$\begin{aligned} U &= F \left( \cos \omega + \frac{r}{L} \cos 2\omega \right) - m F \cos \omega \\ &= F \left[ (1 - m) \cos \omega + \frac{r}{L} \cos 2\omega \right] \dots (m) \end{aligned}$$