

heitslinie ii ergibt das rektifizierte Diagramm ec . Das Eigengewicht des Gestänges, welches hier dem Dampfdrucke entgegengesetzt wirkt, ist durch die oberhalb der Grundlinie liegende Gerade bb , deren Abstand von aa wieder dem Gewichte des Gestänges in kg pro qcm Kolbenfläche entspricht, ausgedrückt.

Die unter der bb -Linie liegende Fläche der Figur ee stellt jene Arbeit dar, welche von dem Dampfbalancekolben mindestens übernommen werden muß, damit beim Aufhube kein Druckwechsel stattfindet; der Dampfdruck auf denselben muß daher mindestens dem durch die Strecke bc dargestellten Drucke entsprechen.

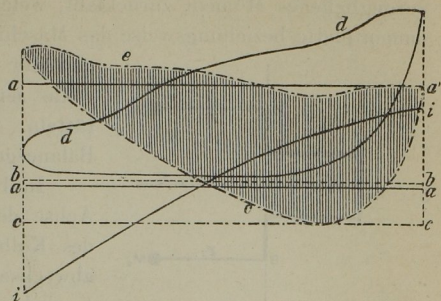


Fig. 182.

182. Ausgleich der Massendruckmomente. Gegengewichte.

Der Ausgleich der Massendruckmomente spielt bei allen Kraftmaschinen mit absetzender Bewegung, somit in erster Linie bei Dampfmaschinen eine hochwichtige Rolle.

Eine Maschine kann dann als vollkommen ausbalanciert angesehen werden, wenn die relativen Bewegungen ihrer Teile keine Tendenz zeigen, die Maschine als solche in Vibrationen zu versetzen; vollständige Ausbalancierung fordert daher, daß die Reaktionswirkungen jener Kräfte, welche zur Beschleunigung der bewegten Massen erforderlich sind, sich in jedem Momente der Bewegung das Gleichgewicht halten, so daß keine resultierende Reaktion auf das Maschinenbett übertragen wird. Eine Maschine, welche dieser Anforderung genügt, würde sich somit hinsichtlich der in ihr auftretenden Kräfte im vollen Gleichgewichte befinden, somit auch ohne Fundament gleichmäßig laufen. In Wirklichkeit wird dieser ideale Zustand nur annähernd erreicht.

Zunächst ist es hinsichtlich der parallel zur Richtung der Kolbenbewegung auftretenden Kräfte möglich, wenigstens einen teilweisen Ausgleich zu erzielen, indem man mit der Kurbel zwei oder mehrere Massen (Gegengewichte) verbindet, welche mit derselben rotieren und so angeordnet sind, daß die zur Beschleunigung derselben erforderlichen radialen Kräfte in Summa gleich und entgegengesetzt sind jenen Kräften, welche zur Beschleunigung des Kolbens, der Kolben- und Schubstange sowie des Kurbelzapfens, wenn der Kolben an seinem Totpunkte steht, erforderlich sind. Eine einzige rotierende Masse genügt für diesen Ausgleich nicht,

nachdem es konstruktiv unmöglich ist, dieselbe genau gegenüber dem Kurbelzapfen anbringen zu können und die seitliche Anbringung ein unausgeglichenes Moment zurückläßt, welches die Tendenz besitzt, die Fundamentplatte beziehungsweise das Maschinenbett um eine zur Hubrichtung

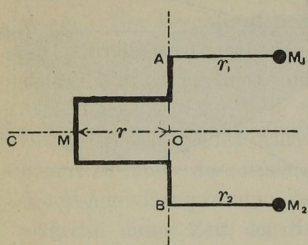


Fig. 183.

und der geometrischen Achse der Kurbelwelle senkrechte Achse hin und her zu rütteln. Durch die Anwendung zweier Balancegewichte wird dies vermieden.

In Fig. 183 ist AB die geometrische Achse der Kurbelwelle, CO die Richtung des Kolbenhubes; r die Kurbellänge. Die abwechselnd bewegten Massen seien im Kurbelzapfen konzentriert gedacht und durch die Masse M ausgedrückt. Die beiden Gegengewichte von der Masse M_1 und M_2 seien in der Entfernung r_1 und r_2 des Schwerpunktes derselben von dem Wellenmittelpunkt, der Kurbel entgegengesetzt angebracht.

Damit das Auftreten einer resultierenden Zentrifugalkraft parallel zu der Richtung CO vermieden werde, muß die Gleichung bestehen

$$M_1 \omega^2 r_1 + M_2 \omega^2 r_2 = M \omega^2 r,$$

woraus folgt

$$M_1 r_1 + M_2 r_2 = Mr.$$

Um andererseits Zentrifugalmomente zu vermeiden, welche die Tendenz zeigen, die Maschine um eine zur Bildebene senkrechte Achse zu verschieben, muß

$$M_1 r_1 \overline{OA} = M_2 r_2 \overline{OB} \text{ sein.}$$

Bei Maschinen mit nur einer Kurbel werden die Balancegewichte M_1 und M_2 gewöhnlich gleich groß gemacht und symmetrisch zu beiden Seiten der Kurbel angebracht.

Ein auf diese Weise erlangter Ausgleich ist, selbst in Bezug auf die zur Hubrichtung parallelen Kräfte, nicht vollkommen, denn die Annahme, daß die gesamte Masse M der abwechselnd bewegten Teile im Kurbelzapfen konzentriert gedacht werden kann, weicht um so mehr von der Wirklichkeit ab, je kürzer die Schubstange ist. Bei einer kurzen Schubstange besteht, wie die früheren Erörterungen ergeben haben, eine bedeutende Differenz hinsichtlich der Größe des zur Beschleunigung des Gestänges in den beiden Totpunkten erforderlichen Druckes. In jenem Totpunkte, welcher näher der Kurbelwelle liegt, werden daher die durch das Balancegewicht hervorgerufenen Kräfte im Überschusse sein, während dieselben im anderen Totpunkte die zur Beschleunigung der abwechselnd bewegten Massen aufgezehrten Kräfte nicht auszugleichen vermögen.

Die Annahme, daß die gesamte Masse M der abwechselnd bewegten Teile am Kurbelzapfen angesammelt sei, ist daher gleichbedeutend mit der gänzlichen Vernachlässigung der endlichen Länge der Schubstange.

Mit diesem Vorbehalte kann somit ein Ausgleich hinsichtlich jener Kräfte, welche in der Ebene der Fig. 183, d. i. in der durch die Achse der Kurbelwelle und die Schubrichtung des Kolbens gelegten Ebene, wirksam sind, erzielt werden; alles was vorhin bemerkt wurde, bezieht sich daher nur auf Kräfte in dieser Ebene allein.

Hinsichtlich solcher Kräfte, welche senkrecht zu dieser Ebene wirken, bedürfen zunächst der Kolben und die Kolbenstange samt Kreuzkopf keiner Balancierung, weil dieselben keine Beschleunigung im Sinne dieser Richtung erfahren; nur ein Teil der Schubstange (ungefähr $\frac{1}{3}$ des Gewichtes derselben) kann im Kurbelzapfen konzentriert, daher die zur Bildebene senkrechte Bewegung desselben angenähert teilend, angenommen werden.

Die für den Ausgleich der in der Ebene $COAB$ der Fig. 183 wirkenden Kräfte gerechneten Balancegewichte sind daher in bezug auf die senkrecht hierzu auftretenden Kräfte zu groß und geben daher Veranlassung zu Vibrationen der Maschine in anderen Richtungen. Die Bedingungen, welche erfüllt werden müßten, um einen Ausgleich nach beiden Ebenen zu erreichen, sind unvereinbar; das beste Resultat kann somit im allgemeinen nur durch einen Kompromiß erzielt werden.

Bei Stationärmaschinen, welche mit einem massiven Fundamente verankert sein können, also künstlich gefesselt sind, wird ein Zustand mangelhafter Balancierung beziehungsweise erzwungenen ruhigen Verhaltens derselben nur durch übermäßige Beanspruchung der einzelnen Teile, nutzlose Reibung und Abnutzung der Kurbellager, Erzitterung des Fundamentes etc. erreicht. Gegengewichte werden daher selbst bei großen Stationärmaschinen mit Kolbengeschwindigkeit bis zu 3 m pro Sekunde heutzutage nur ausnahmsweise benützt. Bei Maschinen, welche mit noch größerer Kolbengeschwindigkeit von 4 m und darüber arbeiten, wie z. B. Reversierwalzenzugmaschinen u. dgl. oder bei Maschinen, deren lokale Verhältnisse eine tunlichste Balancierung erfordern, als z. B. Schnellläufer für elektrischen Betrieb in Städten, welche an Orten aufgestellt werden müssen, wo die Erschütterung des Grundes auf benachbarte Gebäude übertragen von den übelsten Folgen begleitet wäre, haben sich die Gegengewichte zur Erhaltung des Bestandes der Maschine als unbedingt notwendig erwiesen.

Bei Maschinen, welche nicht an ein Fundament gebunden sind, wie z. B. Lokomotiv- und Schiffsmaschinen, wird das Gegengewicht ganz allgemein verwendet; speziell bei Lokomotivmaschinen ist das Problem des

Ausgleiches der Massenwirkung von der größten Bedeutung, weil die Oszillationsbewegungen nicht genügend ausbalancierter Maschinen von den gefährlichsten Folgen begleitet sein können.

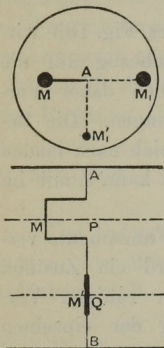
Durch das Vorhandensein zweier Kurbeln wird die Aufgabe der Bestimmung der Größe wirksamer Gegengewichte zur Vermeidung horizontaler Schwingungen bei Lokomotivmaschinen etwas verwickelter; dies ist selbstverständlich bei mehrkurbeligen Maschinen in noch höherem Maße der Fall.

Bezeichne M und M' Fig. 184 die auf den Kurbelzapfen reduziert gedachte Masse der abwechselnd bewegten Teile einer Lokomotivmaschine und sei vorausgesetzt, daß die Gegengewichte, wie dies gewöhnlich der Fall ist, an den Laufrädern A und B angebracht seien, dann würde die Masse M allein zwei Ausgleichsmassen und zwar M_1 am Rade A und M_2 am Rade B , entgegengesetzt der Masse M angebracht, erfordern, welche vermöge ihrer Größe und ihres Abstandes von der Achse der Bedingung entsprechen müssen, daß

$$M_1 r_1 + M_2 r_2 = M r$$

und

$$M_1 r_1 \cdot \overline{AP} = M_2 r_2 \cdot \overline{BP}.$$



Der Ausgleich der Masse M' erfordert gleichfalls zwei Massen M_1' und M_2' , an dem Rade A beziehungsweise B entgegengesetzt der Masse M' angebracht und der Bedingung genügend

$$M_1' r_1 + M_2' r_2 = M' r$$

und

$$M_1' r_1 \cdot \overline{AP} = M_2' r_2 \cdot \overline{BP},$$

wenn r , r_1 und r_2 die Entfernungen der Angriffspunkte der Massen M beziehungsweise M' , sowie M_1 und M_2 von der Achse bedeuten.

Anstelle der beiden Gegengewichte eines Rades kann ein einziges Gegengewicht angeordnet werden, dessen Größe und Lage zwischen den Gegengewichten M_1 und M_1' beziehungsweise M_2 und M_2' , und zwar näher an M_1 im Rade A und näher an M_2 im Rade B , durch nachstehende Betrachtung ermittelt werden kann.

Sei M_0 die Masse des Gegengewichtes, welches an einem Halbmesser r_0 wirkend die Massen M_1 und M_1' in derselben Ebene ersetzt, dann muß $M_0 \omega^2 r_0$ die Resultierende aus $M_1 \omega^2 r_1$ und $M_1' \omega^2 r_1$ bilden. Sei ferner der Winkel, unter welchem M_0 gegen M_1 versetzt ist, δ , dann ist

$$M_0^2 r_0^2 = M_1^2 r_1^2 + M_1'^2 r_1^2$$

und

$$\operatorname{tang} \delta = \frac{M_1'}{M_1}.$$

Gewöhnlich macht man $r_0 = r_1$, in welchem Falle

$$M_0 = \sqrt{M_1^2 + M_1'^2}.$$

Wenn die beiden Maschinen symmetrisch zu einer in der Mitte der beiden Kurbeln liegenden Mittellinie situiert sind, und wenn $r_1 = r_2 = r_0$ angenommen wird, dann ist $M_1 = M_2'$ und $M_2 = M_1'$ und

$$M_1 + M_2 = M \frac{r}{r_0}.$$

Bezeichne ferner $2L$ die Distanz AB Fig. 184 und $2l$ die Entfernung PQ , dann wird

$$M_1(L - l) = M_2(L + l).$$

Unter Einführung des Wertes von M_2

$$M_2 = M \frac{r}{r_0} - M_1$$

wird

$$M_1 = M \frac{r}{r_0} \cdot \frac{L + l}{2L}$$

und

$$M_2 = M \frac{r}{r_0} \cdot \frac{L - l}{2L}.$$

Die Masse M_0 , welche in der Entfernung r_0 von der Achse die beiden Massen M_1 und M_2 ersetzen soll, ergibt sich aus der Gleichung

$$M_0 = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = M \frac{r}{r_0} \cdot \frac{\sqrt{L^2 + l^2}}{L\sqrt{2}};$$

die Lage derselben ist bestimmt durch den Winkel δ nach der Gleichung

$$\operatorname{tang} \delta = \frac{L - l}{L + l}.$$

183. Ausgleich der longitudinalen Kräfte schnelllaufender Maschinen. Mit dem Ausdrucke „longitudinal“ seien hier jene Kräfte bezeichnet, welche, durch die hin- und hergehenden Massen hervorgerufen, parallel zur Richtung des Kolbenhubes auftreten; diese Kräfte wirken daher in stehenden Schnellläufern vertikal. Wenn man von dem Einflusse der Schubstange absehen könnte, würden diese Kräfte für jeden Kolben am oberen und unteren Totpunkt dieselbe Größe haben. Bei gekuppelten Maschinen mit zwei unter 180° versetzten Kurbeln und gleich schwerem Gestänge würde daher der Fundamentrahmen der Maschine in jedem Momente gleiche auf- und abwärts gerichtete Stöße erfahren. Bei nur einem Kurbelpaare bilden somit diese gleich großen und entgegengesetzt gerichteten Kräfte ein Kräftepaar, welches die Tendenz besitzt, die