

rotierenden Oberfläche schreiben läßt. Man benützt hierzu am besten berußtes Papier, welches man an geeigneter Stelle um die Maschinenwelle spannt; die Gabel zeichnet mit Hilfe einer steifen Borste oder einer kleinen Feder, welche an einer der beiden Zinken befestigt ist, auf demselben wellenförmige Linien. Damit sich diese Linien nicht decken, wodurch die Deutlichkeit vollständig verloren ginge, muß die Gabel parallel zur geometrischen Achse der Maschinenwelle langsam fortbewegt werden, so daß die Wellenlinien der einzelnen Umdrehungen stets auf eine andere Partie der berußten Oberfläche gezeichnet werden können. Man benützt hierzu am einfachsten einen mittels Schraubenspindel bewegten Schlitten, in welchen die Gabel eingespannt wird und dessen langsam fortschreitende Bewegung von der Maschinenwelle direkt abgeleitet wird.

Dieses in Ruß geschriebene Diagramm wird nachher durch eine dünnflüssige Harzlösung fixiert und gestattet nun die unmittelbare Zeichnung der tatsächlichen Geschwindigkeitskurve, indem man vor Verwendung der Gabel die Zahl der Schwingungen pro Sekunde in geeigneter Weise bestimmte; war die Zahl der Schwingungen n , dann gibt die Entfernung von Wellenspitze zu Wellenspitze des Diagrammes den Weg am Umfange der Kurbelwelle in $\frac{1}{n}$ -Sekunde*).

181. Druckwechsel an den Zapfen. Der resultierende Dampfdruck auf den Kolben einer Dampfmaschine sei durch die Linie SS Fig. 180 für die beiden unmittelbar aufeinander folgenden Hübe derart dargestellt, daß diese Linie für die Bewegung des Kolbens gegen die Kurbelwelle über der Grundlinie, für die entgegengesetzte Bewegung desselben jedoch unter der Grundlinie oder Basis des Diagrammes liegt. In gleicher Weise stelle die Beschleunigungsdruckkurve RR jene Kräfte dar, welche zur Acceleration der abwechselnd bewegten Teile der Maschine aus-

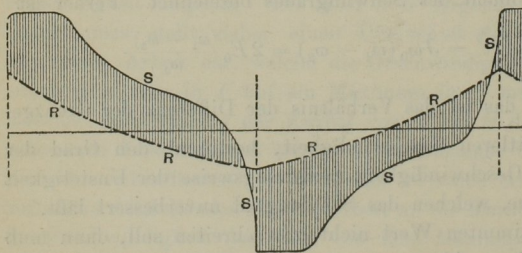


Fig. 180.

*) Beispiele hinsichtlich der Benützung dieser Methode zur Bestimmung des Ungleichförmigkeitsgrades δ siehe die Abhandlung von H. B. Ransome in *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. XCVIII; ferner *Society of Arts, Report on Trials of Motors for Electric Lighting* (1889), sowie J. Radinger, „Über Dampfmaschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit“, 3. Aufl., Wien, 1892.

genützt wurden. Die Punkte, in welchen die Dampfdruckkurve SS die Kurve RR durchschneidet, markieren jene Momente des Kolbenhubes, in welchen ein Druckwechsel an den Zapfen stattfindet. Wenn bei Entwurf der Kurve RR nur die Masse des Kolbens, der Kolbenstange und des Kreuzkopfes berücksichtigt wurde, dann entsprechen die Durchschnittspunkte der beiden Kurven jenen Stellen des Kolbenhubes, in welchen ein Druckwechsel am Kreuzkopfbzapfen stattfindet; wurde jedoch gleichzeitig die Masse der Schubstange berücksichtigt, dann beziehen sich diese Punkte auf den Druckwechsel am Kurbelzapfen.

Nachdem zwischen den Zapfen und Schalen der Stangenköpfe immer ein, wenn auch noch so kleiner Zwischenraum bestehen muß, um die freie Bewegung und genügend reichliche Schmierung zu ermöglichen, wird jeder plötzliche Druckwechsel an den Zapfen mit einem mehr oder minder heftigen Schlag verbunden sein. Um eine Maschine gegen solche harte Schläge zu sichern, muß einerseits der Spielraum zwischen Zapfen und Schale so klein als möglich gemacht und andererseits der Verlauf des Dampfdruckdiagrammes derartig gewählt werden, daß, wenn sich die Dampfdruck- und Trägheitskurve kreuzen, der Übergang der positiven Distanzen zwischen denselben in die negativen, oder mit anderen Worten, die Annäherung der beiden Kurven allmählich erfolge, so daß der Druckwechsel den Charakter der Plötzlichkeit, welcher stets einen Stoß oder Schlag zur Folge hat, verliert. Prinzipiell sollte der Druckwechsel nur an den Totpunkten stattfinden, da er, wie auch die Erfahrung lehrt, in diesem Falle völlig stoßfrei und ohne Gefahr für die Konstruktion der Maschine verläuft. Sobald aber die Geschwindigkeit der abwechselnd bewegten Massen zunimmt, treten, wie bereits erörtert, neben den wechselnden Dampfdrücken auch Massendrücke auf, welche ebenso wie die hier in Betracht kommende Kompression den Druckwechsel auch außerhalb der Totpunkte zur Folge haben. Diese Erscheinung wird immer dann eintreten, wenn die zur Beschleunigung des Kolbens und der übrigen bewegten Massen erforderlichen Kräfte größer sind, als der gleichzeitig auf der Arbeitsseite auftretende effektive Dampfdruck. Dies wird der Fall sein, wenn der freie Dampfdruck bereits bei Beginn des Kolbenlaufes kleiner ist, als der bei gegebener Geschwindigkeit der Maschine erforderliche Beschleunigungsdruck, nachdem in diesem Falle das Gestänge zunächst durch die Kurbel mitgeschleppt werden muß, bis in dem Momente, wo der Dampfdruck den Beschleunigungsdruck überholt, der Druckwechsel in den Schalen, also verspätet, eintritt. Der Druck überspringt von der äußeren, bisher arbeitenden Schale beider Zapfen auf die innere, nunmehr die Kurbel drückende Seite. In diesem Momente steht aber die Kurbel nicht mehr im Totpunkte, die Massen besitzen bereits eine bestimmte Ge-

schwindigkeit, somit ist auch der drucklose Zeitraum des Überspringens der Schalen größer als in der Totlage der Maschine, denn es ist nicht nur der Zwischenraum zwischen Zapfen und Schale, zum mindesten also die Dicke der Ölschicht, sondern auch jener Weg zu überspringen, welchen der voraneilende Zapfen im Sinne der Bewegung der Schubstange in-zwischen zurückgelegt hat.

Während des Durchlaufens dieses zusammengesetzten Weges erscheint die Verbindung zwischen Gestänge und Kurbel gleichsam gelöst; der auf den Kolben wirkende, in dieser Periode meist noch volle Dampfdruck wird frei und schleudert das Gestänge der Kurbel mit momentan wesentlich erhöhter, dem Zwanglaufe der Maschine nicht mehr entsprechender Geschwindigkeit nach; diese erlangte Übergangsgeschwindigkeit wird in dem Momente, als die innere Schalenseite den Zapfen trifft, plötzlich vernichtet. Der hierdurch hervorgerufene Stoß wird um so heftiger sein, je größer die Übergangswege des drucklosen Laufes sind; je mehr sich daher die Kurbel im Momente des Druckwechsels von der Totlage entfernt hatte und je größer die Kolbengeschwindigkeit ist, desto mehr nehmen die Stöße den Charakter heftiger, mit blitzähnlicher Schnelligkeit erfolgender Schläge an, welche Zapfenbrüche und andere zerstörende Wirkungen zur Folge haben.

Ein Druckwechsel außerhalb des toten Punktes kann aber auch durch zu kleine Füllungen veranlaßt werden, wenn der Dampfdruck bald nach Beginn der Expansion unter jene Höhe sinkt, welche die bewegten Massen zu ihrer sich noch beschleunigenden Geschwindigkeit benötigen. In diesem Falle muß die bis dahin von Seite des Kolbens gedrückte Kurbel vorgeifen und eine Zeit lang, das Gestänge mit sich ziehend, antreibend wirken, bis der vereinte Druck des expandierenden Dampfes und der sich verzögernden Massen das Gestänge der Kurbel nachsendet und einen abermaligen Druckwechsel zur Folge hat.

Diese in der Expansionsperiode eintretenden Druckwechsel sind aber nicht mehr von so eminenten Gefahr, wie der rein verspätete Druckwechsel, nachdem in dieser Periode an und für sich geringere Kolbendrucke zur Wirkung gelangen.

Zu weit gehende Kompression kann gleichfalls Druckwechsel zur Folge haben; dieselben sind jedoch anderer Art, nicht von Stößen begleitet und daher, wie die Erfahrung lehrt, ohne schädigenden Einfluß.

Des Zusammenhanges wegen möge hier erwähnt werden, daß bei einigen Bauarten einfach wirkender Schnellläufer der Druckwechsel gänzlich vermieden ist, und daß daher in solchen Fällen selbst ein größerer Spielraum zwischen Zapfen und Schalen unschädlich ist.

Ein solcher Schnellläufer ist die bereits früher erwähnte und an späterer

Stelle besprochene Willansmaschine. Bei derselben ist nur die obere Kolben-
seite aktiv; Kolben und Schubstange sind daher während der ganzen Um-
drehung im Zustande der Kompression; während des Kolbenniederganges ist
dies der natürliche Zustand, mit Ausnahme des Falles einer so großen Kolben-
geschwindigkeit, daß der Punkt *a* des Diagrammes Fig. 170 über die Dampf-
druckkurve zu liegen kommt; während des Kolbenanhubes müssen die Massen
des Gestänges durch die Kurbel zunächst angehoben und beschleunigt werden;
sobald jedoch das Maximum der Geschwindigkeit erreicht ist (nahe der Mitte
des Hubes) und die Massen infolge der nun beginnenden Abnahme ihrer
Geschwindigkeit bestrebt sind, die vorher angesammelte Energie wieder
abzugeben, müßte ein Druckwechsel eintreten, da ja mit Ausnahme einer
unbedeutenden Kompression im Cylinder gegen Ende des Hubes keine
Gegenkraft in demselben vorhanden ist, welche dem aufwärtsfliegenden
Gestänge entsprechenden Widerstand entgegenstellen würde. Wenn daher
in keiner Weise für einen derartigen Widerstand vorgesorgt wäre, würde
die Schubstange in der oberen Partie des Kolbenhubes, statt gegen die
Kurbel zu drücken, den Kurbelzapfen nach oben ziehen.

In Willans Dampfmaschine wird nun ein künstlicher Widerstand
durch eine Luftpumpe erzeugt, deren Kolben direkt an die Stange des
Dampfkolbens oder der Dampfkolben, bei Tandemcompoundmaschinen
dieser Art, angehängt ist. Die Kompression der Luft
beginnt zu Anfang des Anhubes und steigert sich
bis Ende desselben; die hierzu erforderliche Ener-
gie wird während des Arbeitshubes der Maschine
wieder an diese abgegeben. Der Kompressionsdruck
der Luft, vereint mit dem Drucke des rückständigen
Dampfes während des An-
hubes, muß stets größer
sein als der negative Be-
schleunigungsdruck der Kolben und Stangen, damit in den Zapfen des
Kreuzkopfes und der Kurbel ein fortwährender Druck, also niemals ein
Zug stattfindet.

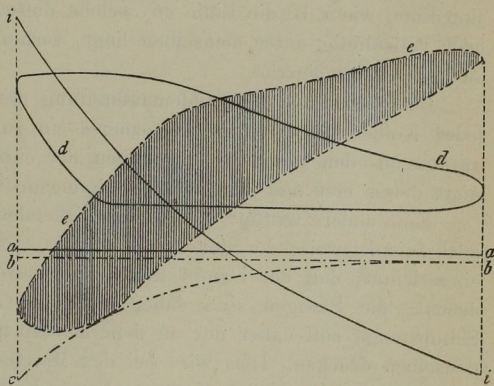


Fig. 181.

Als Beispiel diene das Diagramm Fig. 181. Der Linienzug *dd'* stelle
das Indikatordiagramm einer einfachwirkenden, vertikalen Maschine dar,
deren obere Kolbenseite allein Dampf empfängt. Die Linie *aa'*, die At-

mosphärenlinie, stellt den konstanten Druck auf der unteren Kolbenseite dar. Die Kurve *ii* sei die Beschleunigungsdruckkurve der sämtlichen hin- und hergehenden, von der Kurbel getragenen Massen, nämlich des Kolbens samt Stange des Dampfzylinders und des Luftpuffers, sowie der Schubstange. Der Beschleunigungsdruck, ebenso wie der Dampfdruck sind nach ein und derselben Skala in kg per qcm Kolbenfläche ausgedrückt. Das schraffierte Diagramm *ee* stellt das kombinierte Dampfdruck-Beschleunigungsdruckdiagramm dar; die Ordinaten desselben bilden die Differenz der Ordinaten der beiden Kurven in Bezug auf die Linie *aa*. So lange die Figur *ee* über der Linie *aa* liegt, übersteigt der den Kolben herabdrückende Dampfdruck den Beschleunigungsdruck, infolgedessen wird während dieser Zeit der Kurbelzapfen nach abwärts gedrückt; sobald jedoch die Figur *ee* unter die Linie *aa* zu liegen kommt, reicht der Dampfdruck zur Beschleunigung der Massen nicht mehr aus. Der Dampfdruck wird allerdings durch das Gewicht des Gestänges vermehrt; der Einfluß desselben wird in dem Diagramme durch die zur *aa*, im Abstände *ab*, gleich dem Gewichte des Gestänges (in kg per qcm Kolbenfläche), parallel gezogene Gerade *bb* ausgedrückt. Die durch die Kompression der Luft auszubalancierenden Kräfte sind daher durch jenen Teil der *ee*-Figur, welcher unterhalb der Linie *bb* liegt, dargestellt. Irgend eine Luftkompressionslinie, wie z. B. die Linie *cb*, welche diesen Teil der *ee*-Figur berührt oder vollständig unter demselben liegt, verhindert, daß ein Druckwechsel an der Kurbel eintritt.

Bei Maschinen der Tandemaufstellung mit zwei oder drei Kolben auf jeder Kolbenstange bildet man zuerst ein summarisches Dampfdruckdiagramm aus den Indikatordiagrammen der einzelnen Cylinder und kombiniert dieses erst mit dem Beschleunigungsdruckdiagramm.

Eine andere Gruppe von einfachwirkenden Schnellläufern, hierher gehört beispielsweise die stehende Maschine von Mather und Platt, ist so eingerichtet, daß der Dampf nur von unten gegen den oder die Kolben drückt; die Stangen sind daher stets nur auf Zug beansprucht. Die Schubstange soll daher nur an dem Kurbelzapfen ziehen, niemals gegen denselben drücken. Dies wird bei den Maschinen von Mather und Platt dadurch erreicht, daß auf dem oberen Ende des Arbeitszylinders ein Balancecylinder angebracht ist, dessen Kolben an seiner unteren Fläche fortwährend dem vollen Dampfdrucke ausgesetzt ist.

Fig. 182 stellt das Diagramm einer solchen Maschine dar. *dd* ist das Indikatordiagramm; *ii* die Beschleunigungskurve. Die Grundlinie *aa* fällt hier nicht mit der atmosphärischen Linie *a'a'* zusammen, sondern stellt den Druck des mit dem Kondensator verbundenen Raumes über dem Kolben dar. Die Kombination des Indikatordiagrammes mit der Träg-

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.

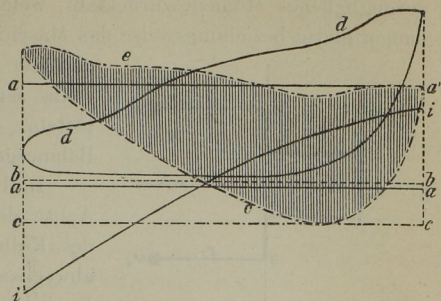


Fig. 182.

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,