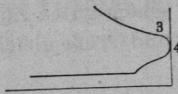


(in Fig. 9). Aus dieser Kurve geht hervor, daß der Expansionschieber nicht rasch genug absperrt (2—4') und daß der Austrittskanal nicht zeitig genug geöffnet wird, so daß der Dampf nicht rasch genug entweichen kann (4'—5'); dieser Fehler ist sehr schwerwiegend wegen des beträchtlichen Dampfverlustes. Sobald die Expansion zu stark im Verhältnis zur Kondensationswirkung stattfindet, sinkt die Expansionskurve unter die Linie der Kondensation herab und bildet eine Schleife. Der Kolben erfährt bei seinem Laufe einen über den Arbeitsdruck hinausgehenden Gegendruck, indem der Kondensatordruck höher ist als der Arbeitsdruck im Zylinder, so daß die Maschine lediglich durch die lebendige Kraft ihrer bewegten Teile in Bewegung erhalten bleibt.

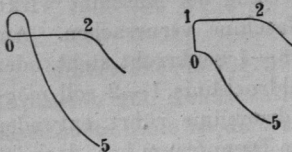
Fig. 11.



Findet eine Schleifenbildung im Teile 1—2 der Kurve statt, so ist auf eine zu hohe Kompression des Dampfes vor der Wiederöffnung des Dampfkanals zu schließen, wodurch der im Zylinder verbliebene Auspuffdampf so komprimiert wird, daß dieser Druck den Druck des frischen Dampfes übersteigt. Diese beiden letzten, nicht unbedeutenden Diagrammfehler treten mitunter bei Auspuffmaschinen auf. Der Kurventeil 3—4 soll möglichst senkrecht sein.

Obenstehende Kurvenskizze (Fig. 11) deutet auf zu spätes Ausströmen des Dampfes. Ist die Steuerung so gestellt, daß der Dampf zu früh aus dem Zylinder entweichen kann, so wird die Diagrammkurve schnell fallen, wodurch ebenfalls ein Arbeitsverlust bedingt wird. Die Gegendrucklinie 4—5 soll möglichst niedrig liegen und horizontal verlaufen; fällt dieselbe ab, so tritt die Kondensation nur langsam ein, bzw. bei einer Auspuffmaschine läßt dieser Abfall auf Verzögerung im Entweichen des Abstoßdampfes — bedingt durch zu langsames Öffnen des Austrittskanals — schließen.

Fig. 12.



Aus der Kompressionslinie 5—0 kann man erkennen, ob die Maschine gut gedichtet ist. Bei zu starker Kompression oder Undichtigkeit zeigen sich nebenstehende Kurvenlinienfehler (Fig. 12).

Alle vorhergehend betrachteten Abnormitäten an Diagrammen bedingen mehr oder weniger einen bedeutenden Dampfverbrauch und Arbeitsverlust.

## V. Das Indizieren.

Da die zweckmäßige Anbringung des Indikators am Zylinder und die Bewegung des Papierzylinders wichtige Faktoren zur Erhaltung von fehlerfreien Diagrammen sind, so lasse ich hierüber einiges folgen:

Die Verbindung zwischen Zylinder und Indikator soll so kurz als möglich sein. Eine längere Leitung beeinflusst das Diagramm, deshalb ist es bei großen Zylindern erforderlich, zwei Indikatoren anzubringen.

Ist nur ein Indikator in der Mitte des Zylinders angebracht und befinden sich die Dampfzuführungshähne an den Enden des betreffenden Verbindungsrohres, so tritt der Dampf zunächst an dem Indikator vorbei in das andere Rohrende und das so erhaltene Diagramm erweckt den Eindruck, als ob der Dampf zu spät in den Zylinder eingetreten wäre; es ist daher zu empfehlen, sich des Dreiweghahnes zu bedienen, wodurch diese Mängel behoben werden. Die Zuführungsrohre zum Indikator sollen genügend weit sein, jedoch die Bohrung des Indikatorzylinders nicht überschreiten, weil sonst ein zu großer Raum mit Dampf vor Eintritt in den Indikator gefüllt wird. Die Anbringung des Indikators den Einflußkanälen gegenüber ist unzulässig, weil der Dampf hier in Bewegung ist, wodurch der Druck ein anderer wird und außerdem (besonders bei Röhrenkesseln) leicht feste Bestandteile mit sich führt und in die Indikatorröhren treibt. Ganz oben am Zylinder bringt

Fig. 13.

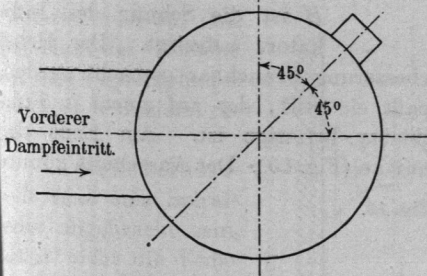
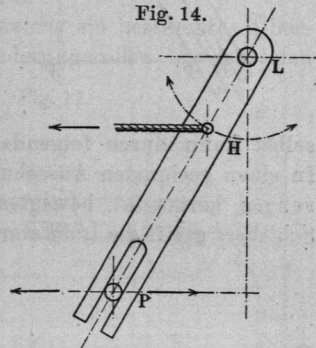


Fig. 14.



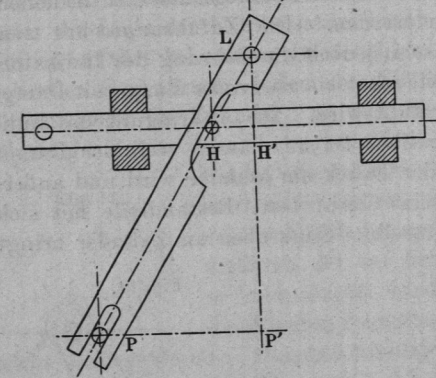
man den Indikator nicht gerne an, weil dadurch die Schnurführung erschwert wird. Es bleibt deshalb die Stellung unter  $45^\circ$  oben als am günstigsten übrig (s. Fig. 13). Die Kolbenreibung infolge des Kolbengewichtes bei schräger oder horizontaler Stellung des Indikators kann vernachlässigt werden.

Ist ein Zylinder nicht von vornherein zur Anbringung eines Indikators eingerichtet, so ist es zweckmäßig, in den Deckel ein Messingrohr mit entsprechender Krümmung einzusetzen. Bei Zylindern mit Dampfmantel muß in ähnlicher Weise ein Rohr durch den Mantel hindurchgeschraubt werden. An dasselbe wird dann mit Hilfe einer Rotgußmuffe der Indikator angesetzt. Bei stehenden Dampfzylindern sind besondere Maßregeln nicht erforderlich.

Die Bewegung des Papierzylinders muß natürlich derart sein, daß die Diagrammabszissen den jeweiligen Kolbenwegen möglichst proportional sind. Man stellt dieses fest, indem man den Kolben in etwa fünf Stellungen in gleichen Abständen voneinander bringt. Diesen Stellungen entsprechend, werden Punkte auf dem Papierzylinder gemacht, welche genau gleich weit voneinander entfernt sein müssen. Hierbei

ist jedoch zu berücksichtigen, daß während des Ganges, infolge der Elastizität der Schnur eine Ungleichmäßigkeit der Bewegung entstehen kann; deshalb soll die Schnur möglichst unelastisch und kurz sein. Werden lange Schnuren benötigt, so wendet man oft Draht an, weil

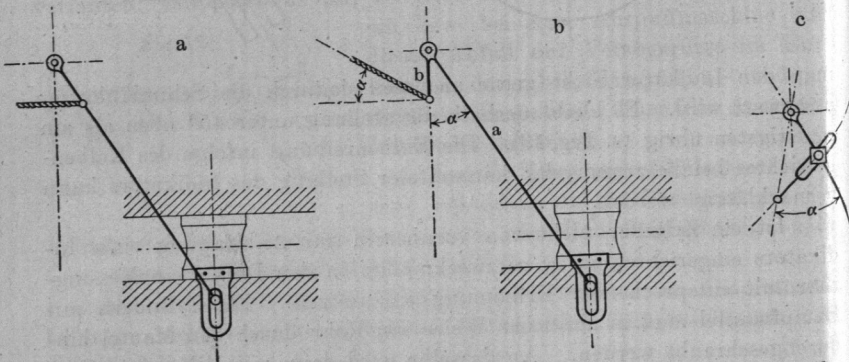
Fig. 15.



dieser sich am wenigsten verlängert. Außer diesen Fehlern kommen noch andere „kinematische“ vor, häufig infolge unsinniger Konstruktion. So hat sich umstehende Konstruktion (Fig. 14), obwohl sie die Bedingung auf Proportionalität der Zylinderbewegung mit dem Kolben durchaus nicht erfüllt, bis heute erhalten. *P* ist ein Zapfen am Kreuzkopf, *L* ein fester Punkt, bei *H* ist die Schnur des Indikators befestigt. Der Hebel

selbst kann durch folgende Verbesserung brauchbar gemacht werden. In einen geeigneten Ausschnitt paßt ein Stift, der auf einem in Führungen horizontal bewegten Schieber befestigt ist. Am Ende des Schiebers greift die Indikatorschnur an (Fig. 15). Der Ausschnitt könnte

Fig. 16.



auch als Schlitz ausgebildet sein, was aber wegen der Federkraft des Papierzylinders nicht nötig ist.

Die Proportionalität der Bewegungen ist durch die Ähnlichkeit der Dreiecke  $LPP'$  und  $LHH'$  bewiesen. Dasselbe wird erreicht, indem man den Punkt *L* nur gegen seitliche Bewegung durch stark gespannte Drähte sichert, wohingegen eine Bewegung nach oben und unten freisteht. Der Punkt *P* ist dabei nicht durch Schlitz, sondern durch einfachen Drehzapfen mit dem Kreuzkopf in Verbindung. Die Schnur muß

von  $H$  aus horizontal laufen, nötigenfalls muß eine stützende Rolle dazwischen gelegt werden.

Ähnlich der letztbesprochenen ist untenstehende Konstruktion. Bei derselben ist die Vertikalbewegung durch eine Kulisse, welche am Kreuzkopf angeschraubt ist, ermöglicht; auch hierbei muß zunächst die Schnur horizontal sein (Fig. 16 a). Die störenden Rollen können durch Anbringen eines Winkelhebels vermieden werden (Fig. 16 b); der Winkelhebel ( $a$  mit  $b$ ) bildet denselben Winkel wie die Schnur mit der Kreuzkopfbahn. Der Winkel  $\alpha$  kann mit entsprechender Einrichtung leicht verstellbar gemacht werden (Fig. 16 c). (Es genügt eine Einstellung des Winkels nach Augenmaß, da die entstehenden Fehler sehr gering sind.) Ist eine Proportionalität, wie sie anfangs vorausgesetzt wurde, nicht zu erzielen (bei alten Konstruktionen), so muß das verzerrte Diagramm graphisch in richtiger Weise (entsprechende Ordinaten zu entsprechenden Abszissen korrigiert) aufgetragen werden.

Einrichtungen mit Reduktionsrollen, welche ein bestimmtes Übersetzungsverhältnis haben, oder Hubverminderungsrollen bewegen den Papierzylinder so, daß der Hub des Kolbens auf dem Papierzylinder verkürzt (reduziert) erscheint.

In der Reduktionsrolle muß eine Spiralfeder angebracht sein, damit nicht die Feder im Papierzylinder die ganze Arbeit des Zu-

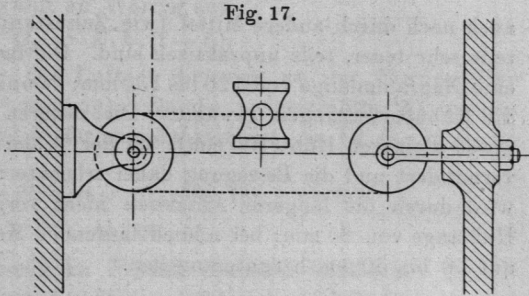
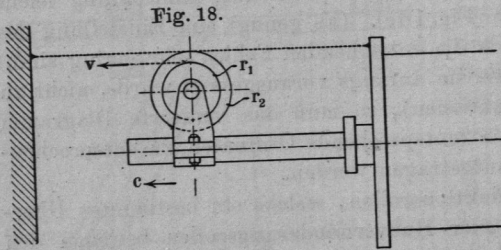


Fig. 17.

rückbewegens auszuführen hat. Es muß dafür gesorgt werden, daß die Windungen der Schnur sich nicht übereinanderlegen, und zwar am besten dadurch, daß die Rolle sich auf einer mit Gewinde versehenen Achse dreht, dessen Ganghöhe gleich der Dicke der Schnur ist. Weniger gut ist es, ein derartiges Gewinde in die Rolle einzuschneiden, das dann der Schnur eine zwangläufige Führung gibt. Im ersten Falle läuft die Schnur räumlich an derselben Stelle auf. Die selbstverständlich immer verschiedene Spannung der Spiralfeder bewirkt eine verschiedene Spannung der Schnur, was zu Fehlern Veranlassung gibt.

Diese werden vermieden durch die Schrötersche Einrichtung (Fig. 17). Derselbe lagert zwei Rollen so, daß die darüber laufende Schnur stets straff gespannt werden kann. Diese Schnur (kraftschlüssig) wird an einer bestimmten Stelle am Kreuzkopf angeschlossen. Sie macht dann genau die Bewegungen des Kolbens hin und her mit. Die eine der beiden Rollen, am besten die feste, wird mit einem kleinen Rad versehen, von dem aus mittels einer Schnur der Antrieb des Indikatorzylinders bewirkt wird.

Bei Anwendung der Differenzialrolle (Fig. 18) ist die Kolbenstange nach hinten verlängert; an dieselbe wird mit Hilfe einer Schelle ein Rollenpaar angeschlossen. Über die größere Rolle ist fest eine an beiden Enden nach entgegengesetzten Richtungen hin befestigte Schnur (kraftschlüssig) gelegt, so daß ein Gleiten derselben ausgeschlossen ist. Der Rollenmittelpunkt bewegt sich dann wie der Kolben hin und her. Zwischen den Geschwindigkeiten  $v$ ,  $c$ , den Rollenhalbmessern  $r_1$ ,  $r_2$  und den Wegen  $s$  (einer horizontal am oberen Umfange des kleinen Rades ablaufenden Schnur) und  $S$  (des Kolbens) besteht folgende Beziehung:



folgende Beziehung:

$$\frac{v}{c} = \frac{r_2 - r_1}{r_2} = \frac{s}{S};$$

daraus ergibt sich also die Hubverminderung.

Die Bewegung des Papierzylinders geschieht auch noch durch andere Mittel (wie Zahnstangen usw.), welche jedoch teils sehr teuer, teils unpraktisch sind. Die meisten Indikatoren liefern eine Diagrammlänge von 120 bis 130 mm; demnach werden dann ungefähr die Hubübersetzungen gewählt. Die neueren Indikatoren haben einen etwas kleineren Hub (100 mm), da der Widerstand der Massenträgheit vermindert und die Bewegung dabei erleichtert wird. Die Genauigkeit wird durch die längeren Abszissen nicht vergrößert. Es genügt eine Hublänge von 80 mm; bei schnell laufenden Maschinen schadet es nicht, auf 60 bis 50 mm herunterzugehen.

## VI. Bestimmung der Nutzleistung einer Dampfmaschine.

Um zu dem Werte der Nutzleistung einer Dampfmaschine zu gelangen, müssen sämtliche Reibungswiderstände der bewegten Maschinenteile, wozu ev. noch die Widerstände der Speisepumpe bzw. der Luft- und Kaltwasserpumpe hinzugerechnet werden, berücksichtigt werden. Die Widerstände beim Leergang der Maschine sind als konstante Zahlen anzusehen; dieselben werden ermittelt, indem man beim Leergang der Maschine mit der normalen Tourenzahl Indikatordiagramme aufnimmt. Bezeichnet man den aus dem Leerlaufdiagramm gewonnenen mittleren Druck hinter dem Kolben mit  $p_h$ , denselben des auspuffenden Dampfes vor dem Kolben mit  $p_v$ , mit  $n$  die Umdrehungszahl, mit  $s$  den Hub in Meter, mit  $O$  die Kolbenfläche in Quadratmeter, so ist die Leistung des Leerganges:

$$(36) \dots \dots A_l = 4,444 \cdot n \cdot s \cdot O \cdot (p_h - p_v) \text{ PS.}$$

Die Reibungsarbeit wächst mit der Belastung. Bezeichnet man mit  $N_e$  die Nutzleistung, so läßt sich die Reibungsarbeit durch  $A_l + \eta' \cdot N_e$