

Man kann obiger Formel für  $p_n$  auch die Gestalt geben:

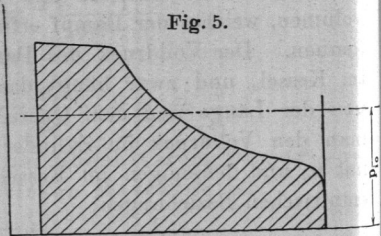
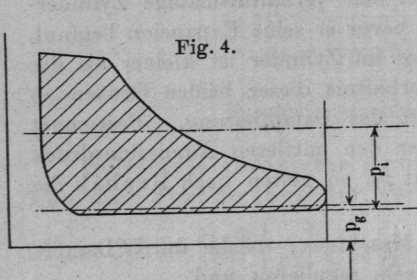
$$(33) \dots \dots \dots p_n = \eta \cdot (p_{i0} - p_g),$$

worin  $p_g$  den mittleren Gegendruck vor dem Kolben bedeutet; mit Einsetzung empirischer Werte für diesen Gegendruck ( $p_g = 1,1$  bzw.  $0,2$  Atm.) lautet die Formel alsdann:

1. für Maschinen mit freiem Auspuff:  
(34a)  $\dots \dots \dots p_n = \eta \cdot (p_{i0} - 1,1)$  Atm.;
2. für Maschinen mit Kondensation:  
(34b)  $\dots \dots \dots p_n = \eta \cdot (p_{i0} - 0,2)$  Atm.

Aus diesen empirischen Werten kann unter Zuhilfenahme des Diagrammes nach Formel (32) die Nutzleistung  $N_e$  berechnet werden.

Die Nutzleistung und der Wirkungsgrad werden jedoch gewöhnlich experimentell durch gleichzeitige Ermittlung der indizierten Leistung, d. h. durch Aufnahme von Indikatordiagrammen und durch Bremsung



der Maschine bestimmt; der Wirkungsgrad ergibt sich als das Verhältnis der Nutzleistung zur indizierten Leistung und ist um so größer, je geringer die passiven Widerstände der Maschine sind.

Im Hrabák und Kás sehen Hilfsbuch über Dampfmaschinen finden sich einige empirische Näherungswerte für  $\eta$  je nach der Größe der Maschinenleistung für normal eingerichtete Maschinen.

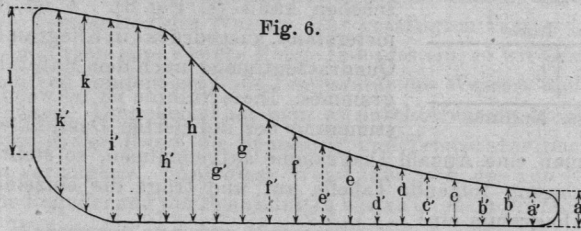
### III. Berechnung des mittleren indizierten Druckes aus den Indikatordiagrammen.

Aus einem Diagramm ermittelt man den mittleren Druck  $p_i$  auf folgende Weise:

Man teilt die Basis des Diagrammes, d. i. der Dampf arbeitsfläche in eine gerade Anzahl von mindestens zehn gleichen Teilen und errichtet in den Teilpunkten (s. Fig. 6) die Senkrechten  $a, b$  usw., deren Längen nach einer für die Atmosphäre angenommenen beliebigen Maßeinheit gemessen werden, also z. B. nach Zentimetern, und erhält so für den mittleren Druck den Wert:

$$\frac{1}{10} \cdot \left( \frac{a+l}{2} + k + i + h + g + f + e + d + c + b \right).$$

Hat das Diagramm eine in scharfen Krümmungen sich darstellende unregelmäßige Form, so muß man zwischen je zwei Ordinaten den Mittelwert direkt mit dem Zirkel abnehmen; dieser Mittelwert liegt, falls das betreffende Kurvenstück doppelt gekrümmt ist, nicht immer in der Mitte je zweier Ordinaten, sondern muß nach Augenmaß gesucht werden. Müller (Z. d. V. D. I. Bd. 31) gibt das folgende einfache Verfahren zur Bestimmung des mittleren Druckes an: Man teilt die Länge des Diagrammes in zehn gleiche Teile — bei starken Schwankungen der Kurven



muß man noch mehr Teile annehmen —, sticht von den Flächenstreifen die mittleren Ordinaten mit dem Zirkel ab und addiert sie — ebenfalls mit dem Zirkel —, indem man die Längen  $a' + b' + \dots + k'$  (s. Fig. 6) aneinander anträgt und die Summe durch die Anzahl der Ordinaten dividiert. Beträgt z. B. die Gesamtlänge 200 mm, die Anzahl der Ordinaten 10 und ist der Maßstab der Indikatorfeder 10 mm = 1 kg pro Quadratcentimeter, so ist der mittlere Druck:

$$\frac{200}{10 \times 10} = 2,0 \text{ kg.}$$

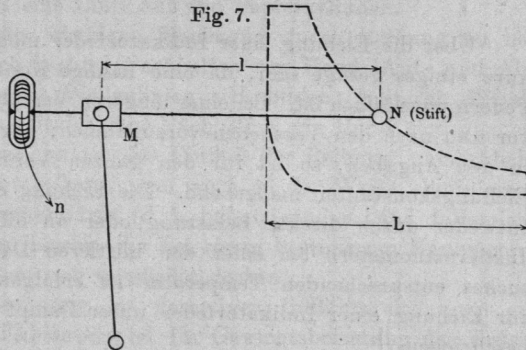
Falls man ein Polarplanimeter zur Verfügung hat, ist die Feststellung des mittleren Druckes sehr ein-

fach: Die mit dem Stifte  $N$  des Apparates umschriebene Fläche (s. Fig. 7) ist proportional dem Produkte aus dem Wege  $u$ , d. h. dem Umfangswege, den das Planimeterrädchen während der Umschreibung der Fläche ausführt, und der Länge  $l$  des Armes  $MN$ . Der Bogen  $u$  ist an einer auf dem Rädchen angebrachten Kreisteilung leicht abzulesen. Die Länge  $l$  ist verstellbar.

Macht man  $MN =$  der Länge  $L$  des Diagrammes, so liest man an dem Rädchen sofort die mittlere Höhe, bzw. den mittleren Druck ab, wie folgende Beziehungen beweisen:

$$\text{Fläche } F = u \cdot L.$$

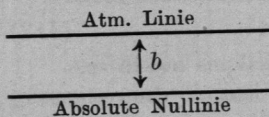
$$u = \frac{F}{L} = h = \text{Mittlere Höhe des Diagrammes.}$$



Der Indikatordruck mißt den Überdruck über die Atmosphäre. Vor dem Öffnen des Indikatorhahns ist der Überdruck gleich 0 und erhält man durch Andrücken des Indikatorstiftes *N* die Luftdrucklinie oder atmosphärische Linie.

Um den absoluten Druck zu erhalten, muß man den durch das Barometer angegebenen Luftdruck zum Dampfdruck hinzuaddieren, was graphisch leicht durch das Eintragen der horizontalen „absoluten Nulllinie“ abwärts von der Atmosphärenlinie geschehen kann (s. Fig. 8). *b* ist der Barometerstand, ausgedrückt in Kilogramm auf den Quadratcentimeter nach dem Maßstab des Diagrammes. Diese Nulllinie ist notwendig bei Bestimmung des indizierten Dampfüberdruckes.

Fig. 8.



Hat man eine Anzahl Diagramme aufgenommen, so stellt man behufs Berechnung folgende Tabelle auf und trägt die einzelnen Werte für jedes Diagramm ein:

Nr.	Fläche in qmm	Diagrammlänge	Mittlere Höhe	Mittlerer Druck	Indizierte Leistung

Über die Eichung einer Indikatorfeder möge an dieser Stelle noch kurz einiges gesagt sein, da eine häufige Kontrolle der Angaben der Federn unerlässlich ist. Bei einer längeren Versuchsdauer ist die Eichung vor und nach den Versuchen vorzunehmen; ergeben sich Unterschiede in den Angaben, so ist für den ganzen Versuch der Mittelwert der Eichungskonstanten maßgebend. Die Eichung einer Indikatorfeder hat entweder durch direkte Belastung oder an offenen Quecksilber- bzw. Justiermanometern bei einer der mittleren Dampfspannung des Versuches entsprechenden Temperatur zu erfolgen<sup>1)</sup>. Eine Einrichtung zur Eichung einer Indikatorfeder unter Dampf sei nachstehend näher beschrieben.

Von dem Dampfkessel wird ein kleines Dampfrohr zu einem zum Teil mit Wasser gefüllten Behälter abgezweigt. An der einen Seite des Gefäßes (über dem Wasserspiegel) befindet sich eine Öffnung mit Anschraubbolzen zum Anschluß des zur Eichung benutzten genauen Manometers. Am unteren Teile des Gefäßes ist ein Auslaßhahn für das Wasser angebracht. Ein Stutzen am Deckel des Gefäßes dient zum Anschluß des Indikators; zwischen Stutzen und Indikator wird ein

<sup>1)</sup> Siehe hierzu: Grundzüge und Anleitung für die Untersuchungen an Dampfkesseln und Dampfmaschinen zur Ermittlung ihrer Leistungen, aufgestellt vom Verein Deutscher Ingenieure und dem Verbands der Dampfkesselüberwachungsvereine.

Zwischenstück mit Hahn eingefügt. In die Leitung vom Dampfkessel nach dem Gefäße ist ein Ventil eingebaut. Vor dem Manometer befindet sich ein Wassersack, der mit Wasser gefüllt sein muß. Der Zweck desselben ist leicht ersichtlich, wenn erst derjenige des ganzen Behälters dargetan ist.

Wird in das Gefäß eine gewisse Menge Dampf eingelassen, so wird sich derselbe zum Teil kondensieren und die Temperatur des Wassers erhöhen; alsdann wird er diejenige Spannung annehmen, die der augenblicklichen Temperatur des Wassers (für gesättigten Wasserdampf) entspricht. Läßt man eine weitere Menge Dampfes ein, so wird sich derselbe wieder zum Teil kondensieren, die Temperatur des Wassers und somit den Druck erhöhen. Umgekehrt hat man es durch Ablassen kleiner Mengen von Wasser in der Hand, die Spannung und Temperatur nach Belieben wieder zu verringern. Auf diese Weise läßt sich die zur Eichung erforderliche Regulierung der Spannung in weiten Grenzen einfach bewirken.

Der Wassersack vor dem Manometer hat den Zweck, eine innige Berührung zwischen Wasser und frisch eingeströmtem Dampfe an allen Stellen zu erzielen, damit nicht etwa der Dampf am Manometer eine andere Temperatur wie im Behälter aufweist.

Indem man nun, von der atmosphärischen Spannung ausgehend, nach und nach Dampf eintreten läßt, zeichnet man für jede Atmosphäre des Kontrollmanometers eine Linie auf den Papierzylinder.

Um den Einfluß der etwaigen Hemmung durch Reibung zu beseitigen, läßt man durch leichtes Nachhelfen von Hand (Auf- und Abwärtsbewegen des Kolbens) Wellenlinien sich bilden; fällt die Mittellinie dieser Wellenlinien mit der ohne Nachhelfen von Hand gewonnenen geraden Linie zusammen, so ist der Einfluß der Reibung unmerklich. Den Fehler durch Reibung kann man auch in der Weise eliminieren, daß man vorwärts und rückwärts (d. h. bei steigendem und fallendem Drucke) eicht; es sollen hierbei die bei einem bestimmten Manometerdrucke erhaltenen Marken sich möglichst decken.

Den Gang der Rechnung bei derartigen Indikatoreichungen erläutert nachstehendes Zahlenbeispiel für Gewichtsbelastung der Feder.

Die zu eichende Feder wurde zuerst nur durch den Aufhängehaken belastet. Das Gewicht des letzteren betrug 0,555 kg. Es wurden sodann Gewichte angehängt in Stufen von 3 zu 3 kg. Die einzelnen Belastungen betragen somit:

0,555 kg, 3,555 kg, 6,555 kg, 9,555 kg usw.

Die Verlängerungen der Feder sollen den Gewichten proportional sein. Die Gewichte selbst werden unter Berücksichtigung der Fläche des Indikator Kolbens auf Kilogramm-Quadratcentimeter umgerechnet.

Der Durchmesser des Kolbens war 2 cm, die Fläche betrug daher:

$$\frac{2^2 \cdot \pi}{4} = 3,142 \text{ qcm.}$$

Zuerst wurde die Nulllinie der Ausdehnungsskala ohne Belastung gezogen, darauf wurde belastet.

Man rechnet nun wie folgt:

Die Belastung sei z. B. 24,555 kg; die Belastung auf 1 qcm beträgt dann  $\frac{24,555}{3,142}$  kg; die beobachtete Verlängerung sei  $a$  mm; es entspricht daher 1 kg/qcm einer Verlängerung von:

$$\frac{a \cdot 3,142}{2,555} \text{ mm.}$$

Diese Größe ist die Konstante der Indikatorfeder. Die Konstante ist für sämtliche vorgenommenen Belastungen aus dem Belastungsdiagramm und der jeweiligen Verlängerung festzustellen. Sie betrug beim vorliegenden Versuche beispielsweise für die Belastung durch den Haken allein:

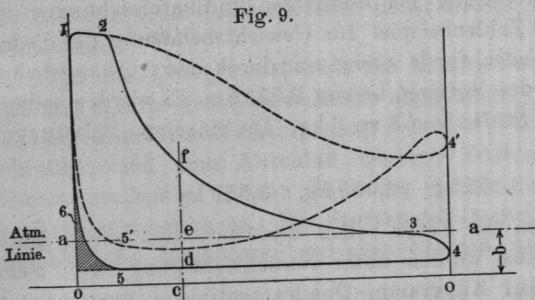
$$\frac{1,352 \cdot 3,142}{0,555} = 7,66.$$

Hierbei ist 1,352 mm die Verlängerung für das Hakengewicht 0,555 kg. Die so für stufenweise größere Belastungen ermittelten verschiedenen Konstanten hatten die Werte:

$$\left. \begin{array}{l} 7,66 \\ 7,66 \\ 7,65 \\ 7,7 \end{array} \right\} \text{ im Mittel: } 1 \text{ kg/qcm} = 7,67 \text{ mm.}$$

#### IV. Folgerungen über die Dampfverteilung und die Güte einer Dampfmaschine aus ihren Indikator-diagrammen.

Untenstehende Fig. 9 zeigt ein regelmäßiges Diagramm einer mit Expansion und Kondensation arbeitenden Dampfmaschine. Die mit 00 bezeichnete Linie ist die Vakuumlinie, während  $a-a$  die atmosphärische



oder äußere Luftdrucklinie darstellt. Die Ordinate  $b$  entspricht dem Drucke von 1 kg auf 1 qcm,  $a-1$  gibt die Größe für den Anfangszylinderdruck an, 1 bis 2 den Bereich des vollen Anfangsdruckes, bei 2 beginnt

die Expansion, bei 3 wird der Austrittskanal geöffnet und der Druck sinkt rasch bis zum Punkte 4, worauf der Kolben seinen Rücklauf unter einem Gegendrucke, der nahezu parallel zur Vakuumlinie ist,