

seite an dem summarischen Füllungsdampfverbrauch beteiligt ist; darüber gibt jedoch die vorstehende Untersuchung keinen Aufschluß. Gewöhnlich ist jedoch die Wirkungsweise des Dampfes zu beiden Cylinderseiten angenähert gleich, sodaß man durch Kombination der beiden Diagramme, indem man das Mittel der beiden schädlichen Räume, sowie die Hälfte der Cylinderfüllung per Umdrehung der Maschine als mittlere Füllung der Konstruktion dieses Diagrammes zu Grunde legt, praktisch vollkommen genügende Resultate erhält. Das in Fig. 45 § 83 skizzierte Diagramm ist auch ein in dieser Weise gezeichnetes Kombinationsdiagramm.

Die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes des Dampfes während der Expansion ist ein sehr wichtiger Teil der Untersuchung einer Dampfmaschine und die Resultate können nicht besser ersichtlich gemacht werden, als durch Darstellung der Sättigungskurve in ihrer Beziehung zur wirklichen Druck-Volumenkurve.

Bei Compoundmaschinen zeichnet man die Sättigungskurve entweder für jeden Cylinder extra oder man legt nach einer später zu beschreibenden Methode die Diagramme der einzelnen Cylinder zu einem kombinierten Diagramm zusammen, in welches sodann die vereinte Sättigungskurve eingezeichnet wird.

Diese Methode der Bestimmung des Wassergehaltes während der Expansion durch Vergleich des Sättigungsvolumen mit dem von der Arbeitssubstanz wirklich gefüllten Volumen beruht auf der Annahme, daß das bis Ende des Füllungshubes in den Cylinder gelangte Quantum an Arbeitssubstanz sich bis zu Beginn des Austrittes nicht ändert. Undichtigkeiten der Steuerorgane, des Kolbens etc. würden somit die Richtigkeit der Berechnung nachteilig beeinflussen.

**117. Wärmeaustausch zwischen Dampf und Metall.** Nachdem nunmehr das Verhältnis von Dampf und Wasser der Arbeitssubstanz während der Expansion derselben als bekannt angenommen werden kann, kann man zur Bestimmung jener Wärmemenge übergehen, welche vom Dampf an die Wandungen des Cylinders oder Kolbens abgegeben oder von diesen in irgend einem Stadium des Kolbenhubes aufgenommen wird.

Diese Wechselwirkung, auf welche zuerst Hirn aufmerksam machte, wurde in ihrer Beziehung zur Wirkungsweise des Dampfes im Cylinder durch seine Schüler und Nachfolger weiter entwickelt und auf Grundlage durchgeführter wissenschaftlicher Untersuchungen klargelegt\*).

\*) Siehe Dwelshauvers-Dery, „*Étude calorimétrique de la machine à vapeur*“. Ebenso Mair-Rumleys früher angeführten Bericht.

Es genügt, hier nur einen kurzen Auszug der Methode der Berechnung dieses Wärmeaustausches zu geben.

Es seien  $m$  und  $m'$  die in der Arbeitssubstanz während der Expansion oder Kompression vorhandenen Mengen trockenen Dampfes beziehungsweise Wassers. Ferner bezeichne  $I$  die innere Energie der ganzen Mischung; der Wert derselben für irgend ein Stadium der Zustandsänderung ist nach Gleichung 8 § 36

$$(m + m')h + m\varrho,$$

wobei  $\varrho$  die in § 36 erörterte Bedeutung besitzt. Nimmt man zwei beliebige Punkte der Expansions- oder Kompressionskurve an und berechnet man die diesen Punkten entsprechenden Werte von  $I$ , sie seien  $I_1$  und  $I_2$ , dann ist die zwischen diesen Punkten von dem Dampfe geleistete, oder bei Kompression auf ihn übertragene Arbeit bestimmt durch den Ausdruck

$$\int p dv,$$

worin  $p$  und  $v$  den wirklichen Druck und das tatsächliche Volumen der Mischung darstellen und das Integral zwischen den, den beiden gewählten Punkten entsprechenden Grenzwerten zu nehmen ist; diese geleistete beziehungsweise übertragene Arbeit sei  $W_{1.2}$ . Wenn  $W_{1.2} = I_1 - I_2$ , dann ist der Arbeitsprozeß adiabatisch, d. h. in diesem Falle wurde innerhalb der beiden Grenzpunkte weder Wärme von der Arbeitssubstanz an die Cylinderwandungen abgegeben noch von diesen aufgenommen. Gewöhnlich wird sich jedoch eine Differenz zwischen der geleisteten Arbeit und der Änderung der inneren Energie ergeben; diese Differenz ist das Maß des erfolgten Wärmeaustausches. Bezeichnet man die vier Momente einer Arbeitsperiode des Dampfes: Eintritt, Schluß der Füllung, Auslaß und Beginn der Kompression mit den Zeigern  $a, b, c$  und  $d$ , dann ist die während der Expansion von der Cylinderwand aufgenommene Wärme

$$Q_{bc} = W_{bc} - (I_b - I_c).$$

Ebenso ist die während der Kompression aufgenommene Wärmemenge

$$Q_{da} = W_{da} - (I_d - I_a),$$

worin die Werte von  $I$  sich auf die im schädlichen Raum eingeschlossene Arbeitssubstanz beziehen.  $W_{da}$  ist natürlich negativ. Diese Berechnung kann selbstverständlich auch auf jedes Stadium der einzelnen Arbeitsprozesse angewendet werden; wählt man eine Serie von naheliegenden Punkten, dann kann man eine Kurve verzeichnen, welche die Wärmeaufnahme oder -abgabe während einer Arbeitsperiode bildlich darstellt.

Während der Admission ändert sich die Menge der Mischung von Dampf und Wasser. Jene Menge derselben, welche mit Ende des Kolbenrücklaufes, bevor die Einströmung beginnt, im schädlichen Raume ein-



geschlossen ist, hat eine bestimmte innere Energie  $I_a$ . Der eintretende Dampf bringt die Energiemenge  $H_0$  mit sich, welche, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Füllungsdampfes bekannt ist, leicht berechnet werden kann, indem sich  $H_0$  aus der inneren Energie des Dampfes und dem ihm bei seinem Eintritte in den Cylinder innewohnenden Arbeitsvermögen  $\frac{p_0 v_0}{J}$  zusammensetzt ( $J = 426$  mkg). Die vom Dampf bis zum Momente des Füllungsschlusses geleistete Arbeit  $W_{ab}$  bestimmt sich aus dem Diagramm.

Die Wärmeübertragung während der Admissionsperiode beträgt daher

$$Q_{ab} = W_{ab} - (I_a - I_b + H_0);$$

diese Wärmemenge ist gewöhnlich negativ, nachdem in dieser Arbeitsperiode Wärme an die Cylinderwandung abgegeben wird.

Die Anwendung dieser Rechnungsmethode zur Bestimmung der während der Ausströmperiode der Cylinderwandung entzogenen Wärme ( $Q_{cd}$ ) begegnet insofern Schwierigkeiten, als der Feuchtigkeitsgehalt des Dampfes beim Austritt aus dem Cylinder nicht bekannt ist. Der Wert von  $Q_{cd}$  kann jedoch indirekt auf folgende Weise ermittelt werden. Es sei nach früher  $Q_{ab}$ ,  $Q_{bc}$  und  $Q_{da}$  die durch Wärmeaustausch zwischen Dampf und Metall übertragene Wärme während der Admission, Expansion, beziehungsweise Kompression; ferner  $Q_r$  der Wärmeverlust durch Ausstrahlung und  $Q_j$  die zusätzliche Wärme infolge der Kondensation des Dampfes im Mantel, alle Werte pro Kolbenhub gerechnet; dann wird, nachdem bei gleichmäßigem Gange der Maschine ein Ausgleich der Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe seitens der metallischen Wandungen stattfindet,

$$Q_{cd} = Q_j - Q_r - Q_{ab} - Q_{bc} - Q_{da}.$$

Diese, von den Wandungen während der Ausströmperiode abgegebene Wärmemenge  $Q_{cd}$  wird in den Arbeiten Hirns und seiner Schüler „le refroidissement au condenseur“ genannt und in gewissem Sinne als das Maß der schädlichen Wirkung der Wandungen bezeichnet. Es soll jedoch hierbei nicht übersehen werden, daß der Wärmeaustausch zwischen Dampf und Metall selbst in dem Falle von schädlichem Einflusse ist, wenn der Dampf bis Ende der Expansion trocken bleibt, in welchem Falle wohl keine Wärme von den Wandungen an den Dampf während der Ausströmung derselben abgegeben wird.

Jener Teil der Wärme, welcher während der Admission dem Dampf entzogen, jedoch noch vor Beginn des Austrittes an denselben zurückgegeben wurde, erscheint nicht in dem Ausdrucke  $Q_{cd}$ , trotzdem derselbe den Wirkungsgrad vermindert, weil diese Wärmemenge bei hoher Temperatur des Dampfes entzogen, hingegen bei niedriger Temperatur derselben zurückgeleitet wird. Diese Wirkungsweise erstreckt sich auch auf

den extremen Fall, daß der Dampf bei seinem Austritte noch so trocken ist, daß  $Q_{cd} = \text{Null}$  wird.

Statt der Methode von Hirn kann das Temperatur-Entropiediagramm zur Ermittlung und Darstellung der während der Expansion aufgespeicherten und abgeführten Wärme benutzt werden, wie bereits in § 84 Abschnitt V des näheren erörtert wurde.

**118. Bestimmung des mechanischen Wirkungsgrades. Messung der effektiven Arbeit.** Bei der Untersuchung auf den mechanischen Wirkungsgrad einer Kraftmaschine wird die Leistung derselben zur Überwindung künstlich erzeugter Reibung, oder anderer meßbarer Bewegungswiderstände, oder mit anderen Worten zur Betätigung eines Absorptionsdynamometers aufgezehrt.

Für Maschinen kleinerer Leistung eignet sich die in beistehender Fig. 62 skizzierte Bandbremse ihrer Einfachheit und bequemen Gebrauchsweise wegen am besten. Zwei oder mehrere durch einige Holzklötze parallel gehaltene Schnüre sind in der ange deuteten Weise um das Schwungrad der Maschine oder eine eigene Bremscheibe, falls für die Anbringung einer solchen genügend Platz vorhanden ist, geschlungen. Das schlaife Ende derselben ist mit einem Federdynamometer verbunden, während das andere Ende durch ein Gewicht  $T_1$  direkt oder durch Hebelübersetzung indirekt belastet wird. Die reibende Oberfläche soll etwas geschmiert werden, damit die Bremse ruhig und gleichmäßig arbeitet, und das Rad selbst durch Wasserkühlung kühl erhalten werden; es empfiehlt sich, an der inneren Fläche des Rades durch beiderseits vortretende Flanschen eine Rinne zu bilden, welcher kontinuierlich kaltes Wasser zufließt und den Kranz somit von innen nach außen kühlt.

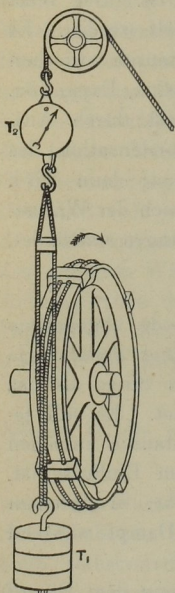


Fig. 62.

Der Reibungswiderstand wird durch Änderung des Gewichtes  $T_1$  reguliert. Unterhalb dieses Gewichtes ist eine Unterlage, auf welcher dasselbe aufsitzt, wenn die Bremse durch Nachlassen der in Fig. 62 nach oben führenden Schnur außer Funktion gesetzt wird; wird diese Schnur hingegen angezogen, dann hebt sich das Gewicht von der Unterlage ab und die Bremse kommt zur Wirkung. Während der Dauer des Bremsversuches muß der Zug  $T_2$  am Dynamometer von Zeit zu Zeit abgelesen werden.

Der effektive durch die Reibung hervorgerufene Widerstand am Umfange des Rades oder der Scheibe ist  $T_1 - T_2$  und die per Umdrehung