

240° bis 250° C mit drei unter 120° versetzten Kurbeln; die Umlaufzahl, normal 135 pro Minute, soll zwischen 120 und 150 geändert werden können. Die Cylinder haben folgende Abmessungen: 580 × 850 × 1400 mm Diameter bei 900 mm Hub (Volumsverhältnis 1 : 2,15 : 5,83) und werden auf der Hochdruckseite durch Riderkolbenschieber, auf der Mittel- und Niederdruckseite durch einfache Kolbenschieber beziehungsweise Corlißschieber gesteuert.

Die Diagramme sind bei 11,2 Atmosphären Eintrittsspannung, 69 cm Vakuum, 214° C Eintrittstemperatur und 122 Touren pro Minute aufgenommen; die summarische Leistung von 1174 PS<sub>i</sub> verteilt sich auf die drei Cylinder der Reihe nach mit 430, 324 und 420 PS<sub>i</sub>.

**129. Zusammenlegen der Indikator diagramme von Verbundmaschinen.**

Die Indikator diagramme von Verbundmaschinen können in einer Art und Weise kombiniert werden, daß Druck und Volumen der verschiedenen Cylinder durch Anwendung ein und derselben Skala für die Drücke, beziehungsweise für die Volumen sämtlicher Cylinder, in ihrer

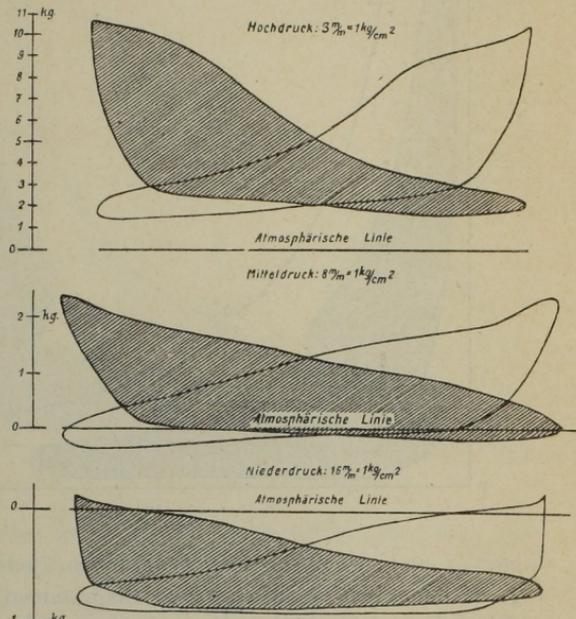


Fig. 74.

gegenseitig richtigen Beziehung im Diagramme zum Ausdruck gelangen; man nennt dies Verfahren das Zusammenlegen der Diagramme.

In Deutschland hat sich für das Zusammenlegen der Indikator diagramme in den letzten Jahren der Ausdruck „Rankinisieren“ eingebürgert, jedoch mit Unrecht, nachdem nicht Rankine, sondern Cowper die ersten zusammengelegten Diagramme veröffentlichte, auf welche Rankine erst etwa sechs Jahre später die Aufmerksamkeit lenkte. Der allgemeine Ausdruck „Zusammenlegen der Diagramme“ ist jedenfalls vorzuziehen und schon aus dem Grunde, weil man die von Rankine seinerzeit vorgeschriebene Methode der Zusammenlegung heutzutage einfach nicht mehr benützt.

Das Zusammenlegen erfordert insofern eine gewisse Sorgfalt, als man

die einzelnen Diagramme in ihrer gegenseitigen Lage in Richtung der  $x$ -Achse von verschiedenen Gesichtspunkten ausgehend, verschieden gruppieren kann; die Wahl der Konstruktion hängt eben von dem Zwecke ab, welchen man durch die Kombination erreichen will.

Die gewöhnliche Praxis ist die, jedes Diagramm um eine Distanz, welche dem schädlichen Raume des betreffenden Cylinders entspricht, von der Linie ohne Volumen entfernt, zu zeichnen. Dieses Verfahren ist durch Fig. 75 illustriert. Diese Abbildung ist eine Zusammenlegung der in § 106

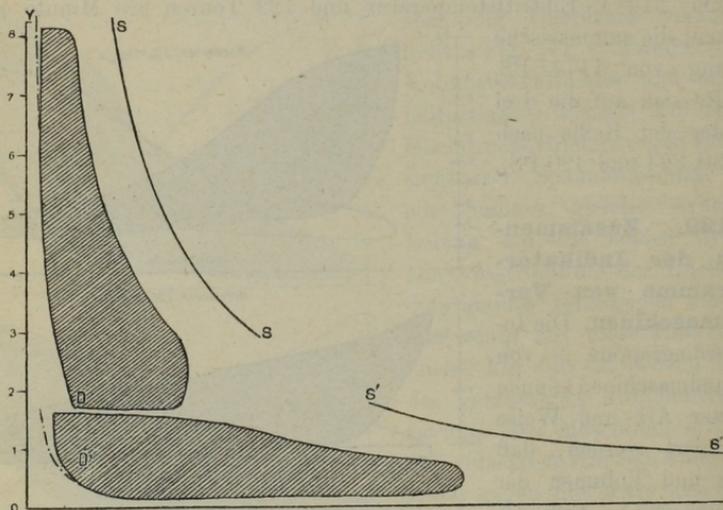


Fig. 75.

Figg. 55 und 56 skizzierten Diagramme; jedes der beiden Diagramme Fig. 75 bildet das Mittel aus den Diagrammen der beiden Cylinderseiten und die Entfernung jedes dieser beiden Diagramme von der Linie ohne Volumen  $OY$  entspricht dem Mittel aus den beiden schädlichen Räumen der korrespondierenden Cylinder.

Bei Konstruktion und Benützung von Diagrammen dieser Art darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß die Menge der Arbeitssubstanz, welche an der Expansion teilnimmt, in den beiden Teilen des kombinierten Diagrammes verschieden ist, daher eine einzige adiabatische oder mariottesche Linie als theoretische Expansionskurve oder eine einzige Sättigungskurve nicht beiden Teilen des zusammengelegten Diagrammes entsprechen kann. Die eingezeichnete Linie  $SS$  ist die Sättigungskurve für das erste, die Linie  $S'S'$  die Sättigungskurve für das zweite Stadium der Expansion.

In dem vorliegenden Beispiele war die Cylinderfüllung pro einfachen Hub  $0,0226$  kg, das Gewicht des im schädlichen Raume zurückgebliebenen

Dampfes 0,00335 kg im Hochdruck- und 0,0010 kg im Niederdruckzylinder. Die Sättigungskurven  $SS$  und  $S'S'$  sind daher für 0,02595 beziehungsweise 0,0236 kg gezeichnet.

Nachdem das kombinierte Diagramm die in den verschiedenen Zylindern geteilt auftretenden Arbeitsprozesse in einem einzigen Zylinder (von den Dimensionen des Niederdruckzylinders) vereint zur Darstellung bringt, ist auch die in den aufeinander folgenden Stadien in diesem Zylinder vorhandene Dampf-

menge im allgemeinen nicht konstant, nachdem der Betrag an schädlichem Raumdampfe in den einzelnen Zylindern im allgemeinen verschieden ist; der Betrag an Füllungsdampf erfährt jedoch während des ganzen Prozesses keine Änderung. Wenn man daher den schädlichen

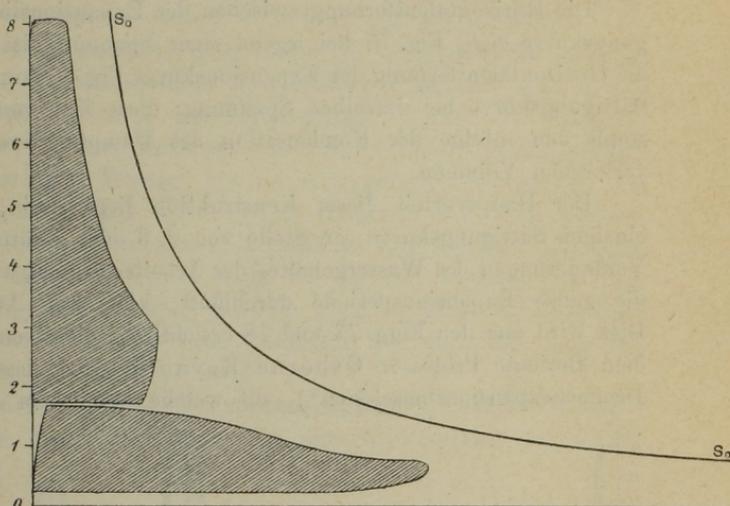


Fig. 76.

Raumdampf bei Entwurf des kombinierten Diagrammes eliminiert, also nur mit dem Füllungsdampfe allein arbeitet, dann wird eine einzige Sättigungskurve für die ganze Expansion dienen können.

Nach diesem Verfahren ist Fig. 76 unter Zugrundelegung derselben Diagramme, welche in Fig. 75 zusammengelegt wurden, entworfen.

Von den Punkten  $D$  und  $D'$  Fig. 75, in welchen Beginn der Compression beziehungsweise Schluß der Ausströmung angenommen werden kann, werden für den schädlichen Raumdampf des betreffenden Zylinders Sättigungskurven gezogen; diese Kurven sind durch die strichpunktierten Linien der Fig. 75 angedeutet; die dem Hochdruckzylinder entsprechende Kurve hebt sich von der Kompressionslinie des Indikatordiagrammes kaum ab. Die Diagramme sind sodann, wie in Fig. 70 angedeutet, zurückgezeichnet, indem man die horizontalen Abstände zwischen diesen Sättigungskurven und den Volumkurven als Abscissen aufträgt oder mit anderen Worten, von dem wirklichen oder wirksamen jeweiligen Volumen jenes korrespondierende Volumen des schädlichen Raumdampfes abzieht,

welches derselbe einnehmen würde, wenn er bei allen Spannungen gesättigt wäre. Die Diagrammfläche bleibt hierdurch unbeeinflusst und bildet nach wie vor ein getreues Maß der geleisteten Arbeit. Die in das Diagramm für eine Dampfmenge gleich der Cylinderfüllung eingezeichnete kontinuierliche Sättigungskurve  $S_0S_0$  korrespondiert nun mit beiden, beziehungsweise für mehrstufige Expansion mit allen Expansionsstadien der Verbundexpansion.

Die Horizontalentfernung zwischen der Expansionslinie und der Sättigungskurve  $S_0S_0$  Fig. 76 bei irgend einer Spannung ist die gleiche, wie die Horizontalentfernung der Expansionskurve Fig. 75 von der zugehörigen Sättigungskurve bei derselben Spannung; diese Entfernungen entsprechen somit den infolge der Kondensation des Dampfes verschwundenen oder verlorenen Volumen.

Der Hauptvorteil dieser Konstruktion liegt darin, daß infolge der einzigen Sättigungskurve (an Stelle von 2, 3 oder 4 Sättigungskurven) die Veränderungen des Wassergehaltes der Arbeitssubstanz, während der Dampf die ganze Expansionsperiode durchläuft, klar zum Ausdrucke gelangt. Dies wird aus den Figg. 77 und 78 ersichtlich; dieselben sind Kopien aus dem Berichte Professor Osborne Reynolds über dessen Versuche mit Dreifachexpansionsmaschinen\*), auf welche bereits im Abschnitt V § 98

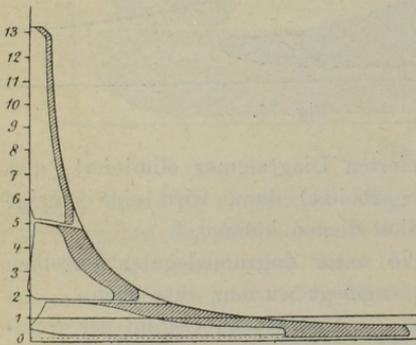


Fig. 77.

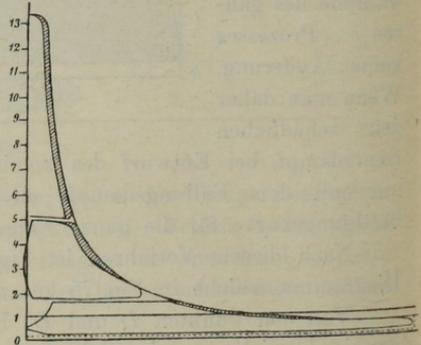


Fig. 78.

hingewiesen wurde. In diesen Diagrammen erscheint der schädliche Raumdampf in oben beschriebener Weise eliminiert und die Sättigungskurve nur nach dem Füllungsdampf eingezeichnet; die horizontale Erstreckung der schraffierten Fläche zwischen dieser Kurve und der wirklichen Expansionslinie bildet das Maß des in jedem beliebigen Punkte der Expansion vorhandenen Wassers. Fig. 77 bezieht sich auf einen Versuch ohne

\*) *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. XC.

Dampf im Heizmantel, während Fig. 78 einem Versuche angehört, bei welchem alle Mäntel mit Dampf von der vollen Kesselspannung pro 13 kg/qcm geheizt waren. Der trocknende Einfluß der Heizung ist auffallend; in Fig. 78 ist im Niederdruckcylinder eine Kondensation kaum zu erkennen.

Diese Diagramme beziehen sich auf eine für Versuchszwecke gebaute Maschine, in welcher sich die drei Kolben mit verschiedener Geschwindigkeit unabhängig voneinander bewegen konnten und auch tatsächlich bewegten; um diese Diagramme zusammenlegen zu können, wurde an Stelle des gewöhnlichen Volummaßstabes ein Maßstab angenommen, dessen Unterabteilungen das Volumen pro Gewichtseinheit (1 kg) des Füllungsdampfes darstellen; in dem Maße als die Gewichtseinheit Füllungsdampf (also die Gewichtseinheit Wasser) die Maschine passiert, ändert sich mit abnehmender Spannung auch das Volumen derselben und diese Volumszunahme ist in dem in Rede stehenden Maßstabe zum Ausdruck gebracht. Es ist dies eine Methode, welche nicht nur in dem vorliegenden Falle ungleicher Kolbengeschwindigkeit, sondern auch in jedem anderen Falle mit Vorteil verwendet werden kann, nachdem hierdurch der Vergleich verschiedener Versuche erleichtert wird.

Als ein zusätzliches Beispiel eines zusammengelegten Verbund-Indikator-

diagrammes diene Fig. 79. Dasselbe ist eine Kombination der bereits früher, in § 98

Fig. 47 und 48

skizzierten Dia-

gramme aus der

mit einer Zwei-

cylindercom-

poundmaschine

von 430 be-

ziehungsweise 860

mm Cylinder-

durchmesser bei

1524 mm Hub

durchgeführten

Versuchsreihe.

Diese Maschine

arbeitete mit ge-

ringerer Umlauf-

zahl (34 pro Mi-

minute) und Mantel-

heizung beider Cy-

linder sowie des Receivers; die Kondensation in den Cylindern war daher viel geringer als in dem Falle Fig. 75.

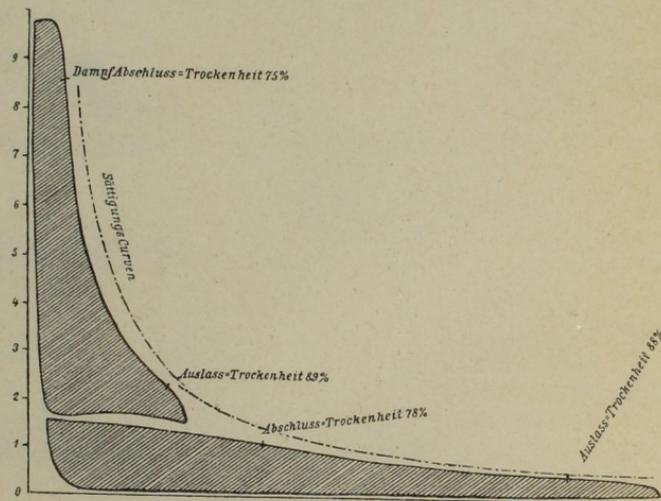


Fig. 79.

Die Diagramme sind hier wie in Fig. 75 um den schädlichen Raum versetzt gezeichnet und die beiden Sättigungskurven eingetragen. Der schädliche Raum betrug im Mittel 0,0073 cbm im Hochdruck- und 0,0235 cbm im Niederdruckcylinder.

Bezeichne  $L_i$  den Flächeninhalt des Indikatordiagrammes,  $L_t$  jenen des theoretischen Spannungsdiagrammes, dann wird der Koeffizient

$$\beta = \frac{L_i}{L_t}$$

die „Völligkeit“ des theoretischen Spannungsdiagrammes genannt; dieser Koeffizient gibt somit den Bruchteil der aus dem Speisewassergewichte des Dampfes theoretisch erhältlichen Arbeit an, welche, nach Abzug der Wärmeverluste infolge Abkühlung in der Rohrleitung, anfänglicher innerer Kondensation im Cylinder, sowie durch Undichtheiten im Cylinder wirklich geleistet wird. Der Wert von  $\beta$  ist ziemlich elastisch, indem er von den Annahmen abhängt, welche der Konstruktion des theoretischen Spannungsdiagrammes zugrunde gelegt wurden. Im übrigen sei auf die Behandlung dieses Gegenstandes in Abschnitt V hingewiesen.