

	Cylinder-Durchm. in mm	Volums-Verh.	Anfangssp. in Atm.
150 PS; Tandemverbundmaschine	325/500	1/2,36	$p = 9$
150 „ Zweikurbel- „	360/550	1/2,33	$p = 10$
240 „ „ „	370/600	1/2,6	$p = 10$
350 „ Zwillingsstandemverbundmaschine	280/450	1/2,56	$p = 11$
750 „ Tandemverbundmaschine	525/875	1/2,8	$p = 11$
1200 „ Zweikurbelverbundmaschine	725/1150	1/2,5	$p = 9$
1500 „ „ „	865/1350	1/2,4	$p = 11$

Sämtliche Maschinen sind für die Verwendung überhitzten Dampfes eingerichtet, beziehungsweise stehen mit überhitztem, teilweise hoch überhitztem Dampf in Betrieb.

Teilt man die Expansion in drei Teile, dann ist es zweckmäßiger, mit wesentlich höheren Spannungen als die erstgenannte zu arbeiten; man benützt zumeist Spannungen von 11 bis 12 kg/qcm Überdruck und geht auch bei Verwendung überhitzten Dampfes nicht gern über diese Grenze hinaus. Die zwischenliegenden Spannungen (8 bis 11 kg/qcm) sind bei Verwendung gesättigten Dampfes weniger gebräuchlich; sie sind zu hoch für die zweistufige Expansion und zu niedrig, um den Nutzen der dreistufigen Expansion zur vollen Wirkung gelangen zu lassen. Vierfache Expansion bietet, wenn überhaupt, nur geringe Vorteile, wenn die Spannung unter 13 bis 14 kg/qcm bleibt; bis zu dieser Spannung und selbst über diese hinaus ist der thermodynamische Gewinn infolge der vierten Expansionsstufe kaum ausreichend, um die maschinelle Komplikation und deren Nachteile zu rechtfertigen; auch sind so hohe Spannungen von 14 und 15 Atm. Überdruck mit den bekannten gewöhnlichen Kesselsystemen nicht leicht zu überschreiten; die Vierfachexpansionsmaschine kommt daher wohl nur ausnahmsweise zur Anwendung. Für Schiffszwecke wurden wohl in neuerer Zeit Wasseröhrenkessel eingeführt für Dampfspannungen von 17 bis 20 Atm., aber selbst auf diesem Verwendungsgebiete zieht man derzeit dreifache der vierfachen Expansion vor.

127. Mechanische Vorteile der Verbundexpansion. Wenn eine gewöhnliche Eincylindermaschine mit hoher Dampfspannung und kleiner Füllung arbeitet, dann wird der Kolbendruck während der ersten Hubperiode sehr groß im Vergleiche mit dem mittleren Kolbendruck; es ist dies vom mechanischen Standpunkte betrachtet eine Schattenseite der Eincylindermaschine. Der Anfangsdruck des Dampfes wirkt gegen die volle Kolbenfläche, deren Größe nach dem mittleren Dampfdrucke berechnet ist. Die Kolben- und Schubstange, das Maschinenbett und andere Teile müssen diesem großen Anfangsdrucke entsprechend genügend stark gebaut sein; außerdem sind die in den Gelenken und Zapfen auftretenden Zug-

und Druckspannungen sehr bedeutend und ist zur Erzielung eines gleichmäßigen Ganges ein verhältnismäßig großes Schwungrad erforderlich.

Eine Verbundmaschine, welche bei gleicher Leistung mit demselben Anfangsdrucke und dem gleichen Expansionsverhältnis wie eine Eincylindermaschine arbeitet, vermeidet jedoch die sehr veränderliche, innerhalb weiter Grenzen schwankende Belastung des Gestänges etc. Würde die ganze Expansion im Niederdruckcylinder allein stattfinden, dann wäre der Kolben desselben zu Beginn des Hubes einer Belastung unterworfen, größer als die summarische Belastung beider Kolben einer gleich leistungsfähigen Verbundmaschine; so ergibt z. B. in der Tandemmaschine, Diagramm Fig. 67, die größte Summe der Drücke auf die beiden Kolben etwas weniger als $\frac{2}{3}$ jenes Druckes, welchem der große Kolben allein ausgesetzt sein würde, wenn die Maschine eincylindrig wäre. Der mittlere Druck während des ganzen Kolbenhubes wird selbstverständlich durch die Verbundwirkung nicht beeinflusst; nur die Veränderlichkeit des Druckes wird vermindert.

Die Anstrengung der Kurbelwelle wird infolgedessen viel gleichmäßiger, die Belastung der einzelnen Teile der Maschine geringer, die Reibung und Abnutzung der sich gegenseitig berührenden Teile des Gestänges wesentlich vermindert. Die mechanischen Vorteile der Verbundarbeit kommen jedoch bei Verbundmaschinen mit nebeneinander liegenden Cylindern und um 90° versetzten Kurbeln weit mehr zur Geltung als bei Tandemmaschinen.

Die Verbundanordnung hat allerdings im Vergleiche mit der Eincylindermaschine den Nachteil, eine größere Anzahl bewegter Teile zu besitzen, allein in vielen Fällen, namentlich bei Schiffsmaschinen, sind zwei Cylinder und zwei Kurbeln unentbehrlich, um eine gleichmäßigere Belastung einerseits und ein direktes Anspringen der Maschine andererseits erreichen zu können; es bleibt in solchen Fällen nur die Wahl offen zwischen der Zwillingsmaschine und der Zweikurbelcompoundmaschine. Die Compoundmaschine bietet auch den weiteren Vorteil, daß trotz des großen Expansionsverhältnisses kleine Füllungen in den einzelnen Cylindern nicht erforderlich sind; daher einfache Steuerungen, welche für kleine Füllungen nicht geeignet sind, namentlich Einschiebersteuerungen, hier vorteilhaft verwendet werden können.

Die mechanischen Vorteile der Verbundexpansionen wurden früher erkannt als die Wärmeökonomie derselben und trugen somit in erster Linie dazu bei, der Compoundmaschine Eingang zu verschaffen; erst nachdem die Praxis den Weg zur Benützung genügend hoher Dampfspannungen geebnet hatte, traten die ökonomischen Vorteile der geteilten Expansion in den Vordergrund.

Abgesehen von der erhöhten Ökonomie des Betriebes waren es gerade

die mechanischen Vorteile der Dreifachexpansionsmaschine, welche derselben speziell als Schiffsmaschine so rasch Eingang verschafften; die Vorteile der dreifachen Kurbel im Vergleiche mit der zweifachen hinsichtlich der gleichmäßigen Druckverteilung und verhältnismäßig geringen Reibung und Abnützung sind so bedeutend, daß die Triplexmaschine mit drei unter 120° versetzten Kurbeln derzeit bei größeren Schiffsmaschinen fast ausschließlich verwendet wird.

128. Beispiele von Verbundmaschinen-Indikatordiagrammen.

Fig. 71 zeigt das Diagrammpaar einer Woolfschen Maschine, in welcher

der Dampf auf dem direktesten Wege vom Hochdruck- in den Niederdruckeylinder gelangte. Beide Kolben haben denselben Hub; die Diagramme sind für denselben Hubmaßstab, daher für verschiedene Volumenmaßstäbe ge-

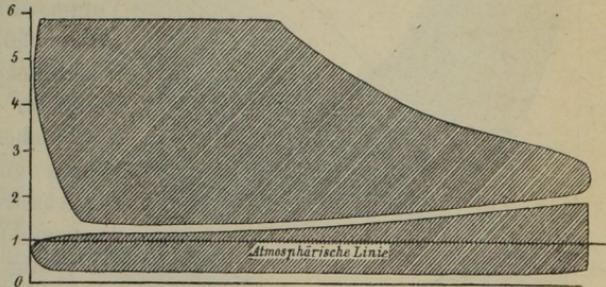


Fig. 71.

zeichnet und außerdem ist das Niederdruckdiagramm umgekehrt gestellt, also in den Raum unterhalb des Hochdruckdiagrammes eingepaßt. Das

Diagramm zeigt einen geringen Spannungsabfall beim Austritt aus dem Hochdruckeylinder, außerdem liegt infolge von Übergangsreibungen des Dampfes die Admissionslinie des Niederdruckdiagrammes etwas tiefer als die Ausströmlinie des kleinen Cylinders. Der Eintritt des Dampfes findet nahezu auf die Erstreckung des vollen Hubes statt und endet erst bei Beginn

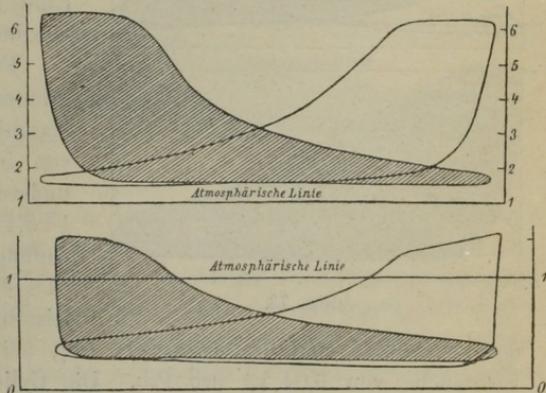


Fig. 72.

der Kompression im Hochdruckeylinder. Der im großen Cylinder befindliche Dampf expandiert dann durch die kleine Strecke bis Eröffnung des Auslaßorganes.