

von renommierten Fabriken gebauter Betriebsanlagen. Das Gesamtexpansionsverhältnis schwankt zwischen 15 bis 20 und darüber.

Man kann annehmen, daß bei Kesselspannungen innerhalb der angeführten Grenzwerte (Kesselspannungen unter 10 und über 13 Atm. Überdruck bilden bei Dreifachexpansionsmaschinen wohl nur Ausnahmefälle; 11 bis 12 Atm. sind die gebräuchlichsten Werte) das Hubvolumen des Niederdruckzylinders bei Landdampfmaschinen das fünf- bis sechsfache, bei Schiffsmaschinen das sechs- bis siebenfache des Hubvolumens des Hochdruckzylinders beträgt, während das Hubvolumen des Mitteldruckzylinders gewöhnlich gleich dem $2\frac{1}{4}$ - bis $2\frac{3}{4}$ -fachen Volumen desselben angenommen wird.

Man findet vielfach noch ältere Zweicylindercompoundmaschinen mit Kesselspannungen von 5 bis 6 Atm. Überdruck; der große Cylinder besitzt das drei- bis vierfache Volumen des kleinen Cylinders bei einer etwa 12-fachen Gesamtexpansion. Bei dem Volumsverhältnisse 3:1 werden die Bedingungen gleicher Arbeitsverteilung und geringen Spannungsabfalles bei ungefähr $\frac{1}{4}$ Füllung des Hochdruck- und $\frac{1}{6}$ Füllung des Niederdruckzylinders erreicht. Indikatordiagramm Fig. 70 entspricht dieser Voraussetzung.

Ist der Hochdruckzylinder verhältnismäßig kleiner, dann muß dessen Füllung vergrößert werden und umgekehrt.

126. Vorteil der Compoundexpansion durch ökonomische Ausnützung hochgespannten Dampfes. Die thermodynamischen Vorteile der Compoundexpansion wurden bereits in § 93 beleuchtet. Die Compoundexpansion gestattet die Verarbeitung hochgespannten Dampfes, ohne jene enormen Wärmeverluste, welche eine so hoch gehende Expansion in einer Einzylindermaschine zur Folge hätte, befürchten zu müssen.

So lange die Kesselspannung bei Verwendung gesättigten Dampfes 8 Atm. nicht wesentlich übersteigt, wird dieser Vorteil durch Zweiteilung der Expansion vollkommen erreicht; die zweistufige Expansion wird daher gewöhnlich für Spannungen bis 8 Atm. Überdruck, seltener für höhere Spannungen benützt; bei Verwendung überhitzten Dampfes geht man jedoch, wie zahlreiche neuere Ausführungen zeigen, aus ökonomischen Gründen mit der Spannung auf 9 und 10 Atm. hinauf. Als Beispiele seien unter anderen erwähnt die durch die Berichte der *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, Jhrg. 1900 und 1901 veröffentlichten Dampfmaschinen der Pariser Weltausstellung 1900 und anderer moderner Betriebsanlagen mit zwei- und dreistufiger Expansion. Des Interesses wegen seien von einigen Zweicylinderverbundmaschinen die hier in Betracht kommenden Zahlenwerte angeführt:

	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-