

Eine gleichartige Rechnung\*) für eine Compoundmaschine mit unter  $90^\circ$  versetzten Kurbeln durchgeführt, bei welcher der Dampfabschluß im Niederdruckcylinder vor halbem Hube stattfindet, zeigt, daß ein Spannungsabfall vermieden werden kann, wenn der Bedingung Genüge geleistet wird, daß

$$2R(xL - 1) = 1 - 2\sqrt{x(1-x)}.$$

Die Kombination zweier Hochdruckcylinder mit einem gemeinschaftlichen Receiver, sowie zweier Niederdruckcylinder mit einem Receiver, beziehungsweise einem oder zwei Hochdruckcylindern wird in vielen Fällen für Großleistungen mit Vorteil verwendet. Bei diesen kombinierten Anordnungen kann der Druck im Aufnehmer viel leichter konstant oder doch nahezu konstant erhalten werden, als bei der gewöhnlichen Anordnung mit zwei Cylindern\*\*).

**125. Verhältnis des Cylindervolumens.** Aus der gegebenen Maschinenleistung, der angenommenen Kolbengeschwindigkeit und Kesselspannung, sowie dem gewählten totalen Expansionsverhältnisse bestimmt sich die Größe des Niederdruckcylinders; die Größe des Hochdruckcylinders ist noch, durch andere Rücksichten bedingt, dem freien Ermessen überlassen; wenn das totale Expansionsverhältnis  $r$  ist, dann kann man irgend ein Verhältnis  $L$  kleiner als  $r$  für das Volumverhältnis des Niederdruck- und Hochdruckcylinders wählen. Damit das Endvolumen des Dampfes, wenn derselbe den ganzen Niederdruckcylinder füllt, das  $r$ -fache seines Anfangsvolumens (Volumen des Hochdruckcylinders mit Ende der Füllung) sei, muß der Dampfabschluß im kleinen Cylinder bei dem Bruchteile  $\frac{L}{r}$  seines Kolbenhubes erfolgen. Es kann daher bei gleichbleibendem Cylindervolumsverhältnis  $L$ , durch früheren oder späteren Dampfabschluß im Hochdruckcylinder, also durch kleinere oder größere Füllung desselben, jedes beliebige gewünschte totale Expansionsverhältnis  $r$  erreicht werden.

Andererseits kann man, wie oben begründet, durch entsprechende Wahl des Füllungsverhältnisses des Niederdruckcylinders, unabhängig von

\*) Rechnungsbeispiele dieser Art, für verschiedene Anordnungen von Zwei- und Dreifachexpansionsmaschinen durchgeführt, finden sich in dem Anhange zu R. Sennetts „*Treatise on the Marine Steam-Engine*“.

\*\*\*) Eine ausführliche Abhandlung über diesen Gegenstand siehe „*Methode der graphischen Behandlung mehrcylindriger Dampfmaschinen*“ von Prof. M. Schröter, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Jhrg. 1884, S. 191; eine für die Praxis bequemere Lösung dieser Aufgabe siehe „*Die graphische Berechnung mehrcylindriger Dampfmaschinen*“ von J. Illeck, ebenda, Jhrg. 1899, S. 14. Ferner „*Die Mittel zur Erzielung des gewünschten Diagrammverlaufes bei der Konstruktion des Diagrammes einer Verbunddampfmaschine*“ von H. Lynen, ebenda, Jhrg. 1899, S. 488.

der Größe der Cylinder, gleiche Arbeitsaufteilung auf dieselben erzielen; um jedoch mit der gleichmäßigen Verteilung der Arbeit auf beide Cylinder auch einen Spannungsabfall möglichst zu vermeiden, oder umgekehrt, um durch Vermeidung eines Spannungsabfalles das Arbeitsgleichgewicht nicht ernstlich zu stören, ist es notwendig, auch eine passende Annahme hinsichtlich der Volumsverhältnisse zu treffen.

Diese Betrachtungen bilden daher die Grundlage für die Ermittlung eines den verschiedenen Anforderungen tunlichst gerecht werdenden Volumsverhältnisses; eine bestimmte, feststehende Regel gibt es hierfür nicht; eine genaue Ausgleichung der Arbeit ist nicht von Wesenheit und der vollständige Mangel eines Spannungsabfalles ist nicht einmal wünschenswert, denn dieselben praktischen Gründe, welche gegen die vollständige Expansion bei einer Eincylindermaschine sprechen, kommen auch bei der Compoundmaschine zur Geltung: ohne kleinen Spannungsabfall wäre der letzte Teil des Kolbenhubes des Hochdruckeylinders ineffektlos.

Ein Spannungsabfall einer Compoundmaschine ist schon aus dem Grunde nicht ängstlich zu beurteilen, da die bei dem Überströmen in den Receiver sich vollziehende Expansion dazu dient, den Dampf zu trocknen, in extremen Fällen sogar zu überhitzen.

In einzelnen Fällen, namentlich bei Schiffsmaschinen, wendet man absichtlich kleine Cylinderfüllungen nicht an, um einerseits möglichst einfache Konstruktionen der Steuerorgane zu erhalten und andererseits unnötig hohe Pressungen im Gestänge zu vermeiden; es führt dies selbstverständlich zu einem größeren Spannungsabfall, als sonst ökonomisch wäre. Die praktische Wahl des Volumsverhältnisses bildet somit bis zu einer gewissen Grenze einen Ausgleich zwischen Bedingungen, die gegenseitig mehr oder weniger unvereinbar sind; die an den verschiedensten Maschinen zu beobachtenden Volumsverhältnisse bestätigen diese Tatsache und zeigen, daß selbst für Maschinen, welche unter sonst gleichen Voraussetzungen arbeiten, von verschiedenen Konstrukteuren verschiedene Verhältnisse gewählt werden.

Bei Zweicylindercompoundmaschinen und Kesselspannungen von 8 bis 10 kg/qcm Überdruck kann als heutiger Mittelwert für das Volumsverhältnis der beiden Cylinder 1:2,5 bei 10- bis 12-facher Expansion angenommen werden; aus einer Reihe neuerer, im Laufe der letzten Jahre ausgeführter Maschinen ergab sich 1:2,3 als kleinstes und 1:2,8 als größtes Volumsverhältnis. Drei- und viercylindege Dreifachexpansionsmaschinen werden heutzutage bei Kesselspannungsüberdruck von 10 bis 13 kg/qcm mit einem Volumsverhältnisse gebaut, welches zwischen den Grenzwerten 1:2,0:4,5 und 1:2,6:7 liegt; als Durchschnittswert ergibt sich das Verhältnis 1:2,35:5,75 aus einer größeren Anzahl moderner,

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: