

Konstruktionen von Compoundheißdampfmaschinen durchgeführten Versuche haben die aus nachstehender Zusammenstellung ersichtlichen Durchschnittsergebnisse ergeben.

Leistung der Maschine in PS . . . . .	200	200	120	100	100	70	60
Dampf Temperatur beim Eintritt in den Cylinder in C° . . . . .	328	346	350	337	360	350	318
Dampfverbrauch pro PS;-Stunde in kg. .	4,87	4,48	4,44	5,05	4,91	4,71	5,85
entsprechend Wärmeinheiten . . . . .	3580	3330	3300	3730	3650	3500	4280

Sämtliche Werte, mit Ausnahme jenes der 60 PS-Maschine, blieben bedeutend unter der oben für Verbundmaschinen mit gesättigtem Dampf als Minimalgrenze angegebenen Verbrauchsziffern.

Nach allen bis heute vorliegenden Versuchs- und Betriebsresultaten steht die dampfersparende Wirkung der Verwendung hochüberhitzten Dampfes außer allem Zweifel; die Frage der Ökonomie des Betriebes wird jedoch auch durch andere Faktoren, als Anschaffungs- und Erhaltungskosten der Überhitzer, vermehrter Brennstoffverbrauch mit Rücksicht auf die Überhitzung, erhöhter Verbrauch an Schmieröl und erhöhte Ausstrahlungsverluste in der Dampfleitung\*) wesentlich beeinflusst. Bei Großmaschinen mehrstufiger Expansion kann nach den bis heute vorliegenden Erfahrungen durch Überhitzung auf mindestens 300° C eine Erhöhung der Betriebsökonomie von 6 bis 10 Prozent gegenüber der Verwendung gesättigten Dampfes erzielt werden; bei kleineren Anlagen mit nur zweistufiger Expansion oder bei Einfachexpansionsmaschinen ist die Erhöhung der Ökonomie entsprechend den vorhin gegebenen Versuchsergebnissen höher und erreicht nicht selten 25 Prozent und darüber.

**93. Vorteil der Compoundexpansion.** Das wichtigste der gebräuchlichen Mittel, die Cylinderkondensation soweit als möglich zu vermindern, ist die Compoundexpansion. Wären die Dampfzylinder vollkommen wärmedichte Gefäße, dann würde es vom thermodynamischen Standpunkte gleichgiltig sein, ob die Expansion in einem einzigen Cylinder oder geteilt in zwei oder mehreren Cylindern stufenweise erfolgt, vorausgesetzt, daß durch den Übergang des Dampfes von einem Cylinder

\*) Die Rohrleitung spielt für den wirtschaftlichen Betrieb einer Heißdampfmaschine eine nicht unwesentliche Rolle. Die Durchmesser der Dampfleitungen gewöhnlicher Maschinen rechnet man bekanntlich unter Zugrundelegung der mittleren Kolbengeschwindigkeit und einer Dampfgeschwindigkeit von 30 m; diese Formel gibt verhältnismäßig weite Leitungen, daher große Abkühlungsflächen, welche für Heißdampf unrationell sind. Man macht daher die Leitungen der Heißdampfmaschinen von kleinerem Durchmesser, so daß die Fläche nur ca.  $\frac{1}{2}$  jener gewöhnlicher Leitungen wird; die geringe dadurch hervorgerufene Drosselung schadet nicht.

in einen anderen die Expansion nicht nachteilig beeinflußt wird. In Wirklichkeit hat, durch die baulichen und andere Verhältnisse bedingt, dieser Übergang des Dampfes während der Expansion immer einen Spannungsabfall zur Folge; der dadurch herbeigeführte Verlust ist jedoch stets wesentlich geringer als der Arbeitsgewinn infolge des verminderten Einflusses der Cylinderwandungen.

Die Aufteilung der Expansion auf zwei oder mehrere Cylinder vermindert das Temperaturgefälle, daher auch die Temperaturdifferenz in den metallenen Wandungen der einzelnen Cylinder; aus diesem Grunde ist auch der Betrag der anfänglichen Kondensation im Hochdruckcylinder einer Compoundmaschine geringer, als wenn die Admission direkt im Niederdruckcylinder erfolgen und die ganze Expansion sich in demselben vollziehen würde; auch verrichtet der im ersten Cylinder während der Ausströmung durch Wiederverdampfen gebildete Dampf Arbeit im zweiten Cylinder u. s. f. und nur jene Dampfmenge, welche sich während der Ausströmung im letzten Cylinder durch Wiederverdampfen bildet, geht für die Leistung der Maschine gänzlich verloren.

Der Vorteil der mehrstufigen Expansion gegenüber der in nur einem Cylinder innerhalb derselben Temperaturgrenzen sich vollziehenden Expansion läßt sich schwer durch Rechnung bestimmen, wenngleich, wie die Erfahrung lehrt, auf einen gewissen Gewinn an Wärme beziehungsweise Arbeit mit Sicherheit geschlossen werden kann; denn wenn man eine Compoundmaschine zuerst mit Compoundexpansion und dann unter Ausschaltung des Hochdruckcylinders mit dem gleichen totalen Expansionsverhältnisse im Niederdruckcylinder allein arbeiten läßt, so findet man, daß im letzteren Falle pro PS-Stunde mehr Dampf erforderlich ist als im ersteren Falle.

Mit der Maschine des amerikanischen Dampfers „Bache“ wurden in diesem Sinne Versuche mit Compound- und Einfachexpansion durchgeführt; im ersteren Falle brauchte dieselbe 20 Pfund (8,9 kg), im letzteren Falle 24 Pfund (10,7 kg) Dampf pro PS<sub>1</sub>-Stunde bei derselben Kesselspannung, derselben totalen Expansion und Mantelheizung in beiden Fällen. Die von Prof. Unwin durchgeführten Versuche, auf welche bereits in Tabelle VIII hingewiesen wurde, ergaben bei einer Maschine 21 Pfund (9,4 kg) mit Compoundexpansion und 32 Pfund (14,3 kg) pro PS<sub>1</sub>-Stunde, wenn der Niederdruckcylinder allein, jedoch ohne Mantelheizung, benutzt wurde; mit Dampf im Mantel war die Differenz selbstverständlich kleiner, weil hierdurch die übermäßige Kondensation im Cylinder reduziert wurde. Ähnliche Resultate wurden auch bei anderen Versuchen gefunden.

Mit dem Vorteile der Verminderung der Kondensationsverluste durch Compoundexpansion geht der Vorteil gleichzeitiger Erhöhung der Dampf-

spannung Hand in Hand, denn die Verwendung hochgespannten Dampfes in Eincylindermaschinen wäre mit außerordentlichen Wärmeverlusten infolge der großen Temperaturunterschiede, welchen die metallenen Wandungen bei jedem Hube unterworfen sind, verbunden; Compoundexpansion ist daher eine notwendige Folge der Erhöhung der Dampfspannung. So lange die Dampfspannung 7 kg/qcm nicht wesentlich überschreitet, genügt die Teilung des Temperaturgefälles in zwei Teile, also die Anwendung der zweicylindrigen Compoundmaschine; für wesentlich höhere Spannungen, welche heutzutage bei größeren Landdampfmaschinen und in erster Linie bei den Schiffsmaschinen fast allgemein verwendet werden, genügt die zweifache Expansion nicht mehr und sind Dreifachexpansionsmaschinen allgemein, in einzelnen Fällen auch Vierfachexpansionsmaschinen in Anwendung. Bei Zweicylindercompoundmaschinen beträgt das Temperaturgefälle pro Cylinder zumeist  $50^{\circ}$  bis  $55^{\circ}$  C; bei Dreifachexpansionsmaschinen hingegen, je nach der Eintrittspannung im Hochdruckcylinder,  $40^{\circ}$  bis  $45^{\circ}$  C pro Expansionsstufe; bei Vierfachexpansionsmaschinen  $32^{\circ}$  bis  $35^{\circ}$  C.

Der Vorteil der dreistufigen Expansion steht außer Frage; ob jedoch selbst bei den heutigen Maximalspannungen von 15 bis 16 kg/qcm Überdruck die Vorteile der vierfachen Expansion die mit den höheren Gestehungskosten und der größeren Kompliziertheit der Maschine verbundenen Nachteile überwiegen, ist zweifelhaft und kann nur fallweise beurteilt werden.

**94. Zusammenfassung der Verlustquellen.** In den vorhergehenden Abschnitten wurden die Ursachen erörtert, welche zur Folge haben, daß die wirkliche Leistung einer Dampfmaschine hinter jener Leistung zurückbleibt, welche erreicht werden könnte, wenn sich der Dampf in jeder Beziehung dem idealen Kreisprozesse § 46 anpassen würde.

Diese Verlustquellen seien hier der Übersicht und des Zusammenhanges wegen nochmals in Kürze zusammengefaßt.

1. Drosselung während der Ein- und Ausströmung.
2. Unvollständige Expansion bei Beginn des Austrittes.
3. Unvollständige Kompression, daher Verluste infolge des schädlichen Raumes.
4. Kondensation des Dampfes während der Admission und Kompression verbunden mit Wiederverdampfung während der Expansion und Ausströmung, hervorgerufen durch den Einfluß der metallenen Wände des Cylinders und Kolbens.
5. Wärmeübertragung an die Luft durch Ausstrahlung und Wärmeleitung seitens der Dampfleitung, Steuergehäuse und aller heißen Teile der Maschine.