

23 Proc., selbst wenn die Füllung nur $\frac{1}{6}$ des Kolbenhubes beträgt.

Nach dem Vorstehenden würde es sich empfehlen, Maschinen zu construiren, welche eine möglichst grosse Expansion des Arbeitsdampfes gestatten, und es würde hierbei für die theoretischen Untersuchungen ganz gleichgültig sein, ob dieselbe in einem einzigen Cylinder oder in einer Serie von neben oder über einander gestellten Cylindern vor sich geht; die experimentellen Untersuchungen haben indess gezeigt, dass bei jeder Dampfmaschine nur ein gewisser Expansionsgrad einem Minimalverbrauche von Dampf entspricht und es demnach ökonomisch nicht vortheilhaft ist, denselben zu überschreiten.

Nach vielfachen Untersuchungen von *Hirn* stellte sich heraus, dass die abkühlende Wirkung der metallischen Cylinderwandungen einen ganz bedeutenden Einfluss auf den gesättigten Dampf ausübt; dieser Factor wurde bisher nicht genügend berücksichtigt.

Der hochgespannte Dampf berührt während der Einströmperiode diejenigen Cylinderwandungen, welche kurz vorher mit dem Condensator in Verbindung standen und deshalb eine geringere Temperatur besitzen als der Dampf selbst; es entsteht durch diese Berührung eine theilweise Condensation des Dampfes, wobei sich das Metall mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht überzieht. Sobald die Einströmung aufhört, expandirt der im Cylinder befindliche Dampf beim Weiterbewegen des Kolbens, der Druck geht herunter und es erfolgt in Folge der Expansion eine abermalige Condensation; in demselben Augenblicke tritt jedoch auch eine Verdampfung des die Cylinderwandungen berührenden Wassers ein, und es treten demnach zwei Erscheinungen auf, welche von dem Expansionsgrade, von der Cylinder- und Kolbenoberfläche, sowie deren Temperaturen, von der Kolbengeschwindigkeit u. s. w. mehr oder weniger abhängig sind. Je nach den Verhältnissen tritt eine Vermehrung oder Verminderung des im Cylinder befindlichen Wassers ein, am häufigsten indess eine Vermehrung desselben, so dass, wenn der Kolben am Ende seines Hubes anlangt, der Dampf nass und die Cylinderwandung angefeuchtet ist. Sobald nun die Ausströmung beginnt, verdampft das von den Cylinderwandungen rieselnde Wasser zum Nachtheile der Wärme des Metalls; es wird damit dem Cylinder eine grosse Wärmemenge entzogen und in den Condensator übergeführt. Diesen Verlust an Wärme bezeichnet *Hirn* als einen ganz bedeutenden, da dem Condensator Wärme zugeführt wird und der Gegendruck in Folge dessen in derselben Zeit steigt, wo der Cylindermantel immer mehr und mehr abgekühlt wird.

Diese Abkühlung kann so bedeutend sein, dass sie die beim Kolbenhube in Arbeit umgesetzte Wärmemenge übersteigt. Bei der nun wieder stattfindenden Einströmung frischen Kesseldampfes erfolgt eine abermalige Condensation und der Vorgang wiederholt sich in der eben beschriebenen Weise von neuem. Die Cylinderwandungen spielen, wie *Ishervood* treffend bemerkt, abwechselnd die Rolle des Condensators und des Kessels, und die Dampfverluste werden um so grösser, je vollkommener die Expansion ist bezieh. je beträchtlicher die Temperaturunterschiede des Arbeitsdampfes im Cylinder ausfallen. Durch eine Verlängerung der Expansion würde der Verlust sich auf einen niedrigeren Betrag zurückführen lassen, indessen empfiehlt es sich, wie bereits erwähnt, beim Arbeiten des

Dampfes in einem einzigen Cylinder aus ökonomischen Rücksichten nicht, Füllungen von zuweilen $\frac{1}{6}$, häufig von $\frac{1}{8}$, meistens aber von $\frac{1}{10}$ des Kolbenweges zu überschreiten.

Um nun der Abkühlung der Cylinderwandungen wirksam zu begegnen und die mittlere Temperatur derselben zu erhöhen, umgab man den Cylinder mit einem Dampfmantel, wodurch unter gewöhnlichen Verhältnissen bereits eine Ersparniss von mindestens 10 Proc. erreicht wird, und um die beträchtlichen Temperaturunterschiede in ein und demselben Cylinder zu umgehen, ging man zur zweistufigen bezieh. mehrstufigen Expansionsmaschine über, d. h. man brachte den Dampf in zwei bezieh. mehreren Cylindern zur Expansion und erzielte dadurch, dass die in jedem einzelnen Cylinder auftretenden höchsten und niedrigsten Temperaturen nun nicht mehr so viel als früher von der mittleren Temperatur abweichen und sich während der Arbeitsperiode innerhalb kleiner Grenzen halten. Bereits *Watt* wendete den Dampfmantel an; spätere Constructeure verstanden indess die Wichtigkeit dieser Einrichtung nicht und man hatte denselben deshalb auch bis in letzterer Zeit vollständig wieder aufgegeben; beim gründlicheren Nachdenken der Ingenieure über die Ideen von *Watt* wären vielleicht viele bisher begangene Fehler vermieden worden und es hätten sich wohl bereits früher die so erheblichen Dampfverluste vermeiden lassen.

Woolf und *Edwards* waren diejenigen, welche zuerst die Expansion des Dampfes in zwei Cylindern zur Ausführung brachten, ohne dass man sich indess über die Vorthelle der unter ihren Namen weit verbreiteten Maschinen irgend welche Rechenschaft ablegte; die grossen Balanciermaschinen mit doppeltem Cylinder wurden namentlich ihrer vollkommenen Regelmässigkeit des Ganges und des geringen Verbrauches an Brennmaterial wegen vorzugsweise für den Betrieb in Spinnereien zahlreich ausgeführt. Das Volumenverhältniss der beiden Cylinder derartiger Maschinen betrug gewöhnlich nicht mehr als 1:5; sie waren in der Regel zusammengekuppelt; der Kesseldampf speiste zunächst den kleinen Cylinder und ging dann kreuzweise von dessen oberem Ende nach dem unteren Ende des grossen Cylinders und umgekehrt. Legt man die beiden Cylinder nach dem Tandemsysteme hinter einander, so dass beide Kolben durch eine einzige Stange geführt werden, so lässt sich die auf einander folgende Expansion des Dampfes auch mit Maschinen ohne Balancier erreichen, und trennt man die beiden Cylinder durch einen Zwischenbehälter, in welchem sich der aus dem kleinen Cylinder strömende Dampf aufhalten kann, um von hier in den grossen Cylinder gelangen zu können, so erhält man die Verbundmaschine, welche eine Wiedererwärmung des von dem einen in den anderen Cylinder strömenden Dampfes gestattet und bei welcher die Bewegungen der beiden Kolben unabhängig von einander auf zwei um 90° gegen einander versetzte Kurbeln übertragen werden können.

Die Verbundmaschinen wurden zum grössten Theil zweicylindrig hergestellt; um indess Niederdruckcylinder von grösserem Durchmesser als etwa 2,5 m zu vermeiden, hat man sie in den letzten Jahren auch häufig dreicylindrig, d. h. mit einem Hoch- und zwei Niederdruckcylindern ausgeführt.

Besonders in der Marine verdrängte die Verbundmaschine, nachdem die meist als Zweicylindermaschine ge-