

6. Direkte Dampfverluste durch Undichtheiten, sowie Eindringen von Luft in den Kondensator.

7. Entweichen des Dampfes infolge Undichtseins des Kolbens.

8. Drosselung oder zurückgehaltene Expansion des Dampfes beim Übergang von einem Cylinder zu einem anderen in Compoundmaschinen.

Wenn man bei einem Vergleiche der Leistung einer wirklichen Maschine mit jener der idealen Maschine als untere Temperaturgrenze die Temperatur des dem Kondensator zugeführten kalten Wassers statt jener des Speisewassers zu Grunde legt, dann kommt noch jener Verlust in Betracht, welcher sich aus der Differenz der Kondensatorspannung und jener Spannung ergibt, welche der niedrigeren Temperatur des Injektionswassers entspricht.

95. Bestimmung der Leistung einer Dampfmaschine. Es erübrigt nunmehr einige der besten Resultate anzugeben, welche durch Leistungsversuche an ausgeführten Maschinen gewonnen wurden, um daraus auf den summarischen Effektverlust infolge der im vorigen angeführten Unvollkommenheiten der Wirkungsweise der Maschine einen Rückschluß ziehen zu können; die Versuchsmethoden selbst finden im nächsten Abschnitt eingehende Berücksichtigung.

Die Bestimmung der Leistung einer Maschine kann auf verschiedene Weise erfolgen. Vergleicht man die geleistete Arbeit mit der von der Arbeitsflüssigkeit aufgenommenen Gesamtwärme, dann kann man entweder den thermodynamischen Wirkungsgrad berechnen, indem man die geleistete Arbeit durch das mechanische Äquivalent der aufgenommenen Wärme dividiert oder man drückt denselben Gedanken in etwas geänderter Form aus, indem man die Anzahl Wärmeeinheiten bestimmt, welche zur Erzeugung der Leistungseinheit, das ist der Leistung einer Pferdekraftstunde erforderlich sind. Nachdem eine Pferdekraftstunde gleich ist 270000 kgm, somit das Wärmeäquivalent derselben $\frac{270\,000}{426} = 634$ W.E. beträgt, so ist die Beziehung dieser beiden Bestimmungsmethoden gegeben durch die Gleichung

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{634}{\text{Anzahl Wärmeeinheiten erforderlich pro PS-Stunde}}$$

Bei Berechnung der geleisteten Arbeit und der hierzu verbrauchten Wärme ist es sehr empfehlenswert und bequem diese Mengen pro kg Dampf der Cylinderfüllung auszudrücken. Eine genaue Berechnung der von der Maschine geleisteten Arbeit sollte auch auf jene Arbeit Rücksicht nehmen, welche in der Speisepumpe und bei Kondensationsmaschinen in der Luftpumpe auf die Arbeitsflüssigkeit übertragen wird; der Betrag

derselben ist jedoch verhältnismäßig so gering, daß man darauf gewöhnlich keine Rücksicht nimmt. Nehmen wir z. B. den Fall an, eine Dampfmaschine benötige 7 kg Dampf pro PS-Stunde bei einer Kesselspannung von 8 Atmosphären absolut. Die Speisepumpe muß daher 7 kg Wasser pro PS-Stunde an den Kessel abgeben. Die zur Beförderung dieser Wassermenge vom Kondensator zum Kessel erforderliche Arbeit ist daher abgerundet 578 kgm, ein Betrag, welcher im Vergleiche mit der vom Dampfe geleisteten Arbeit pro 270000 kgm verschwindend klein ist.

Der namentlich in der Praxis gebräuchlichste Weg, die Ergebnisse der mit Dampfmaschinen durchgeführten Versuche auszudrücken, ist die Bestimmung der pro Pferdekraftstunde verbrauchten Dampfmenge. Der Verbrauch an Wärme ist nahezu proportional dem Verbräuche an Dampf, da die totale Wärme des Dampfes innerhalb der gebräuchlichen Kesselspannungen sehr wenig verschieden ist und selbst zwischen den Spannungsgrenzen 6 und 16 Atmosphären nur um ca. 13 W.E. variiert; die Kenntnis des letzteren gibt daher sofort ein klares Bild der Güte einer Maschine.

Der wunde Punkt bei dieser Art der Beurteilung der Leistungsfähigkeit oder Güte einer Dampfmaschine ist die Unsicherheit hinsichtlich des Feuchtigkeitsgehaltes, beziehungsweise der Trockenheit des Dampfes; wenn der Kessel speit oder wenn der Dampf auf seinem Wege zum Cylinder sehr naß wird, dann kann die Wärmemenge pro kg der Cylinderfüllung sehr verringert sein. Bei allen schlecht angelegten oder überanstrengten Kesseln ist die Menge des mitgerissenen Wassers zumeist bedeutend; unter normalen Verhältnissen soll dieselbe kleiner als 5 Prozent des gesamten Verbrauches sein; gewöhnlich dürfte sie wesentlich unter diesem Werte liegen; der genaue Betrag läßt sich im Wege des Experimentes schwer ermitteln.

Wenn die Kesselspannung, die Temperatur des Wassers, sowie der Feuchtigkeitsgrad des Dampfes bekannt sind, dann läßt sich die pro Gewichtseinheit Dampf aufgenommene Wärmemenge mit genügender Genauigkeit berechnen; aber selbst ohne diese umständlichere Rechnung kann man, solange nur gesättigter Dampf in Betracht kommt, ein verlässliches Urteil hinsichtlich der Leistungsfähigkeit verschiedener Maschinen durch die Bestimmung des pro Pferdekraft-Stunde verbrauchten Dampfgewichtes allein erhalten, welcher Weg auch den weiteren Vorteil bietet, daß die so gewonnenen Resultate eine einfachere vergleichende Schätzung gestatten und leichter zu merken sind.

Bei Verwendung überhitzten Dampfes ist jedoch dieser Weg, die Versuchsergebnisse durch den Verbrauch an Dampf pro Pferdekraft-Stunde auszudrücken, insofern nicht einwandfrei, weil die Dampfverbrauchsziffer auch von dem Überhitzungsgrade abhängig ist; es wäre daher speziell in

diesem Falle und des Vergleiches wegen allgemein empfehlenswert, die Versuchsergebnisse durch die Anzahl der pro PS-Stunde zugeführten Wärmeinheiten auszudrücken, ein Verfahren, welches unter anderem von einem Komitee der *Institution of Civil-Engineers* (siehe Bericht 1897) empfohlen wurde. Ist das Gewicht des pro PS-Stunde verbrauchten Dampfes (n) bestimmt und sind die Daten für die Ermittlung der Wärmemenge Q pro kg Dampf gegeben (wobei auf den Feuchtigkeitsgehalt beziehungsweise die Überhitzung des Dampfes entsprechende Rücksicht zu nehmen ist), dann ist die pro PS-Stunde erforderliche Wärmemenge nQ in Wärmeinheiten nach früher gleich 634 dividiert durch den Wirkungsgrad.

96. Wirkungsgrad des Kessels und der Feuerung. Wirtschaftlicher Wirkungsgrad. Auf den Wirkungsgrad der Kesselanlage wurde bei den bisherigen Erörterungen keine Rücksicht genommen. Die Leistungsfähigkeit eines Kessels wird gewöhnlich in der Weise beurteilt, daß man das Wassergewicht von bestimmter Temperatur ermittelt, welches durch die Verbrennung von 1 kg Kohle bekannten Heizwertes in Dampf von bestimmter Spannung verwandelt wird. Man nimmt hierbei gewöhnlich an, daß das Wasser die Temperatur von 100° C besitze und unter atmosphärischem Drucke verdampft werde; man mißt somit jenes Wassergewicht von 100° C, welches durch 1 kg Kohle bei 100° C Temperatur in Dampf verwandelt wird. Unter dem Wirkungsgrade einer Kesselanlage, als ein einziger Apparat betrachtet, versteht man das Verhältnis der nutzbar gemachten Wärme zu der im Brennmaterial aufgespeicherten potentiellen Energie. Dieses Verhältnis beträgt bei guten Kesselanlagen ungefähr 0,7. Nimmt man z. B. beste Steinkohle von 8500 W.E. Heizwert pro 1 kg, dann könnte man mit derselben theoretisch näherungsweise 16 kg Dampf atmosphärischer Spannung aus Wasser von 100° C bilden (innere latente Wärme = 497,05 + äußere latente Wärme = 40,10 gibt 537,15 W.E.; $\frac{8500}{537,15} = 15,8$). In Wirklichkeit gibt jedoch 1 kg dieser Kohle unter den gleichen Verhältnissen nur etwa 11 kg Dampf, was einem Wirkungsgrade der Anlage von $\frac{11}{16} = 0,7$ entspricht; bei einer Temperatur des Speisewassers von 35° bis 40° C und einer Dampfspannung von 7 Atmosphären würde die wirkliche Verdampfungsziffer ungefähr 9,5 kg, die theoretische jedoch 13,7 kg, somit das Verhältnis gleichfalls 0,7 betragen.

Der Wirkungsgrad der Maschine multipliziert mit dem Wirkungsgrad der Kesselanlage gibt eine Zahl, welche das Verhältnis der in Arbeit umgesetzten Wärmemenge zur potentiellen Energie der hierzu verbrauchten Brennstoffmenge ausdrückt, eine Zahl, welche somit den Wirkungsgrad