

dann findet während der folgenden Ausströmung kaum eine weitere merkbare Abkühlung der Wandungen statt; falls jedoch Kondensat mit Beginn des Austrittes noch als Wasser vorhanden ist, um während des Ausströmhubes zu verdampfen, dann ist der schädigende Einfluß der Wandungen wesentlich erhöht. Nur in ausnahmsweise günstigen Fällen ist die Nachverdampfung vor Eröffnung des Auslaßorganes beendet; zumeist erstreckt sie sich noch auf die Ausströmperiode selbst.

Es ist von Interesse, zu bemerken, welche wichtige Rolle die infolge der Arbeitsverrichtung während der Expansion hervorgerufene Feuchtigkeit des Dampfes in der Wirkungsweise der Cylinderwandungen spielt. Trocken eintretender und während der Admission teilweise kondensierter Dampf gibt pro Gewichtseinheit eine Wärmemenge entsprechend der latenten Wärme L_1 an die Wandung ab; wieder verdampft, bei niedrigerem Druck, nimmt derselbe pro Gewichtseinheit eine Wärmemenge entsprechend der latenten Wärme L_2 auf; nachdem das Kondensat jedoch von der höheren auf die tiefere Temperatur abkühlt, gibt es eine Wärmemenge ab, entsprechend der Differenz der Flüssigkeitswärmen $h_1 - h_2$. Wenn man daher die Kondensation und Wiederverdampfung derselben Wassermenge im Auge behält, so müßte die Wandung Wärme gewinnen, da die Gesamtwärmemenge H_1 größer ist als H_2 und daher $L_1 + h_1 - h_2$ größer ist als L_2 ; der Prozeß der Kondensation und Wiederverdampfung könnte somit, falls die Wandung nicht auf andere Weise Wärme verlieren würde, einfach nicht platzgreifen. In Wirklichkeit verliert die Cylinderwand allerdings Wärme durch Ausstrahlung, allein die Hauptursache der in Rede stehenden Erscheinung ist in dem Umstande zu suchen, daß mehr Wasser verdampft als anfänglich kondensiert, weil die nachträgliche Kondensation, welche aus der während der Expansion verrichteten Arbeit resultiert, eine Vermehrung des Wassergehaltes zur Folge hat.

82. Feuchtigkeit des Arbeitsdampfes. Ein anderer Grund für die Möglichkeit des Prozesses der Kondensation und Wiederverdampfung liegt darin, daß der Dampf gewöhnlich etwas Wasser mit sich in den Cylinder bringt, welches gemeinschaftlich mit dem durch die Kondensation gebildeten Wasser gegen Ende des Hubes verdampft; die summarische zu verdampfende Wassermenge ist daher in dem Maße größer, als der Dampf naß in den Cylinder gelangt und somit ist auch die Einwirkung der Cylinderwand eine erhöhte als bei anfänglich trockenem Dampf.

Aus den vorhergehenden Betrachtungen ergibt sich, daß für jede Gewichtseinheit Wasser, welches zuerst im Cylinder kondensiert und dann wieder verdampft wurde, ein Nettowärmebetrag ent-

sprechend $L_1 + h_1 - h_2 - L_2$ in irgend einer Weise der Wandung entzogen werden muß; diese Wärmemenge, welche auch durch $H_1 - H_2$ oder $0,305(t_1 - t_2)$ ausgedrückt werden kann, ist im Verhältnisse zur latenten Wärme L_2 klein; sei z. B. die Admissionsspannung 6 kg/qcm und die Austrittsspannung 0,2 kg/qcm, dann ist ungefähr $t_1 = 160^\circ$, $t_2 = 60^\circ$, somit $t_1 - t_2 = 100^\circ$ und $H_1 - H_2 = 0,305 \times 100 = 30,5$; L_2 beträgt nach der Formel $L_2 = 606,50 - 0,7 t_2$ angenähert 565; somit ist $H_1 - H_2$ nur ca. $\frac{1}{19}$ der latenten Wärme L_2 . Wie bereits in § 81 bemerkt, resultiert aus der Kondensation des Dampfes als Folge der während eines adiabatischen Prozesses geleisteten Arbeit eine wenn auch verhältnismäßig geringe Vermehrung des Wassergehaltes der Mischung, daher auch etwas mehr Wasser wieder verdampft als anfänglich durch Berührung des Dampfes mit den Wandungen kondensiert wurde; aber auch der Dampf selbst enthält in den meisten Fällen, falls er nicht vorher eigens getrocknet wird, bei seinem Eintritte in den Cylinder eine kleinere oder größere Feuchtigkeitsmenge. Der Cylinder nimmt daher eine entsprechend niedrige mittlere Temperatur an, welche durch Leitung und Ausstrahlung nach außen eine weitere namhafte Reduktion erfährt*).

Die in irgend einem Stadium der Expansion vorhandene Wassermenge kann daher aus zwei Partien bestehend betrachtet werden: aus jener Wassermenge, welche durch Kondensation des Dampfes während der Admission entsteht und einen Belag an den Wandungen des Cylinders und Kolbens bildet und aus jener Wassermenge, welche die Expansion selbst erzeugt; letztere dürfte als Nebel in dem ganzen Volumen verteilt schweben. Experimentell läßt es sich nicht nachweisen, in welcher Form das Wasser im Cylinder auftritt; auch würde eine solche Bestimmung, wenn überhaupt möglich, nur von geringem Interesse sein; für unsere Betrachtungen genügt es, eine Mischung vorauszusetzen von Dampf und Wasser veränderlichen Verhältnisses. Wasser in der Form eines Nebels, wenn diese Form überhaupt auftritt, ist viel schwerer zu verdampfen als

*) Es sei hier auf eine wichtige Untersuchung der Professoren Callendar und Nicolson (*Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1897—98*) hingewiesen, welche die Frage der Kondensation im Cylinder, sowie die cyklischen Änderungen der Temperatur der Cylinderwandung behandelt. Ein kurzer Auszug über diese Untersuchungen in französischer Sprache erschien in der *Revue de Mécanique* 1898 unter dem Titel: „*La condensation dans une machine à vapeur et l'action des parois. Analyse et critique du mémoire de MM. Calendar et Nicolson*“. Par M. Bryan Donkin. Über die in Rede stehenden Versuche, welche im thermodynamischen Laboratorium der McDonald-Ingenieurschule an der McGill-Universität in Montreal im Sommer 1895 durchgeführt wurden, berichtet auch Prof. A. Bantlin in der *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, Jahrg. 1899, S. 774 in einer Arbeit unter dem Titel: „*Der Wärmeaustausch zwischen Dampf und Cylinderwandung nach neueren Versuchen*“.

Wasser, welches als Belag oder Niederschlag an den Wandungen auftritt, und die Tatsache, daß bei manchen Versuchen der Dampf mit Ende der Expansion vollkommen trocken war, läßt vermuten, daß das auf eine oder die andere Weise gebildete Wasser sich vollständig oder doch zum größten Teil an den Oberflächen der Wandungen niederschlägt*).

83. Graphische Darstellung im Indikatordiagramm des während der Expansion vorhandenen Wassers. Bei der Untersuchung von Maschinen nach Methoden, welche im folgenden Abschnitte beschrieben werden sollen, wird die Dampfmenge gemessen, welche den Cylinder pro Kolbenhub passiert; dieselbe sei für die Folge, der Abkürzung wegen, „Cylinderfüllung“ genannt. Die Gesamtmenge der Mischung aus Dampf und Wasser, welche sich während der Expansion im Cylinder befindet, summiert sich aus der Cylinderfüllung und dem schädlichen Raumdampf. Um letzteren zu berechnen, nimmt man im Indikatordiagramm nach Beginn der Kompression, beziehungsweise nach vollkommenem Schluß des Auslaßorgans einen Punkt an, notiert Druck und Volumen in demselben unter Berücksichtigung, daß das Volumen die Summe bildet aus dem bis zu jenem Punkte noch nicht durchlaufenen Hubvolumen und dem schädlichen Raume. Aus diesen beiden Bestimmungsstücken läßt sich die Dampfmenge des schädlichen Raumes leicht berechnen unter der Annahme, daß der Dampf einfach gesättigt und kein Wasser vorhanden sei, wenn die Kompression beginnt. In der Regel ist diese Annahme zutreffend; fallweise jedoch ist der schädliche Raumdampf feucht resp. naß, seine Menge daher entsprechend größer, aber in den meisten Fällen kann der Dampf bei Beginn der Kompression, ohne damit einen ernsteren Irrtum zu begehen, als trocken angenommen werden. Die totale Dampfmenge im Cylinder während der Expansion bestimmt sich nun zunächst durch Summierung der so ermittelten Dampfmenge des schädlichen Raumes und der Cylinderfüllung. Das Volumen, welches diese totale Dampfmenge, wenn trocken gesättigt, bei jeder beliebigen Spannung während der Expansion einnehmen würde, kann im Indikatordiagramm durch Einzeichnen einer „Sättigungskurve“ dargestellt werden. Als Beispiel diene das Indikatordiagramm Fig. 45, in welchem *SS* die Sättigungskurve darstellt.

*) Im Zusammenhange hiermit sei auf die von Bryan Donkin mit Hilfe eines Apparates, „Revealer“ genannt, gemachten Beobachtungen hingewiesen. Siehe seine Schrift „*Sur les formes particulières prises par l'eau dans les cylindres de machines à vapeur*“ (*Revue universelle des Mines*, 1893, S. 276 und *Engineering*, Juni 1893); ferner „*Experiments on the Condensation of Steam*“ (*Min. Proc. Inst. C. E.*, Vol. CXV, 1893). Dieser Apparat ist in dem für wissenschaftliche Maschinenuntersuchungen eingerichteten Laboratorium der Maschinenfabrik Bryan Donkin & Co. in Bermondsey aufgestellt. Diese Versuche und deren Ergebnisse sind auch in der *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, Jahrg. 1894, S. 1434 besprochen.