

weise aufgehoben und hierdurch der Gang der Maschine weich und ruhig wird, weil der Kolben, während dessen Geschwindigkeit rapid abnimmt, den zunehmenden Kompressionsdruck zu überwinden hat.

Das Dampfleinlaßorgan öffnet gleichfalls etwas vor der Totlage des Kolbens, damit der Kanal genügend weit geöffnet ist, um den Dampf ungehindert einströmen zu lassen, wenn der Kolben seinen Füllungshub beginnt; man nennt dies das Voreinströmen (beziehungsweise Vorausströmen auf der Austrittsseite) oder summarisch das „Voreröffnen“; die relative Bewegung des Steuerorganes nennt man das „Voreilen“. Die Voreinströmung erhöht die oben besprochene Wirkung des schädlichen Raumes.

In allen Fällen, wo der Einfluß des schädlichen Raumes, ob nun die Kompression vollständig oder unvollständig sei oder gänzlich mangelt, in Betracht kommt, erscheint es zweckmäßig, die Arbeitssubstanz im Cylinder aus zwei Teilen bestehend zu betrachten und zwar: 1. aus jenem Teil, welcher im schädlichen Raume vom vorhergehenden Hube eingeschlossen ist und 2. aus der dem Kessel bei jedem Hube neuerdings entnommenen Arbeitsflüssigkeit. Während der Expansion bildet die Summe aus diesen beiden Mengen die Arbeitssubstanz; während der Kompression kommt jedoch nur der erstere Teil in Betracht. Wenn man den Dampf, welcher die Maschine verläßt, kondensieren und das Kondensat seinem Gewichte nach bestimmen würde, dann könnte man daraus auf die pro Hub den Cylinder passierende Dampfmenge schließen; dieser Betrag, vermehrt um die Dampfmenge, welche nach Abschluß des Auslaßorganes noch im Cylinder zurückblieb, gibt die pro Hub im Cylinder befindliche gesamte Dampfmenge.

**80. Einfluß der Cylinderwandung. Kondensation und Nachdampfen im Cylinder.** Es wurde bereits in § 1 auf die stete Wechselwirkung zwischen dem Dampfe und den metallenen, somit leicht wärmeleitenden Wandungen des Cylinders und Kolbens hingewiesen, wodurch sich die Wirkungsweise einer wirklichen Dampfmaschine von jener idealen, welche wärmedichte Materialien voraussetzt, wesentlich unterscheidet. Die fortwährenden Schwankungen und Veränderungen der Temperatur des Dampfes während der Admissions-, Expansions- und Ausströmperiode haben einen steten Wärmeaustausch zwischen demselben und den von ihm berührten metallenen Wandungen zur Folge; der Effekt desselben, obwohl im Indikatordiagramm nicht augenfällig zu erkennen, hat jedoch einen außerordentlich reduzierenden Einfluß auf den Wirkungsgrad infolge des hierdurch wesentlich erhöhten Dampfverbrauches. D. K. Clark

wendete bereits 1855 diesem Prozesse des Wärmeaustausches volle Aufmerksamkeit zu\*) und die Resultate seiner Versuche an Lokomotivmaschinen wurden durch die Versuche Isherwoods mit den Maschinen des Vereinigten-Staatendampfers „Michigan“ 1860 bestätigt und noch erweitert\*\*).

Rankine berührte diesen Gegenstand in seinem klassischen Werke „*On the steam-engine*“ nur sehr kurz, und nimmt auf den Einfluß der Cylinderwandungen bei seinen Berechnungen keine Rücksicht. Die Wichtigkeit dieses Gegenstandes ist jedoch heute über alle Zweifel erhaben und gebürt, abgesehen von früheren Versuchen, jenen von Loring und Emery an amerikanischen Schiffsmaschinen\*\*\*), sowie den eingehenden, von Hallauer und anderen elsässischen Ingenieuren unter der Anleitung Hirns durchgeführten Versuchen†), das Verdienst, diese für den Dampfmaschinenbau so hochwichtige Frage aufgerollt zu haben; speziell der Name Hirs bleibt für alle Zeit enge verknüpft mit der Entwicklung der Theorie der Dampfmaschine; auch war er einer der ersten, welche die Verluste infolge der Kondensation des Dampfes an den Cylinderwandungen beobachteten und die Bedeutung derselben richtig erfaßten. Die Überzeugung, welche man durch diese Versuche erlangte, fand zahlreiche Bestätigungen durch eine Unzahl von Versuchen, welche seither mit Maschinen aller Art und unter den verschiedensten Verhältnissen durchgeführt wurden. Im nächsten Abschnitt sollen Anhaltspunkte gegeben werden, in welcher Art und Weise Dampfmaschinen experimentell untersucht und aus den so gefundenen Ergebnissen hinsichtlich des Verhaltens des Dampfes auf den Wärmeaustausch zwischen Dampf und Cylinder geschlossen werden kann. Nachstehend seien jedoch die wichtigsten Versuchsergebnisse und deren Einfluß auf die Dampfökonomie der Maschine in Kürze besprochen.

Der mit Beginn des Kolbenhubes in den Cylinder einströmende Dampf trifft auf feuchtkalte metallene Flächen des Cylinders und Kolbens, welche während der vorhergegangenen Ausströmperiode mit Dampf von niedriger Spannung in Berührung waren. Ein Teil des Dampfes schlägt sich sofort nieder, und in dem Maße als sich der Kolben vorwärts bewegt und mehr

\*) *Railway Machinery*, oder *Steam-Engine*, *Encyclopaedia Britannica*, 8. Aufl., ebenso *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. LXXII, S. 275.

\*\*) Siehe Isherwoods *Experimental Researches in Steam-Engineering*, Philadelphia 1863. Dieses interessante Werk beschreibt eine große Anzahl von Versuchen, durchgeführt zu einer Zeit, als der Wert solcher Versuche von den Ingenieuren im allgemeinen noch sehr wenig gewürdigt wurde.

\*\*\*) Einen Auszug des Berichtes von Loring und Emery enthält die Zeitschrift *Engineering*, Vol. XIX und XXI.

†) *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1877.

und mehr Cylinderfläche freilegt, kondensiert immer mehr und mehr heißer Dampf. Mit Ende der Admission, wenn die Verbindung mit dem Kessel abgesperrt ist, enthält der Cylinder eine leichte, die Wandungen bedeckende Wasserschicht und gesättigten Dampf; der Kessel hatte daher eine größere Dampfmenge zu liefern als dem Admissionsvolumen entspricht; die Versuche haben ergeben, daß die auf diese Weise während der Admission kondensierte Dampfmenge gewöhnlich 30, oft sogar 50 Prozent der Dampfmenge beträgt, welche vom Kessel der Maschine geliefert wird; nur in seltenen Fällen ist dieselbe 25 Prozent; bei kleinen Maschinen wurden durch die Versuche sogar bis 70 Prozent konstatiert\*).

Mit beginnender Expansion werden neuerdings kalte Metallwände bloßgelegt und ein weiterer Teil des Dampfes kondensiert; andererseits tritt Kondensation als Folge der während der Expansion des Dampfes verrichteten Arbeit auf, eine Kondensation, welche auf jeden Fall, auch wenn die Wandungen wärmedicht und die Expansion rein adiabatisch wäre, eintreten würde. Infolge dieser Doppelwirkung wird die Mischung mit fortschreitender Expansion nasser; gleichzeitig sinkt aber die Dampfspannung und damit auch die Temperatur des Dampfes und sobald diese niedriger wird als die Temperatur des Niederschlages an den Wandungen fängt dieser an, wieder zu verdampfen. Es wird daher während des ersten Teiles der Expansion der Wassergehalt der Mischung zunehmen, jedoch in Bälde ein Moment eintreten, in welchem sich die Kondensation des Dampfes und die Wiederverdampfung des früheren Niederschlages das Gleichgewicht halten; in diesem Momente hat der prozentuelle Wassergehalt sein Maximum erreicht und von dieser Kolbenstellung an wird die Mischung aus Dampf und Wasser, welche nun den Cylinder füllt, im Maße des Nachdampfens mehr und mehr trocken.

**81. Nachverdampfen während der Ausströmung.** Wenn die anfängliche Kondensation nicht bedeutend war, kann die Nachverdampfung vollendet sein, bevor der Dampfaustritt beginnt; gewöhnlich jedoch ist der Niederschlag mit Ende des Hubes noch teilweise vorhanden und somit setzt sich der Prozeß des Nachdampfens während des Rückhubes, also während der Ausströmperiode fort. In außergewöhnlichen Fällen sehr bedeutender anfänglicher Kondensation kann es vorkommen, daß die Cylinderwand selbst während des Ausströmhubes nicht trocken wird, der

\*) Col. English beschreibt (*Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Sept. 1887, Okt. 1889 und Mai 1892) Experimente nach dieser Richtung und gibt den Betrag der anfänglichen Kondensation, wie er bei vielen unabhängig durchgeführten Versuchen beobachtet wurde. In verschiedenen Fällen überstieg dieser Betrag 60 Prozent.