

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.

restliche Niederschlag somit als Wasser in den Kondensator gelangt oder im Falle dies durch die Situation des Auslaßorganes nicht möglich sei, sich im schädlichen Raume sammelt und durch die Abblähne entfernt werden muß.

Wenn das Kondensat auf diese Weise im Cylinder zurückgehalten wird, dann sind die anfänglichen Kondensationsverluste bedeutend erhöht, indem der eintretende heiße Frischdampf nicht nur verhältnismäßig kalte metallene Wandungen, sondern auch verhältnismäßig kaltes Wasser im Cylinder trifft; dieses verursacht lebhafte Kondensation, teils vermöge seiner hohen spezifischen Wärme, teils vermöge seiner innigen Mischung mit dem eintretenden Dampf.

Abgesehen von diesen außergewöhnlichen Fällen wird durch die Verdampfung des niedergeschlagenen Wassers, in welchen Quantitäten immer, während der Expansion und Ausströmung der Cylinderwand Wärme entzogen und diese hierdurch in einen Zustand versetzt, welcher die Kondensation des neu eintretenden Kesseldampfes unvermeidlich macht. Nur die in Rede stehende Kondensation und Wiederverdampfung, ob während der Expansion oder Ausströmung, ist die Ursache des Wärmeaustausches zwischen den metallenen Cylinderwandungen und der Arbeitssubstanz. Die bloße Berührung mit Niederdruckdampf während der vorgeschrittenen Expansion und Ausströmung würde das Metall nur wenig abkühlen, denn die Wärmemitteilung zwischen trockenem Metall und irgend einer gasförmigen Substanz erfolgt selbst bei großen Temperaturdifferenzen verhältnismäßig langsam. Die Abkühlung ist daher hauptsächlich eine Folge der Verdampfung des kondensierten Wassers; wenn man daher eine Maschine in Betrieb setzen würde, nachdem der Cylinder vorher auf die Temperatur des Kessels gebracht wurde, dann wäre die Abkühlung des Cylinders während des ersten Ausströmhubes und daher die Kondensation während der nachfolgenden Admission eine geringe; während der darauf folgenden Expansions- und Ausströmperioden würde jedoch das Metall mehr und mehr abgekühlt, da durch die Verdampfung des vorhergehenden Niederschlages der Wandung Wärme entzogen wird, bis sich ein gewisser Gleichgewichtszustand zwischen Kondensation und Wiederverdampfung einstellt. Derselbe Gleichgewichtszustand wird, wenn auch etwas später, erreicht, wenn die Maschine kalt angelassen wird.

Wann immer die Nachverdampfung beendet ist, resultiert aus derselben eine Abkühlung der Cylinderwandungen, welche durch die Kondensation des frisch eintretenden Dampfes während des nächsten Hubes wieder erhitzt werden müssen; die nachteiligen Folgen dieser Kondensation sind um so größer, je später das Nachverdampfen beendet ist. Wenn die Verdampfung des Kondensates vor Beginn des Austrittes beendet ist,

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-