

## II. Abschnitt.

### Theorie der Wärmekraftmaschinen.

**1. Entwicklung der Theorie der Wärmekraftmaschinen.** Es ist bemerkenswert, wie wenig die Dampfmaschine in ihrer anfänglichen Entwicklung durch die Wissenschaft unterstützt und gefördert wurde; die Erfinder der früheren Zeitperioden verfügten über keine theoretischen Grundlagen und waren genötigt, ohne richtigen Einblick in das Wesen der Wärme, ihren Erfindungen durch die erst selbst gesammelten Erfahrungen und Wahrnehmungen Schritt für Schritt den Weg zu ebnen. Selbst Watt hatte, wie aus seiner an früherer Stelle angeführten Erzählung hervorgeht, mit Ausnahme der ihm von Black mitgeteilten Lehre von der latenten Wärme keine Kenntnis von den Beziehungen zwischen Wärme und Arbeit, und erst nachdem seine Erfindungen längst vervollständigt waren, gelangten die ersten wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Gebiete der Wärmelehre in die Öffentlichkeit. Im Jahre 1824 erschien die bahnbrechende Schrift von S. Carnot „*Réflexions sur la Puissance motrice du feu*“, in welcher dargelegt wurde, daß durch Wärme nur dann Arbeit erzeugt werden kann, wenn die Temperatur der Arbeitsflüssigkeit von einem höheren auf ein tiefer liegendes Niveau herabsinkt. Die Betrachtungen, durch welche Carnot zu diesem Resultate gelangte, sind vom gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft aus als unzulässig zu bezeichnen, denn es lag jenen Betrachtungen die Annahme zu Grunde, daß Wärme ein Fluidum sei, welches durch die bloße Vehemenz seines Überganges von einer höheren zu einer tieferen Wärmequelle Arbeit leisten könne, ohne hierbei der Quantität nach eine Verminderung zu erfahren. Carnot hatte somit keine Idee, daß Wärme während des Processes verschwindet; erst durch die Lehre von der Erhaltung der Energie, welche 1843 durch die vielfachen fesselnden Versuche des Engländers Joule zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes in unzweifelhafter Weise ihre Bestätigung fand, trat die Wärmetheorie auch in ihrer Anwendung auf die Wärmekraftmaschine in ein Stadium freier Entwicklung.

Von besonderer Wichtigkeit waren nunmehr Regnaults klassische Versuche über die Eigenschaften des Dampfes, deren Resultate 1847 veröffentlicht wurden; ferner die ausgezeichneten wissenschaftlichen Arbeiten von Clausius, Rankine und Thomson (Lord Kelvin). Aber nicht nur in rein wissenschaftlicher Beziehung entwickelte sich die Thermodynamik nunmehr außerordentlich rasch, sondern auch in ihrer Anwendung auf praktische Probleme und war es speziell die 1859 erschienene Publikation von Rankines „*Manual of the Steam-Engine*“ (Handbuch der Dampfmaschine), welche förmlich eine Epoche in der wissenschaftlichen Behandlung des Gegenstandes bildete und den Dampfmaschineningenieuren Gelegenheit gab, aus reinen Empirikern sich zu wissenschaftlich arbeitenden Konstrukteuren heranzubilden. Während sich die Thermodynamik theoretisch auf streng wissenschaftlicher Basis aufbaute, stützte sie sich in ihrer Anwendung auf die Praxis des Dampfmaschinenbaues, teilweise auf gewisse vereinfachende Voraussetzungen, welche, wie die Erfahrung seitdem gelehrt hat, durchaus nicht mit der Wirklichkeit im Einklange stehen. Man war gewohnt, vorauszusetzen, daß sich die Cylinder und Kolben in ihrer Berührung mit Dampf genau so verhalten, wie nicht wärmeleitende Körper, daß somit die Übertragung von Wärme zwischen Dampf und Metallen gänzlich vernachlässigt werden kann. Rankines Berechnungen des Dampfverbrauches, der Arbeit, sowie des thermischen Wirkungsgrades schließen diese Voraussetzung in sich; nur in dem Falle der Anwendung von mit Dampfmantel versehenen Cylindern nimmt Rankine an, daß der Dampf auf seinem Wege durch den Cylinder soviel Wärme von dem Dampfmantel aufnimmt, um die sonst während der Expansionsperiode eintretende geringe Kondensation zu verhindern.

Diese Voraussetzungen sind nicht durch Experimente unterstützt. Könnte die Wärmeübertragung zwischen Dampf und Metall vernachlässigt werden, oder fände eine solche Übertragung überhaupt nicht statt, dann müßte der Dampf, welcher in den Cylinder eintritt, während der Admissionsperiode so trocken bleiben, als er vor Eintritt in den Cylinder war und der Dampfverbrauch pro Hub müßte gleich sein dem Füllungsvolumen. Gerade in diesem Punkte geht nun das Verhalten des Dampfes im Cylinder in Wirklichkeit von der vorhin erörterten Voraussetzung weit auseinander, denn der in den Cylinder tretende Dampf trifft hier Wandungen von wesentlich niedrigerer Temperatur infolge der letzten Ausströmperiode und wird sich sofort teilweise kondensieren. Der hierdurch verursachte Verlust erhöht, mitunter sehr bedeutend, den Verbrauch an Kesseldampf pro Kolbenhub. Im Verlaufe der Expansionsperiode beginnt das an der Cylinderwand niedergeschlagene Kondensat wieder zu verdampfen und

setzt sich diese Erscheinung gewöhnlich auch während der Ausströmperiode des Dampfes fort. In einem späteren Kapitel sollen der Einfluß dieses Wärmeaustausches zwischen der Arbeitsflüssigkeit und den Cylinderwandungen auf die Ökonomie der Maschine eingehender untersucht und jene Mittel angegeben werden, durch welche auf experimentellem Wege der Verbrauch an Dampf durch anfängliche Kondensation und nachfolgende Wiederverdampfung bestimmt werden kann.

Der Einfluß, welchen die Cylinderwandung infolge der abwechselnden Aufnahme beziehungsweise Abgabe von Wärme seitens des Dampfes ausübt, ist in Wirklichkeit sehr bedeutend, und eine Theorie, welche auf diesen Wärmeaustausch keine Rücksicht nehmen würde, würde auch bei Berechnung der Wirtschaftlichkeit für verschiedene Dampfspannungen und Expansionsgrade keine annäherungsweise verlässlichen Vergleichsergebnisse ergeben können. Dieser Wärmeaustausch ist jedoch so verwickelt, daß es sehr schwer möglich erscheint, denselben einer umfassenden theoretischen Behandlung unterzuordnen und dürfte die Lösung dieser für die zukünftige Ausgestaltung der Wärmemaschine so hochwichtigen Frage am sichersten durch wissenschaftliche Studien an ausgeführten Maschinen, also im Wege des Experimentes, gefunden werden. Viele solcher Versuche wurden bereits durchgeführt; die Ergebnisse derselben hat sich auch die Praxis zu eigen gemacht und beim Baue der besten modernsten Maschinen nutzbringend verwertet.

Fragen bezüglich des Einflusses der Geschwindigkeit, der Dampfspannung, des Expansionsgrades, der Compoundexpansion, des Dampfmantels und der Dampfüberhitzung auf die Wärmeökonomie können der Hauptsache nach doch nur durch das Experiment endgiltig und verlässlich beantwortet werden. Aus dem Umstande, daß die Bedingungen, unter welchen eine Wärmekraftmaschine arbeitet, so kompliziert sind, daß eine genaue Theorie derselben undurchführbar ist, soll jedoch keineswegs der Schluß gezogen werden, daß das Studium der Theorie überflüssig sei; im Gegenteile, gerade diese verwickelten und nicht vollkommen klar gelegten Wärmevorgänge machen das Studium der Theorie notwendig, um bei Beurteilung jener Bedingungen, welche die Wärmeökonomie vorteilhaft oder nachteilig beeinflussen, an der Theorie einen verlässlichen Ratgeber und Rückhalt zu besitzen. Außerdem gibt uns die Theorie die Mittel an die Hand, jenen Grenzwert des Wirkungsgrades einer Wärmekraftmaschine zu bestimmen, welchem wir uns möglichst nähern sollen, welcher jedoch nicht überschritten werden kann; auch die richtige Ausnützung der Ergebnisse wissenschaftlicher Versuche erfordert die Kenntnis der Grundprinzipien der Thermodynamik, sowie die genaue Kenntnis der physikalischen Eigenschaften des Dampfes und der Gase.