

ausgedrückt sind, dann gibt die Fläche der Figur $MABCN$ die Arbeit, welche durch Ausdehnung der Arbeitssubstanz vom Volumen AP auf das Volumen CQ geleistet wurde. Wird andererseits die Arbeitssubstanz vom Volumen CQ auf das Anfangsvolumen AP in solcher Weise komprimiert, daß die Linie CDA die Beziehung zwischen Spannung und Volumen während der Kompression darstellt, dann wird eine Arbeitsmenge an die Substanz abgegeben, welche durch die Fläche $NCDAM$ graphisch dargestellt ist. Denkt man sich nun die beiden Operationen vereint, dann ergibt sich die wirklich geleistete, also die gewonnene Arbeit, durch die schraffierte Fläche der Figur $ABCD A$. Bezeichnet man die Pressungen als Ordinate mit p , das Volumen als Abscisse mit v , dann ist diese Fläche, beziehungsweise die durch dieselbe dargestellte Arbeit $= \int p dv$. Dieses Beispiel gibt, der Allgemeinheit nach, die Methode der graphischen Darstellung der Arbeit, wie sie durch Watt bei der Erfindung des Indikators eingeführt wurde; man nennt daher allgemein die Figur $ABCD A$ das „Indikatordiagramm“ der in Rede stehenden Arbeit.

5. Kreisprozeß der Arbeitssubstanz. Die Einrichtung der Indikatoren heutiger Bauart soll in einem späteren Kapitel besprochen werden; hier genügt es, darauf hinzuweisen, daß der Indikator automatisch ein Diagramm zeichnet, welches, wie oben erwähnt, den Zusammenhang der jeweiligen Spannung oder Pressung der Arbeitsflüssigkeit mit der Bewegung des Kolbens oder mit anderen Worten mit dem jeweiligen Volumen der Arbeitsflüssigkeit im Cylinder darstellt, also ein vollständiges Bild der während eines Kolbenhubes geleisteten Arbeit gibt. Im allgemeinen kehrt die Arbeitsflüssigkeit der Wärmemotoren nach Vollendung des Kreislaufes, also periodisch, wieder in denselben Zustand der Temperatur, Spannung, des Volumens und der physikalischen Beschaffenheit zurück; man nennt eine solche Periode einen vollständigen Kreisprozeß. Als Beispiel diene eine Kondensationsmaschine: Das Wasser gelangt aus dem Speisereservoir in den Kessel; von diesem als Dampf in den Cylinder; von dem Cylinder in den Kondensator, um wieder als Wasser in das Reservoir zurückgeleitet zu werden; es schließt den Kreisprozeß oder Kreislauf, indem es in den Anfangszustand zurückkehrt. In anderen weniger handgreiflichen Fällen, als Beispiel diene die Auspuffmaschine, zeigt eine kleine Betrachtung, daß der Kreislauf gleichfalls geschlossen ist, allerdings nicht dadurch, daß die gleiche Arbeitsflüssigkeit, welche dem Kessel entnommen wurde, wieder in denselben zurückgeleitet, sondern eine dem verbrauchten Dampfe gleichwertige Menge frischen Wassers in den Kessel gespeist wird, während der verbrauchte und in die Atmosphäre ausgestoßene Dampf auf die Temperatur des Speisewassers abgekühlt wurde.

Für die Theorie einer Wärmemaschine ist es von der größten Wichtigkeit, den Kreisprozeß, welchen die Arbeitsflüssigkeit vollführt, als einen in sich geschlossenen zu betrachten; eine Bedingung, welche zuerst von Carnot 1824 aufgestellt wurde. Bei einem nicht geschlossenen, also unvollständigen Kreisprozesse sind die Verhältnisse komplizierter, weil sich die Arbeitsflüssigkeit mit Ende des Prozesses in einem andern Zustande befindet als zu Beginn desselben; somit die innere Energie derselben eine Veränderung während des Prozesses erfahren hat. Schließt der Kreisprozeß vollständig, dann muß mit Schluß desselben die innere Energie die gleiche sein wie zu Beginn desselben, nachdem die Beschaffenheit der Arbeitsflüssigkeit unverändert geblieben ist. Für einen vollständigen Kreisprozeß besteht demnach die Gleichung

$$\text{Zugeführte Wärme} = \text{Geleistete Arbeit} + \text{Abgeführte Wärme.}$$

6. Vollkommene Gase als Arbeitsflüssigkeit. Die Aufstellung einer Theorie der Wärmemaschine wird wesentlich erleichtert, wenn man von der Untersuchung einer Maschine ausgeht, deren Arbeitsflüssigkeit eines der sogenannten permanenten Gase oder eine Mischung derselben ist. Mit dem Ausdrucke „permanent“ bezeichnet man jene Gase, welche sehr schwer, d. h. nur unter Anwendung außerordentlich niedriger Temperaturen, zumeist in Verbindung mit hohen Pressungen, flüssig gemacht werden können. Auf solche Gase, welche somit von ihrem Kondensationspunkte so weit entfernt sind, daß sie sich in ihrem Verhalten unter Pressungs- und Temperaturänderungen von kondensierbaren Gasen wesentlich unterscheiden, können gewisse einfache Gesetze mit großer Wahrscheinlichkeit angewendet werden, welche streng genommen nur auf ideale Substanzen, sogenannte „vollkommene“ Gase Anwendung finden. — Nach Aufstellung dieser Gesetze soll der Wirkungsgrad einer Wärmemaschine, unter Voraussetzung irgend eines Gases als Arbeitssubstanz, untersucht und an der Hand der so gewonnenen Resultate gezeigt werden, daß dieselben auf alle Wärmekraftmaschinen allgemeine Anwendung finden. Die Gesetze, welche im folgenden entwickelt werden sollen, sind sehr nahe, wenn auch nicht absolut richtig für Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenoxyd, ausgenommen die Fälle ihrer Verwendung unter außergewöhnlich hohen Pressungen oder außerordentlich niedrigen Temperaturen. Wasserstoff kommt dem Ideal eines vollkommenen Gases, soweit die Erfahrungen reichen, noch am nächsten; vollkommen im Sinne dieser Bedeutung ist jedoch keines der bekannten Gase.

7. Gesetze der vollkommenen Gase. Die Gesetze, welche in ihrer Anwendung auf das ideale oder vollkommene Gas absolut richtig,