

§ 97. **Verwandlung von Wärme in Arbeit.** Die Ausdehnung durch Erwärmung wird außerordentlich viel als treibende Kraft verwandt. Bei den Heißluftmaschinen oder kalorischen Maschinen wird ein Kolben in einem Cylinder durch die erhöhte Spannung erhitzter atmosphärischer Luft bewegt; bei den Gasmotoren durch Explosion eines Gemisches von atmosphärischer Luft und Leuchtgas, wobei infolge der hohen Verbrennungstemperatur ein starker Überdruck entsteht; bei den Dampfmaschinen durch gespannten Wasserdampf.

Letztere besteht im wesentlichen aus dem Dampfkessel, in dem der Dampf aus Wasser gebildet wird; an diesem ist ein Wasserstandsmesser und ein Manometer zum Messen des Drucks, sowie ein Sicherheitsventil angebracht. Dann kommt der Dampf durch das Rohr *a* (Fig. 59) in den Dampfzylinder, wo er den luftdicht schließenden Kolben *e* aufwärts treibt. Ist dieser oben angelangt, so ändert durch selbsttätige Steuerung der Maschine der Schieber *g* seine Stellung so, daß er den unteren Dampfweg *c* verschließt, den oberen *f* offen läßt. Der Dampf gelangt also nun durch *f* über den Kolben und drückt ihn herunter, während der in *d* befindliche Dampf durch *c* nach *i* ins Freie gelangt. So geht das abwechselnd weiter. Die Bewegung des Kolbens wird durch die sogenannte Pleuelstange auf ein exzentrisches Rad und durch dieses auf eine Welle übertragen, von der Treibriemen ausgehen.

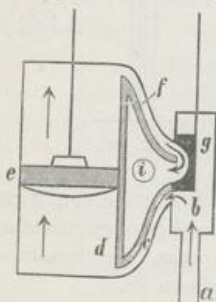


Fig. 59.

Dies ist der Typus einer Hochdruckmaschine, deren Dampf eine Spannung von über drei Atmosphären hat. Bei den Niederdruckmaschinen, die nur mit einer Dampfspannung von $\frac{1}{2}$ – $1\frac{1}{2}$ Atmosphären arbeiten, kann aber der verbrauchte Dampf nicht direkt in die freie Luft geleitet werden, weil dadurch zuviel Kraft verloren ginge. Hier wird er zu dem sogenannten Kondensator geleitet, einem Behälter, in dem er durch eingespritztes kaltes Wasser verdichtet wird.

D. Spezifische Wärme.

§ 98. **Wärmekapazität und spezifische Wärme.** Neben der Temperaturhöhe eines Körpers ist auch seine Erwärmungsfähigkeit wichtig. Zur bequemen Vergleichung betrachtet man nun immer die Wärmemenge, welche nötig ist, um 1 kg (oder 1 g) des betreffenden Körpers von 0° auf 1° zu erwärmen, und nennt diese Größe seine Wärmekapazität. Als Einheit benutzt man die Wärmekapazität des Wassers, weil diese am größten ist; sie wird auch **Kalorie**¹ genannt. Man unterscheidet kleine und große Kalorien, je nachdem es

¹ calor Wärme.

sich um die Erwärmung von 1 g oder 1 kg handelt. Das Verhältnis der Wärmekapazität eines Körpers zu der des Wassers heißt seine spezifische Wärme. Diese ist also ebenso wie das spezifische Gewicht nur eine Verhältniszahl und muß stets ein echter Bruch sein. Von den Methoden zur Bestimmung der spezifischen Wärme (Kalorimetrie) seien nur folgende genannt:

§ 99. **Mischungsmethode.** Haben zwei Mengen einer Flüssigkeit, m und m' , die Temperatur t und t' ($t > t'$), und resultiert nach ihrer Mischung die mittlere Temperatur T , so ist klar, daß die erste Substanz für die Masseneinheit die Wärmemenge $t - T$ abgegeben, die zweite $T - t'$ aufgenommen hat. Es ist also

$$m(t - T) = m'(T - t').$$

Denn angenommen, daß keine Wärme durch Strahlung verloren geht, muß die Summe der Wärme vor und nach der Mischung gleich sein. Daraus ergibt sich die Endtemperatur

$$T = \frac{mt + m't'}{m + m'}.$$

Diese Gleichung heißt auch Richmann'sche Regel. Bei der Mischung zweier Flüssigkeiten von verschiedenen spezifischen Wärmen (c und c') wird die Verteilung der Wärme auch von letzteren abhängen. Es ist also

$$cm(t - T) = c'm'(T - t').$$

Ist nun Wasser eine von den beiden Flüssigkeiten, so wird $c = 1$, und da alle anderen Größen direkt meßbar sind, erhält man daraus c' , also die spezifische Wärme der zweiten Flüssigkeit. Man kann so auch die spezifische Wärme fester und gasförmiger Körper bestimmen; letztere leitet man hierbei in Röhren durch die Flüssigkeit. Die Apparate, in denen diese Untersuchungen gemacht werden, heißen Wasserkalorimeter.

§ 100. **Eisschmelzungsmethode.** Da festgestellt ist, daß ca. 80 Kalorien nötig sind, um 1 kg Eis zu schmelzen, so läßt sich die spezifische Wärme eines Körpers, dessen Temperatur und Gewicht bekannt sind, leicht aus der Menge des Schmelzwassers berechnen. Hat der Körper die Masse m , Temperatur t , spezifische Wärme c , so gibt er bei der Abkühlung auf 0° die Wärmemenge $cm t$ ab, da natürlich bei der Abkühlung die spezifische Wärme dieselbe Rolle spielt wie bei der Erwärmung. Entsteht die Menge m' von Schmelzwasser, so wurden dazu $80 m'$ Kalorien verbraucht. Es ist also

$$cm t = 80 m'$$

$$c = \frac{80 m'}{m t}.$$

Das beste Eiskalorimeter ist das von BUNSEN (Fig. 60), bei dem die Menge des Schmelzwassers nicht direkt, sondern durch die eintretende Volumsdifferenz gemessen wird.

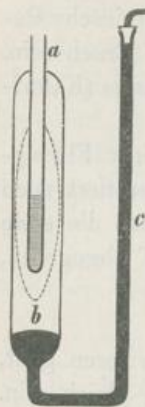


Fig. 60.

Im Raume *b* ist Wasser, das infolge einer Kältemischung in der Röhre *a* um dieselbe einen Eismantel bildet, dargestellt durch die punktierte Linie. Im unteren Teile von *b*, in der Röhre *c* und der damit verbundenen Kapillaren *e* ist Quecksilber, das durch die Ausdehnung des gefrierenden Wassers bei *e* ausfließt. Nun wird nach Entfernung der Kältemischung in *a* die zu untersuchende erwärmte Substanz, deren Gewicht und Temperatur bekannt sind, gebracht. Der Eismantel schmilzt, und infolge der dabei eintretenden Volumsabnahme wird das Quecksilber in der Kapillare von *e* etwa bis *d* rücken. Es entspricht nun immer die Differenz von 0,09 cbcm 1 g geschmolzenen Eises.

§ 101. **Atomwärme.** DULONG und PETIT fanden die merkwürdige Tatsache, daß die spezifische Wärme der Atome fester Elemente umgekehrt proportional den Atomgewichten ist. Das Produkt aus Atomgewicht und spezifischer Wärme, die sogenannte Atomwärme, ist demnach eine konstante Größe (ca. 6,2) und bietet ein wichtiges Hilfsmittel zur Bestimmung der Atomgewichte. Man kann das Gesetz so erklären, daß bei den leichteren Atomen durch schnellere Bewegung infolge vermehrter Wärmezufuhr die geringere Masse kompensiert wird, so daß also die kinetische Energie ($\frac{1}{2}mv^2$) konstant ist.

§ 102. **Spezifische Wärme der Gase.** Bei den Luftarten hat man zu unterscheiden zwischen der spezifischen Wärme bei gleichbleibendem Volumen, c_v , und derjenigen bei gleichbleibendem Druck, c_p . Wird z. B. in dem Gefäße *ABCD* (Fig. 61) 1 kg

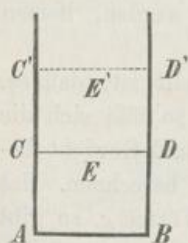


Fig. 61.

Luft erwärmt, wenn der Deckel *E* unbeweglich ist, so entspricht die Wärmemenge, die nötig ist, die Temperatur um 1° zu erhöhen, nach Reduktion auf die Volumenseinheit der spezifischen Wärme bei konstantem Volumen c_v . Ist der Deckel *E* aber beweglich, so wird sich die Luft bei der Erwärmung etwa bis *E'* ausdehnen; jetzt bleibt also der Druck gleich. Da im letzteren Falle die Luft eine Arbeit leistet, indem sie den Deckel entgegen der auf ihm lastenden Atmosphäre um das Stück *CC'* hebt, muß sie eine niedrigere Temperatur als im ersten Falle haben. Anders ausgedrückt, um Luft bei gleichbleibendem Druck ebenso zu erwärmen wie dieselbe Menge bei gleichbleibendem Volumen, ist mehr Wärme nötig. Es ist also $c_p > c_v$, und $c_p - c_v$

entspricht genau der von der Luft geleisteten Arbeit; auf diesem Wege wurde auch von MAYER zuerst die Äquivalentzahl zwischen Wärme und Arbeit berechnet. c_p kann man direkt finden, indem man Luft zuerst auf eine bestimmte Temperatur bringt und dann in Röhren durch ein Wasserkalorimeter leitet; in diesem wird die Wärme abgegeben und kann in der schon besprochenen Weise berechnet werden. c_v kann man deshalb nicht direkt bestimmen, weil sich ja bei der Abkühlung im Kalorimeter das Volumen ändern muß.

Dagegen ist das Verhältnis $\frac{c_p}{c_v} = k$ bekannt; es beträgt für alle Gase bei einem Atmosphärendruck 1,41. Der Ausdruck \sqrt{k} ist bereits bei der Akustik [§ 71] als sogenannter LAPLACE'scher Faktor erwähnt worden, mit dem die Formel für die Schallgeschwindigkeit $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$ multipliziert werden muß.

Diese Formel wäre nur richtig, wenn die an den Verdichtungsstellen der Schallwellen immer entstehende Wärme abströmen, also vernachlässigt werden könnte. Da aber Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, da ferner die Temperaturschwankungen in den Schallwellen sehr rasch verlaufen, so ist dies hierbei nicht der Fall. (Man nennt übrigens derartige Prozesse, bei denen ein Wärmeaustausch mit der Umgebung nicht stattfindet, *adiabatisch*.) In den Verdichtungen wird daher die elastische Spannung durch die Erwärmung noch vermehrt, in den Verdünnungen durch die Abkühlung noch mehr verringert. Dadurch findet eine Erhöhung der Schallgeschwindigkeit statt, die, wie LAPLACE zeigte, dem Faktor k entspricht. Umgekehrt kann natürlich aus einer bekannten Schallgeschwindigkeit $\frac{c_p}{c_v}$ gefunden werden.

Aus $\frac{c_p}{c_v}$ und c_p ergibt sich dann c_v .

E. Fortpflanzung der Wärme.

§ 103. **Wärmeleitung.** Die Fortpflanzung der Wärme erfolgt zum Teil derartig, daß sich die Bewegung der Moleküle direkt auf benachbarte überträgt. Dieser Modus heißt Wärmeleitung, und zwar *innere*, wenn es sich um die Moleküle desselben Körpers handelt, *äußere*, wenn dabei die Bewegung auf einen anderen Körper übergeht. Gute Wärmeleiter sind besonders die Metalle, unter denen wieder Silber die erste Stelle einnimmt. Es ist bemerkenswert, daß der Leitungsfähigkeit für Wärme die für Elektrizität proportional ist. Auf der guten Leitungsfähigkeit der Metalle beruht z. B. die

¹ *à* privatim, *διὰ βέλω* hindurchgehen.