

Wärme übergeführten Teil des gesamten Energievorrates bezeichnete, der eben nicht mehr in Arbeit zurückverwandelt werden kann.

§ 79. **Wärme durch chemische Vorgänge.** Mehr noch als durch mechanische Arbeit entsteht auf der Erde Wärme durch chemische Prozesse. Besonders kommen hier die Verbindungen von Körpern mit Sauerstoff, d. h. also Verbrennungen, in Betracht. So entsteht z. B. bei der Verbrennung von 1 kg Wasserstoff eine Wärme von 34 000 Kalorien. Diese ist der Ausdruck dafür, daß vorher getrennte Moleküle, die eine große Affinität zu einander besitzen, mit großer Heftigkeit aneinanderprallen und in stürmische Schwingungen geraten. Auf der Verbrennung der eingeführten Nahrungsmittel resp. der Körperbestandteile beruht die Eigentemperatur der Organismen, die auch den sogenannten Kaltblütern zukommt.

§ 80. **Sonnenwärme.** In letzter Linie stammt alle Erdwärme von der Sonne ab. Um nur zwei Beispiele anzuführen, werden durch die Sonnenstrahlen mit Hilfe des Chlorophylls in den Pflanzen die komplizierten Verbindungen aufgebaut, durch deren Verbrennung der tierische Organismus seine Wärme erhält, und auf dieselbe Quelle sind die unermesslichen Wärmevorräte zurückzuführen, die in den Steinkohlenlagern aufgespeichert sind. Über die Entstehung der Sonnenwärme gibt es natürlich nur Hypothesen. Viele nehmen mit KANT-LAPLACE an, daß durch Rotation von Nebelmassen glühende Weltkörper entstanden seien, die sich allmählich von der Rinde zum Zentrum abkühlen. Während die Sonne noch im ersten Stadium ist, hat sich die Erde bis auf einen feurigen Kern schon abgekühlt, und im Monde ist dieser Prozeß bereits ganz beendigt. Jedenfalls kann die Verdichtung, welche diese Abkühlung begleiten muß, mit Recht als ungeheuer große Wärmequelle angesehen werden. Die Sonnenwärme wird aber wahrscheinlich auch dadurch, trotz der großen Ausstrahlung, erhalten, daß fortwährend ungezählte kleine Weltkörper, Asteroiden, in sie hineinstürzen, wobei natürlich mechanische Arbeit in Wärme übergeht.

B. Ausdehnung durch Wärme.

§ 81. **Ausdehnungskoeffizient.** Mit wenigen Ausnahmen werden alle Körper durch Wärme ausgedehnt und umgekehrt durch Kälte zusammengezogen. Am meisten dehnen sich die Gase aus, weniger die flüssigen, und am wenigsten die festen Körper. Die Zahl, welche

angibt, welchen Bruchteil der ursprünglichen Größe die Ausdehnung pro Grad der Temperaturerhöhung beträgt, heißt Ausdehnungskoeffizient (α). Man unterscheidet einen linearen, wenn die Ausdehnung nur in einer Richtung erfolgt (nur bei festen Körpern möglich) von dem kubischen; letzterer beträgt das Dreifache des ersteren.

Dehnt sich nämlich jede Seite eines Würfels um α aus, so wird sie $1 + \alpha$. Das Volumen des ganzen Würfels wird also $(1 + \alpha)^3 = 1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3$. Da aber α für feste Körper schon sehr klein ist ($< 0,0001$), so können die höheren Potenzen unberücksichtigt bleiben. Auch der kubische Ausdehnungskoeffizient wird kurzweg mit α bezeichnet.

Bei Flüssigkeiten, die in Gefäßen eingeschlossen sind, wird nur die scheinbare Ausdehnung beobachtet, d. h. die Differenz der Ausdehnung des Gefäßes und derjenigen der Flüssigkeit. Die wahre Ausdehnung von Flüssigkeiten kann man u. a. mittels kommunizierender Röhren bestimmen.

Wird der eine Schenkel kommunizierender Röhren auf der Temperatur 0 erhalten (indem man ihn z. B. mit schmelzendem Eis umgibt), der andere auf t° erwärmt, so wird eine Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, in beiden Schenkeln verschieden hoch stehen. Dann verhalten sich die Volumina der Flüssigkeit in beiden Schenkeln wie die Höhen, $\frac{v}{v_0} = \frac{h}{h_0}$, wobei v_0 und h_0 Volumen bzw. Höhe bei 0° , v und h bei t° bedeuten. Nun ist nach § 82 $v = v_0(1 + \alpha t)$. Daraus folgt $\alpha = \frac{1}{t} \cdot \frac{v - v_0}{v_0} = \frac{1}{t} \cdot \frac{h - h_0}{h_0}$.

§ 82. **Ausdehnung der Gase.** Während feste und flüssige Körper sich nicht ganz regelmäßig ausdehnen, dehnen sich alle Luftarten fast ganz gleichmäßig aus, nämlich für jeden Grad Celsius um $\frac{1}{273}$ ihres Volumens (Gesetz von Gay-Lussac). Hat also ein Gas bei 0° das Volumen v_0 , dann hat es bei 1° das Volumen $v_0 + \alpha v_0$, bei t° das Volumen $v_0 + t\alpha v_0$. Es ist also

$$v_1 = v_0(1 + \alpha t).$$

In Worten: bei gleichbleibendem Drucke sind die Gasvolumina der Temperaturzunahme proportional. Bleibt dagegen das Volumen unverändert, so wächst der Druck des Gases für jeden Grad der Temperaturzunahme um $\frac{1}{273}$ des Druckes bei 0° . Es ist also

$$p_1 = p_0(1 + \alpha t).$$

In Worten: bei gleichbleibendem Volumen sind die Gasdrucke der Temperaturzunahme proportional. Diese beiden Gesetze kann man durch eine einzige Formel ausdrücken, die zu-

gleich auch das BOYLE-MARIOTTE'sche Gesetz [§ 48] umfaßt (wenn nämlich $t = 0$ wird):

$$p_1 v_1 = p_0 v_0 (1 + \alpha t).$$

§ 83. **Absoluter Nullpunkt.** Die gewöhnliche Unterscheidung zwischen Wärme und Kälte ist offenbar ganz willkürlich. Beide sind nur quantitativ, nicht qualitativ voneinander verschieden. Da Wärme auf Molekularbewegung beruht, so kann von einem Nullpunkt der Wärme nur die Rede sein, wenn keine derartige Bewegung mehr stattfindet. Nach der kinetischen Gastheorie [§ 45] kann dann das Gas aber auch keine Spannung mehr haben, da ja der ausgeübte Druck nur eine Folge der Molekularbewegung ist. Es wird also $p_0(1 + \alpha t) = 0$. Da nun p_0 , der Druck bei 0° , eine bestimmte Größe ist, so ist der andere Faktor dieses Produktes $1 + \alpha t = 0$, woraus $t = -273$ folgt. Der absolute Nullpunkt liegt also bei -273° . Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, tiefere Temperaturen als -259° herzustellen. Zur Umwandlung gewöhnlicher Temperaturangaben in absolute Temperaturen hat man nur 273 zu addieren. Bezeichnet man $273 + t$ mit T , so lauten obige Formeln

$$v = v_0 (1 + \alpha t) = \frac{v_0 T}{273}$$

$$p = p_0 (1 + \alpha t) = \frac{p_0 T}{273}.$$

Bei gleichem Druck sind also die Volumina, bei gleichem Volumen die Spannungen der Gase direkt proportional der absoluten Temperatur.

§ 84. **Ausdehnung des Wassers.** Das Wasser bildet eine bemerkenswerte Ausnahme von obigem Gesetze. Wenn es bei 0° erwärmt wird, so dehnt es sich nicht aus, sondern zieht sich zusammen, bis es bei 4° Celsius seine größte Dichtigkeit erreicht hat. Von da an dehnt es sich wieder aus. Diese Eigenschaft ist sehr wichtig für die im Wasser lebenden Organismen, da sonst stillstehende oder langsam fließende Gewässer bis auf den Grund gefrieren würden. So aber kühlt sich die oberste Schicht bis auf 4° ab und sinkt infolge ihrer größeren Dichte und Schwere nach unten. Die wärmeren Schichten steigen herauf und werden auch allmählich abgekühlt. Schließlich bleiben die kälteren Schichten oben, ebenso wie das Eis, welches spezifisch noch leichter als Wasser von 0° ist und somit eine schützende Decke bildet. Manche Körper verhalten sich ähnlich wie Wasser, z. B. einige Jodsalze.

§ 85. **Thermometer.** Da die Ausdehnung der Körper durch die Wärme Hand in Hand mit der Erwärmung geht, dient sie zur

Temperaturmessung. Gewöhnlich benutzt man Quecksilberthermometer, da Quecksilber sich ziemlich regelmäßig ausdehnt [cf. § 81 scheinbare Ausdehnung]. Ein gewöhnliches Thermometer besteht aus einem Gefäße mit Quecksilber und einer damit verbundenen luftleeren, kapillaren Röhre, neben der eine Skala angebracht ist. Die Röhre wird bei der Herstellung zugeschmolzen, nachdem durch Kochen des eingefüllten Quecksilbers alle Luft vertrieben ist. Da Quecksilber bei -39° gefriert, wendet man in kalten Gegenden das Weingeistthermometer an. Als Fundamental- oder Fixpunkte wählt man gewöhnlich den Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers. Oberhalb des Gefrier- oder Eispunktes, der mit 0 bezeichnet wird, gibt das Thermometer Wärmegrade an, unter demselben sog. Kältegrade [cf. § 83]. Als Empfindlichkeit des Quecksilberthermometers bezeichnet man die Längsverschiebung des Quecksilberfadens für 1° Temperaturerhöhung. Den Abstand zwischen beiden Fundamentalpunkten teilt REAUMUR in 80 Grade, CELSIUS in 100; letztere Einteilung ist jetzt allgemein üblich. Nur in England und seinen Kolonien gebraucht man die Einteilung nach FAHRENHEIT. Hier wird als Nullpunkt die Temperatur einer Mischung von Kochsalz, Schnee und Salmiak angenommen; von hier bis zum Gefrierpunkt des Wassers sind 32 Grad, von diesem bis zum Siedepunkt des Wassers 180, im ganzen also 212.

Folgende Tabelle dient zur Umrechnung:

$$n^{\circ}(C) = \frac{4}{5} n^{\circ}(R) = \frac{9}{5} n^{\circ} + 32^{\circ}(F)$$

$$n^{\circ}(R) = \frac{5}{4} n^{\circ}(C) = \frac{9}{4} n^{\circ} + 32^{\circ}(F)$$

$$n^{\circ}(F) = \frac{5}{9} (n^{\circ} - 32^{\circ})(C) = \frac{4}{9} (n^{\circ} - 32^{\circ})(R).$$

Zweckmäßiger sind die Luftthermometer, da sie sehr genau sind und bei allen Temperaturen benutzt werden können. Fig. 57 stellt schematisch einen solchen dar. Wird die in *a* befindliche Luft erwärmt, so verdrängt sie das Quecksilber in *b*, aus dessen Stellung dann der Druck und somit nach § 82 auch die Temperatur der Luft gefunden wird. Am allerfeinsten sind aber die thermoelektrischen Apparate, die erst später besprochen werden sollen. Um die höchsten und niedrigsten Temperaturen während einer bestimmten Zeit anzuzeigen, dienen die, meist horizontal aufgestellten Maximum- und Minimumthermometer. Bei ersteren schiebt eine Quecksilbersäule ein Stahlstäbchen vor, das beim Zurückgehen derselben liegen bleibt; bei letzteren nimmt eine Weingeistsäule ein Glasstäbchen mit zurück, kann es aber nicht vorwärts schieben.

§ 86. **Luftströmungen.** Bei der Ausdehnung durch Wärme muß das spezifische Gewicht eines Körpers abnehmen, da ja dieselbe Masse auf einen größeren Raum verteilt wird. Daraus folgt, daß z. B. in einer Stube die wärmere Luft stets nach oben strömen wird. Darauf beruht auch eine Art der Ventilation, indem in eine Öffnung an der Decke eine Flamme gestellt wird. Auf die ungleiche Erwärmung der Luft sind auch die Winde zurückzuführen, besonders die Passate. Am Äquator steigt die erwärmte Luft in die Höhe, und zu ihrem Ersatze strömt von den Polen her Luft dahin. Ebenso lassen sich die Winde erklären, die von der Küste nach der See und umgekehrt wehen.

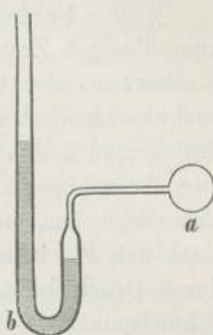


Fig. 57.

C. Anderung des Aggregatzustandes.

§ 87. **Druck und Wärme.** Bei genügender Wärmezufuhr wird die Vergrößerung der Intermolekularräume, die sich zunächst durch Ausdehnung der Körper kundgibt, so beträchtlich, daß ein höherer Aggregatzustand [§ 3] resultiert. Die Wärme repräsentiert also gewissermaßen eine zentrifugale Kraft: sie entfernt die Moleküle voneinander. Im Gegensatz dazu ist der Druck eine zentripetale Kraft: durch Kompression werden die Moleküle genähert. Er wirkt also in demselben Sinne wie die Kälte. Bei gleichem Druck erfolgt der Übergang in einen neuen Aggregatzustand stets bei derselben Temperatur. Wasser geht z. B. bei 100° (C) und 760 mm Barometerstand in Wasserdampf über. Man mag noch soviel Wärme zuführen, die Temperatur steigt nicht eher, als bis sämtliches Wasser in Dampf übergeführt ist. Früher sagte man, die zugeführte Wärme sei „latent“ geworden, da sie ja scheinbar verschwindet. Sie leistet aber eine bestimmte Arbeit, indem sie die Moleküle soweit voneinander entfernt, wie es eben für den luftförmigen Zustand charakteristisch ist. Man nennt sie heute Verdampfungswärme, und analog spricht man von Schmelzwärme. Umgekehrt wird beim Übergang von einem höheren zu einem niedrigeren Aggregatzustand Wärme frei, da für die verminderte potentielle Energie der Moleküle die kinetische größer wird. Druck muß nun den Übergang in einen höheren Aggregatzustand erschweren, weil er ja der Ausdehnung der Moleküle entgegenwirkt; d. h. es wird mehr Wärme dazu nötig sein, der Übergang erfolgt bei höherer Temperatur. Andererseits