

zusammengesetzte linksdrehende Quarzplatte *F* und 3. das als Analysator dienende Nicol'sche Prisma *G* ins Auge. Die Dicke der Quarzplatte *F* ist dadurch veränderlich, dass die beiden Quarzkeile, aus denen sie besteht, sich durch eine Mikrometerschraube an einander verschieben lassen. Stimmen die Platten *E* und *F* in der Dicke überein, so heben sich ihre drehenden Wirkungen gleichzeitig auf, und beide Hälften der Platte *D* bieten, wenn *AB* keine Flüssigkeit enthält, die Uebergangsfarbe dar.

Wird nun die Flüssigkeit eingeschaltet, so giebt sich das geringste Drehungsvermögen derselben dadurch kund, dass die beiden Hälften der Platte *D* ungleich gefärbt erscheinen: die eine blau, die andere roth. Durch Drehung an der Mikrometerschraube verändert man jetzt die Dicke der Quarzplatte *F*, bis die Uebergangsfarbe (in beiden Hälften von *D*) wieder hergestellt ist. Die Grösse der Drehung ist dem Procentgehalt der Lösung proportional.

11. Wärmelehre.

Natur der Wärme. Wie Schall und Licht ist auch die Wärme, die wir durch den in der Haut verbreiteten Wärme- oder Temperatursinn wahrnehmen, auf einen Bewegungsvorgang zurückzuführen. Man denkt sich denselben als eine Bewegung der Körpermoleküle, und zwar erfolgt dieselbe bei festen Körpern in Form regelmässiger Schwingungen um eine feste Gleichgewichtslage; bei flüssigen Körpern fehlt die letztere, aber die Moleküle entfernen sich doch nicht über eine gewisse Grenze hinaus; bei allen luftförmigen Körpern endlich bewegen sich die Moleküle geradlinig fort oder führen kreisende Bewegungen aus, nur gehemmt durch den Zusammenstoss und die in Folge dessen stattfindende Zurückwerfung an anderen Molekülen oder an begrenzenden Wänden.

Diese Vorstellungen gründen sich vor allem auf die Thatsache der Umwandlung von mechanischer Arbeit in Wärme und umgekehrt. (Siehe später.)

Die verschiedenen Grössen der Wärme unterscheiden wir als höhere und niedrigere Wärmegrade oder Temperaturen.

Werden Körper von verschiedener Temperatur in Berührung gebracht, so gleichen sich ihre Temperaturen allmählich aus: es vollzieht sich ein Uebergang von Wärme von dem wärmeren zu dem weniger warmen Körper.

Kälte ist nichts wesentlich anderes als Wärme, sondern nur ein niedriger Grad der letzteren. Wir bezeichnen einen Gegen-

stand oder Stoff als kalt, wenn er uns Wärme in grösserer oder geringerer Menge entzieht, bezw. zu entziehen im Stande ist.

Ausdehnung durch die Wärme. Eine Hauptwirkung der Wärme ist die, dass sie die Körper ausdehnt oder genauer: dass ein Körper, dem Wärme zugeführt wird, sein Volum vergrössert, ein Körper, dem Wärme entzogen wird, sein Volum verkleinert.

Von festen Körpern werden die Metalle besonders stark ausgedehnt. (Zwischen den hinter einander liegenden Eisenbahnschienen werden kleine Zwischenräume gelassen, damit sie bei der in Folge von starker Erwärmung im Sommer eintretenden Ausdehnung sich nicht verwerfen, d. h. sich krümmen und seitlich heraustreten, oder aber zersprengt werden; die Bolzen eines Plätt-eisens müssen kleiner sein als dessen Höhlung, damit sie im rothglühenden Zustande hineinpassen.)

Werden spröde Körper, z. B. Glas, einem schnellen Temperaturwechsel ausgesetzt, so zerspringen sie, was darin seinen Grund hat, dass die neue Temperatur, sei sie nun höher oder niedriger, nicht von allen Körpertheilen gleichmässig angenommen wird, so dass sie sich in verschiedenartiger Weise ausdehnen oder zusammenziehen. Je dünner ein Glas, desto geringer ist die Gefahr des Zerspringens in Folge von Temperaturwechsel.

Um einen festsitzenden Glasstöpsel zu lockern, erwärmt man den Flaschenhals, weil sich dadurch der Flaschenhals ausdehnt, während der noch kalt bleibende Stöpsel sein Volum beibehält.

Kompensationspendel der Uhren.

Flüssige Körper werden durch die Wärme stärker ausgedehnt als feste; besonders zeichnen sich in dieser Hinsicht Aether, Schwefelkohlenstoff, Benzin und Petroleum aus. Gefässe, die derartige Flüssigkeiten enthalten, dürfen daher nicht ganz gefüllt sein, da sonst bei einer Temperaturzunahme die Gefässe leicht zersprengt werden.

Eine Ausnahme hinsichtlich der Ausdehnung durch die Wärme macht das Wasser. Es zieht sich bei Erwärmung von 0° auf 4° C. zusammen, worauf es sich bei weiterer Temperaturzunahme wieder mit wachsender Geschwindigkeit ausdehnt.

Am stärksten werden die Gase durch die Wärme ausgedehnt. Lässt man eine Flasche mit langem dünnen Halse mit der Oeffnung in Wasser eintauchen und erwärmt den Bauch der Flasche, so entweicht ein Theil der in der Flasche enthaltenen Luft und steigt in Blasenform im Wasser auf. Hält man mit der Erwärmung an, so zieht sich die Luft in der Flasche zusammen und das Wasser steigt in Folge des äusseren Luftdrucks in dem Halse der Flasche empor, indem es den Raum der zuvor entwichenen Luft einnimmt.

Ausdehnungskoeffizient. Die Grösse der Ausdehnung eines Körpers durch die Wärme giebt der sogenannte Ausdehnungskoeffizient an. Bei festen Körpern unterscheidet man einen linearen und einen kubischen Ausdehnungskoeffizienten, bei flüssigen und gasförmigen Körpern kann nur von einem kubischen Ausdehnungs-

koefficienten die Rede sein. — Der lineare Ausdehnungskoeffizient ist das Verhältniss der Längenzunahme bei Temperaturerhöhung um 1° C. zur ursprünglichen Länge; der kubische Ausdehnungskoeffizient ist das Verhältniss der Volumzunahme bei Temperaturerhöhung um 1° C. zum ursprünglichen Volum. — Der kubische Ausdehnungskoeffizient fester Körper ist gleich dem dreifachen linearen.

Der lineare Ausdehnungskoeffizient des Eisens ist $= 0,000\ 0123$. Der kubische Ausdehnungskoeffizient des Olivenöls ist $= 0,0008$, der des Quecksilbers $= 0,00018$.

Gay-Lussac'sches Gesetz. Die Gase haben alle denselben Ausdehnungskoeffizienten; oder mit anderen Worten: alle Gase werden durch die Wärme gleich stark ausgedehnt. (Gay-Lussac'sches Gesetz; 1802.)

Der Ausdehnungskoeffizient ist $= 0,003665$ oder $\frac{1}{273}$; man bezeichnet ihn mit α .

Ist das Volum eines Gases bei $0^{\circ} = v_0$, so ist es bei t° :

$$v_t = v_0 + v_0 \alpha t = v_0 (1 + \alpha t) \dots (1).$$

Bezeichnet man den äusseren Druck, unter dem das Volum v_t steht, der derselbe wie der für das Volum v_0 ist, mit p_0 und bringt durch vermehrten Druck das Gas auf sein Volum bei 0° zurück, so ist, wenn dieser neue Druck, unter dem jetzt das Volum v_0 bei der Temperatur t° steht, p_t genannt wird, nach dem Mariotte'schen Gesetz:

$$p_t : p_0 = v_t : v_0 = v_0 (1 + \alpha t) : v_0 = 1 + \alpha t, \\ \text{oder: } p_t = p_0 (1 + \alpha t) \dots (2).$$

Hieraus und aus Formel (1) folgt, da die innere Spannung eines Gases gleich dem äusseren Druck ist, unter dem es steht: Wenn eine bestimmte Menge Gas bei gleichbleibendem Volum auf eine bestimmte Temperatur erhitzt wird, so nimmt die innere Spannung in demselben Verhältniss zu, wie bei gleichbleibendem äusseren Druck (bezw. innerer Spannung) das Volum zunehmen würde.

Abnahme der Dichtigkeit bei Erwärmung. Da mit Erhöhung der Temperatur das Volum der Körper sich vergrössert, ihre Masse und somit ihr absolutes Gewicht aber dasselbe bleibt, so muss ihr spezifisches Gewicht oder ihre Dichtigkeit abnehmen.

Hiervon macht das Wasser (nach S. 117) zwischen 0° und 4° C. eine Ausnahme. Da dasselbe sich, von 0° auf 4° erwärmt, zusammenzieht und erst danach wieder ausdehnt, so hat es bei $+4^{\circ}$ C. seine grösste Dichtigkeit. — Daher hat in allen tieferen

Gewässern das unten (auf dem Boden) befindliche Wasser eine Temperatur von $+4^{\circ}$ C.

Thermometer. Zur Messung der Temperaturen bedient man sich des Thermometers. Die Anwendung desselben gründet sich einerseits auf die Thatsache, dass die Temperaturzustände sich berührender Körper sich ausgleichen, andererseits auf die Erfahrung, dass die Körper durch die Wärme ausgedehnt werden.

Bei den gewöhnlich gebrauchten Thermometern wird der Grad der Erwärmung an der Ausdehnung einer in einer Glasröhre eingeschlossenen Flüssigkeit gemessen. Diese Flüssigkeit ist entweder Quecksilber oder blau oder roth gefärbter Weingeist (Alkohol). Das Gefäß ist eine luftleer gemachte enge Glasröhre, welche unten in eine Kugel (oder ein Gefäß von anderer Form) ausläuft, oben verschlossen und überall gleich weit ist.

Die Entfernung der Luft geschieht auf die Weise, dass man die Röhre, nachdem sie mit Quecksilber gefüllt worden ist, soweit erhitzt, dass der Inhalt überläuft, und sie dann schnell zuschmilzt. Ob die Röhre überall gleich weit ist, erkennt man daran, dass ein Quecksilbertropfen, den man (vor der Füllung des Thermometers) in die Röhre hineingebracht hat und in derselben hin- und herlaufen lässt, überall dieselbe Länge aufweist.

An der Glasröhre ist eine Gradeintheilung oder Skala angebracht, nach deren Einrichtung und Beschaffenheit drei Arten von Thermometern unterschieden werden: das Celsius'sche (*C.*), das Réaumur'sche (*R.*) und das Fahrenheit'sche (*F.*). (Celsius, Schwede, 1742; Réaumur, Franzose, 1730; Fahrenheit, Deutscher, 1714.) Das Celsius'sche Thermometer ist in der Wissenschaft allgemein in Gebrauch, in Frankreich auch im gewöhnlichen Leben; in Deutschland ist das Réaumur'sche Thermometer im gewöhnlichen Gebrauch, während die Engländer nach Fahrenheit zählen.

Jede Thermometer-Skala hat als feste Punkte oder Fundamentalpunkte den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Wassers. An jenem steht die obere Grenze der Flüssigkeit, wenn das Thermometer in schmelzenden Schnee oder schmelzendes Eis, an diesem, wenn das Thermometer in die Dämpfe siedenden Wassers gehalten wird. Sowohl schmelzender Schnee (bezw. Eis) wie die Dämpfe siedenden Wassers haben gleichbleibende oder konstante Temperaturen.

Der Abstand der beiden genannten Fundamentalpunkte, der Fundamentalabstand der Thermometerskala, wurde von Celsius in 100, von Réaumur in 80, von Fahrenheit in 180 gleiche Theile getheilt; jeder Theil heisst ein Grad. (Somit ist ein Grad des

Celsius'schen Thermometers der hundertste Theil des Abstandes zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt des Wassers.)

Den Gefrierpunkt des Wassers (auch Eispunkt genannt) bezeichneten Celsius und Réaumur als Nullpunkt der Skala, während Fahrenheit den Nullpunkt 32° unter dem Gefrierpunkt des Wassers festsetzte; er glaubte, in diesem die tiefste überhaupt vorkommende Temperatur gefunden zu haben; es war diejenige, welche durch eine bestimmte Mischung von Schnee und Salmiak erzielt wird. — Das Sieden (oder Kochen) des Wassers erfolgt nach dem Gesagten nach Celsius bei 100° , nach Réaumur bei 80° und nach Fahrenheit bei 212° über Null. (Vergl. Fig. 76.)

Die Grade über dem Nullpunkt werden als Wärme- oder besser Plusgrade, die Grade unter dem Nullpunkt als Kälte- oder besser Minusgrade bezeichnet.

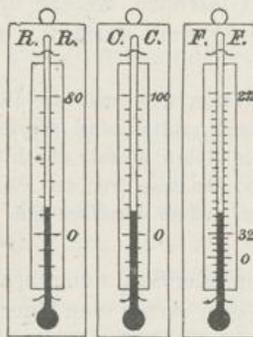


Fig. 76. Thermometer.

Da Quecksilber bei -39° G. fest wird oder gefriert, so muss zur Messung niedrigerer Temperaturen ein Weingeist-Thermometer benutzt werden, während für hohe Temperaturen ein Quecksilber-Thermometer anzuwenden ist, da Weingeist bei $+78^{\circ}$ G. siedet. Temperaturen über dem Siedepunkt des Quecksilbers ($+360^{\circ}$ C.) misst man mit einem Pyrometer (Platinstange, deren

lineare Ausdehnung durch ein Zeigerwerk angegeben wird) oder mit dem Luftthermometer (siehe unten).

Da 100° C. = 80° R. und somit 5° C. = 4° R. sind, so verwandelt man Réaumur'sche Grade in Celsius'sche, indem man erstere mit $\frac{5}{4}$ multiplicirt, und Celsius'sche in Réaumur'sche, indem man erstere mit $\frac{4}{5}$ multiplicirt.

Um Fahrenheit'sche Grade (180° F. = 100° C. = 80° R. oder 9° F. = 5° G. = 4° R.) in Celsius'sche bzw. Réaumur'sche zu verwandeln, muss man, da der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers 32° F. unter dem der beiden anderen liegt, zuerst 32 subtrahiren und dann den Rest mit $\frac{5}{9}$ bzw. $\frac{4}{9}$ multipliciren. — Umgekehrt werden Celsius'sche bzw. Réaumur'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandelt, indem man sie mit $\frac{9}{5}$ bzw. $\frac{9}{4}$ multiplicirt und zu der erhaltenen Zahl 32 addirt.

Das Luftthermometer besteht aus einem kugelförmigen, mit Luft gefüllten Gefäss, das mit einem U-förmig gebogenen, offenen Rohre in Verbindung

steht. In letzteres ist Quecksilber gefüllt, durch welches die Luft in dem Gefässe abgesperrt wird. Man richtet durch einen unten an dem Rohre angebrachten Hahn den Stand des Quecksilbers so ein, dass bei 0° das Quecksilber in beiden Schenkeln des Rohres gleich hoch steht. Dann ist die Spannung der Luft im Gefässe gleich dem äusseren Luftdruck, d. h. = 1 Atmosphäre (760 mm). Wird nun das Thermometer z. B. um t° erwärmt, so dehnt sich die Luft im Gefässe aus, und das Quecksilber steigt im offenen Schenkel des Rohres in die Höhe; durch Nachfüllen von Quecksilber wird die Luft auf ihr voriges Volum zusammengedrückt. Steht das Quecksilber im offenen Schenkel um h mm höher als in dem zum Gefässe führenden, so ist nach S. 118 Formel (2): $760 + h = 760(1 + at)$, woraus t leicht berechnet werden kann.

Maximum- und Minimum-Thermometer. Namentlich für Witterungsbeobachtungen ist es erwünscht, die höchste und niedrigste Temperatur innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes, z. B. eines Tages, kennen zu lernen. Zur Ermittlung derselben dient das Maximum- und Minimum-Thermometer. Dasselbe besteht aus zwei horizontal liegenden Thermometern, deren eins mit Quecksilber, deren anderes mit Weingeist gefüllt ist. Die Röhre des Quecksilber-Thermometers enthält einen feinen Stahlstift, der seitens des Quecksilbers keine Benetzung erfährt und daher von diesem mit vorgeschoben wird, wenn es sich in Folge einer Temperaturzunahme ausdehnt, aber liegen bleibt, wenn es sich in Folge einer Temperaturabnahme zusammenzieht. Die Röhre des Weingeist-Thermometers enthält ein dünnes Glasstäbchen, mit dem das Umgekehrte geschieht: es wird von dem Weingeist, der es benetzt, in Folge von Adhäsion mit zurückgezogen, wenn sich der Weingeist zusammenzieht, dagegen bleibt es liegen, wenn der Weingeist sich ausdehnt, indem dieser dann darüber hinfließt. Hieraus geht hervor, dass der Stahlstift die Stelle des stattgehabten Maximums der Temperatur, das Glasstäbchen die des Minimums anzeigen muss.

Hohe Hitzgrade. Einen Anhalt für ungefähre Schätzungen höherer Temperaturen giebt die Farbe, welche die Körper (vor allen das Eisen) bei denselben annehmen. Man unterscheidet die dunkle Rothglühhitze (Kirschrothglühhitze) — bei etwa 500° C., die helle Rothglühhitze — bei etwa 700° C. und die Weissglühhitze — bei etwa 1000° C.

Absolute Temperatur. Wenn in der S. 118 gegebenen Gleichung (2):

$$p_t = p_0(1 + at),$$

worin a den Werth $\frac{1}{273}$ hat, $t = -273^\circ$ C. ist, so wird $p_t = 0$, d. h. die Gase besitzen bei dieser Temperatur keine innere Spannung mehr, bzw. sie erleiden keinen äusseren Druck. Die Temperatur -273° C. nennt man den absoluten Nullpunkt der Temperatur und die von ihm aus gerechnete Temperatur $T = 273 + t$ (worin t Celsiusgrade bedeutet) die absolute Temperatur. Bei Anwendung derselben nimmt die obige Gleichung folgende Form an:

$$p_t = \frac{p_0 T}{273} \text{ und die Gleichung (1) S. 118: } v_t = \frac{v_0 T}{273}.$$

Hiernach lässt sich das Gay-Lussac'sche Gesetz folgendermaassen aussprechen: Bei gleichbleibendem Druck ist das Volum eines Gases (und bei gleichbleibendem Volum der Druck) proportional der absoluten Temperatur.

Aenderung des Aggregatzustandes. Die zweite Hauptwirkung der Wärme — nächst der Ausdehnung der Körper — ist die Aenderung des Aggregatzustandes.

Die meisten festen Körper gehen in Folge von fortschreitender Erwärmung, sofern sie dadurch keine chemische Veränderung erfahren, bei einer für jeden Körper bestimmten Temperatur in den flüssigen Aggregatzustand über. Dieser Vorgang wird als Schmelzen bezeichnet, und die Temperatur, bei welcher sich dasselbe vollzieht, heisst der Schmelzpunkt des Körpers.

Wird der verflüssigte Körper bis unter den Schmelzpunkt abgekühlt, so wird er wieder fest: er erstarrt oder gefriert.

Bei manchen festen Körpern findet, ehe sie schmelzen, ein Erweichen statt. (Eisen, Glas, Harz, Fette.)

Der Schmelzpunkt der Metall-Legirungen liegt meistens tiefer als der ihrer Bestandtheile. Die auffallendsten Beispiele bilden das Rose'sche Metall (Wismuth, Blei und Zinn) und das Wood'sche Metall (Kadmium, Wismuth, Blei und Zinn), deren Schmelzpunkte $+94^{\circ}$ C. und $+66$ bis 70° C. sind.

Im Allgemeinen stellt sich beim Schmelzen eine Volum-Vergrösserung ein, so dass die Körper im flüssigen Zustande specifisch leichter sind als im festen. Eine Ausnahme hiervon machen das Wasser und das Wismuth. Daher schwimmt Eis auf Wasser, und Gefässe, die vollständig mit Wasser gefüllt sind, werden beim Gefrieren desselben zersprengt.

Flüssige Körper gehen bei zunehmender Wärme in steigendem Maasse in den gasförmigen Zustand über; in diesem Zustand heissen sie Dämpfe. Erfolgt die Dampfbildung oder Verdampfung nur an der Oberfläche (und allmählich), was schon bei gewöhnlicher Temperatur geschieht, so heisst sie Verdunstung; erfolgt sie auch im Innern, was für jeden Körper bei bestimmter, gleichbleibender Temperatur geschieht, so bezeichnet man sie als Sieden oder Kochen.

Der Verdunstung, d. h. der Verwandlung in den gasförmigen Zustand an der Oberfläche und bei beliebiger Temperatur, unterliegen auch in mehr oder minder hohem Grade die festen Körper.

Je gesättigter der über einer Flüssigkeit befindliche Raum mit dem Dampfe der Flüssigkeit ist, d. h. je mehr von diesem Dampfe er enthält, desto schwächer verdunstet die Flüssigkeit. Durch Fortschaffung des Flüssigkeitsdampfes (z. B. durch Blasen, Fächeln oder Schwenken) wird die Verdunstung beschleunigt.

Die Zurückverwandlung eines Dampfes in eine Flüssigkeit heisst Verdichtung oder Kondensation.

Das Sieden einer Flüssigkeit ist vom äusseren Drucke abhängig, findet also unter verschiedenem Drucke bei verschiedener Temperatur statt; und zwar siedet eine Flüssigkeit unter irgend einem Drucke bei derjenigen Temperatur (Siedetemperatur), bei welcher die innere Spannung ihres Dampfes (die ja mit steigender Temperatur zunimmt — S. 118) dem auf ihr lastenden Drucke gleich ist. Je geringer also der äussere Druck — desto niedriger die Siedetemperatur; je grösser der Druck — desto höher die Siedetemperatur.

Auf hohen Gebirgen und unter der Luftpumpe tritt das Sieden des Wassers bei niedrigerer Temperatur als in der Ebene und im luffterfüllten Raume (100° C.) ein. In einem fest verschlossenen Gefässe siedet eine Flüssigkeit (wegen der zunehmenden Spannung der sich über ihr bildenden Dämpfe) erst bei höherer Temperatur als in einem offenen Gefäss. (Papin'scher Topf.)

Destillation. Eine unreine Flüssigkeit, die z. B. irgend welche Stoffe (Salze u. s. w.) gelöst enthält, kann dadurch gereinigt werden, dass man sie ins Sieden bringt und die sich entwickelnden Dämpfe durch Abkühlung wieder zu Flüssigkeiten verdichtet. Dieses Verfahren heisst Destillation.

Von grosser praktischer Bedeutung ist die Herstellung destillirten Wassers. Dasselbe wird bei der Destillation nicht nur von gelösten Salzen, sondern auch von der in ihm gelöst gewesenen Luft befreit. (Vor jedem Sieden von lufthaltigem Wasser sieht man zahlreiche Luftbläschen aufsteigen und an der Oberfläche zerplatzen; erst nach dem Entweichen der Luft tritt die Bildung von Dampfblasen ein. Dieselben werden anfänglich — wenn die oberen Schichten des Wassers noch nicht genügend erwärmt sind — von diesen wieder verdichtet, wobei ein eigenthümlich summendes Geräusch auftritt: das Singen des Wassers.)

Häufig vollzieht man die Destillation zur Trennung mehrerer Flüssigkeiten, die bei verschiedenen hohen Temperaturen sieden: verschiedene Flüchtigkeit besitzen. Die flüchtigere Flüssigkeit geht beim vorsichtigen Erwärmen über, die weniger flüchtige bleibt zurück. Lässt man mehrere Flüssigkeiten — bei verschiedenen Siedepunkten — übergehen und fängt sie gesondert auf, so heisst die Destillation eine fraktionirte.

Eine zweimal destillirte Flüssigkeit heisst rektificirt, die zweite, zur vollständigen Reinigung vorgenommene Destillation heisst Rektification.

Die Destillation wird entweder in einem metallenen (kupfernen oder zinnernen) Gefäss, der Destillirblase, vorgenommen, an die sich als Ableitungs-

rohr der zinnerne Helm oder Hut ansetzt; oder man benutzt eine Retorte, die aus Glas besteht, ungefähr die Form einer Birne hat und ein seitlich abwärts gerichtetes Ableitungsrohr besitzt; ist die Retorte oben mit einer verschliessbaren Oeffnung versehen, so heisst sie tubulirt.

Die Verdichtung der übergehenden Dämpfe geschieht entweder ohne weiteres in der Vorlage, einem Gefäss, in welches das Ableitungsrohr hineinführt

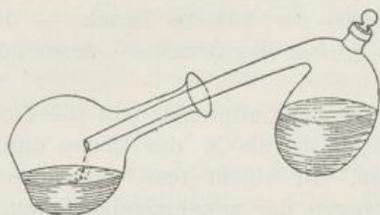


Fig. 77. Einfacher Destillationsapparat.

und welches — z. B. durch darüber laufendes kaltes Wasser — gekühlt werden kann (Fig. 77), oder — wenn die Dämpfe weniger leicht verdichtbar sind — in einem besonderen Kühlgefäss, welches aus einem mit kaltem Wasser gefüllten Behälter, dem Kühlfass, und einem durch dasselbe verlaufenden Rohre, dem Kühlrohr, besteht.

Eine besondere, sehr handliche Form des Kühlgefässes bildet der Liebig'sche Kühler (Fig. 78). Derselbe besteht aus einem in geneigter Stellung befindlichen engeren Rohre *ab*, in welches die zu verdichtenden Dämpfe (aus der Retorte *R*) eintreten, und einem das erstere umgebenden weiteren Rohre *cd*, welches fortdauernd von kaltem Wasser durchströmt wird. Das Wasser fließt

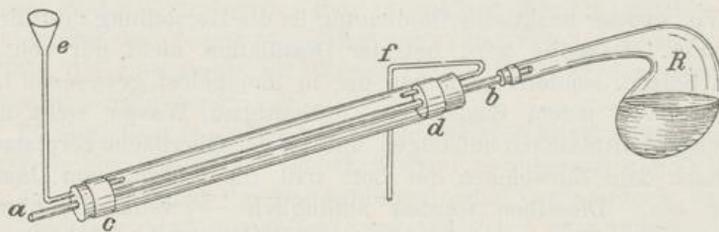


Fig. 78. Liebig'scher Kühler.

an dem tieferen Ende *c* des Rohres durch das Trichterrohr *e* zu und an dem oberen Ende *d* durch das nach unten gebogene Rohr *f* ab. Dadurch wird es bewirkt, dass das Rohr *cd* stets vollständig mit Wasser gefüllt ist. Zu diesem Zwecke muss der Kühler noch insbesondere so gestellt werden, dass der Trichter des Trichterrohres höher als das obere Ende (*d*) des weiten Rohres bzw. als das Abflussrohr *f* liegt. (Gesetz der kommunizirenden Gefässe!)

Sublimation. Von der Destillation unterscheidet sich die Sublimation auf die Weise, dass bei ihr sich Dämpfe nicht zu Flüssigkeiten verdichten, sondern unmittelbar in den festen Zustand übergehen. Wird z. B. Schwefel in einem Kessel erhitzt und werden die sich entwickelnden Dämpfe in eine kalte Kammer geleitet, so schlägt sich an deren Wandungen der Schwefel als feiner Staub nieder, den man Schwefelblumen nennt. Wird Jod in einer Retorte

erhitzt, die in eine Vorlage mündet, so setzen sich an den Wänden der letzteren dunkle Jodkrystalle ab, die aus den violetten Joddämpfen entstehen, welche in die Vorlage hinüberströmen. —

Die Sublimation dient gleich der Destillation und gleich der Krystallisation zur Reindarstellung von Körpern.

Schmelzungs- und Verdampfungswärme. Während die Temperatur eines Körpers, dem fortdauernd neue Wärme zugeführt wird, im Allgemeinen stetig wächst, bleibt die Temperatur eines schmelzenden oder siedenden Körpers trotz zugeführter Wärme so lange unverändert dieselbe, bis der neue Aggregatzustand vollkommen hergestellt ist.

Es dient demnach beim Schmelzen und Verdampfen eine gewisse Wärmemenge nicht zur Temperaturerhöhung, sondern lediglich zur Aenderung des Aggregatzustandes; dieselbe geht äusserlich — für das Gefühl und die Anzeigen des Thermometers — verloren und heisst daher latente oder gebundene Wärme. Die für die Schmelzung verbrauchte latente Wärme heisst Schmelzungswärme, die für die Verdampfung verbrauchte heisst Verdampfungswärme.

Die Schmelzungswärme des Eises ist so gross, dass sie genügen würde, eine gleich grosse Gewichtsmenge Wasser von 0° auf $79,25^{\circ}$ C. zu erwärmen.

Die Verdampfungswärme des Wassers ist nahezu 7 mal so gross.

Wärmeeinheit. Diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur eines Kilogramms Wasser um 1° C. zu erhöhen, nennt man Wärmeeinheit oder Kalorie.

Hiernach ist die Schmelzungswärme des Eises zu Folge der vorstehenden Angabe = 79,25 Kalorien. Die Verdampfungswärme des Wassers ist = 537 Kalorien.

Freiwerden von Wärme. Wie beim Uebergang aus einem dichterem in einen dünneren Aggregatzustand Wärme verbraucht wird, wird umgekehrt beim Uebergang aus einem dünneren in einen dichterem Aggregatzustand Wärme erzeugt oder — nach älterer Ausdrucksweise — frei.

Der Wärmeverbrauch beim Schmelzen und Verdampfen (und desgleichen die Wärmeerzeugung bei den umgekehrten Vorgängen) erklärt sich aus der Vorstellung, die man von der Natur der Wärme hat (S. 116). Fassen wir den Process der Schmelzung näher ins Auge! Bei demselben erfahren die Körpertheilchen (im Allgemeinen) eine Trennung von einander; damit diese eintrete, ist eine gewisse Arbeit erforderlich, welche die Wärme — als eine besondere Form der Bewegung — zu leisten im Stande ist. Da eine gewisse Wärmemenge diese Arbeit verrichtet, kann sie keine andere Wirkung ausüben, insbesondere keine Ausdehnung der umgebenden Körper (des Quecksilbers im Ther-

rometer u. s. w.) herbeiführen. Sie wird vielmehr für die Schmelzung verbraucht.

Lösungswärme. Da die Auflösung eines festen Körpers in einer Flüssigkeit mit einer Vertheilung — gleichsam auch einer Verflüssigung — des ersteren verbunden ist, so wird bei derselben wie beim Schmelzen gleichfalls Wärme verbraucht. (Beispiele: Lösung von Salpeter oder Salmiak in Wasser.)

Salzlösungen gefrieren bei niedrigerer Temperatur als reines Wasser. Daher wird eine Mischung von Kochsalz und Schnee flüssig, und in Folge der Verflüssigung sinkt die Temperatur. Man bezeichnet aus diesem Grunde ein derartiges Gemenge als Kältemischung. (Die beste Kältemischung aus Kochsalz und Schnee geschieht im Verhältniss 1:3; andere Kältemischung: 5 Theile Salmiak, 5 Theile Salpeter, 19 Theile Wasser.)

Verdunstungskälte; Eismaschine. Diejenige Wärme, welche beim Verdunsten einer Flüssigkeit verbraucht wird, entnimmt die verdunstende Flüssigkeit der Umgebung, so dass letztere abgekühlt wird: Verdunstungskälte. (Beispiele: Das Besprengen der Strassen; Kältegefühl, wenn man geschwitzt ist u. s. w.)

Auf der Benutzung der Verdunstungskälte beruht die Einrichtung der Eismaschinen.

Die Carré'sche Eismaschine besteht aus zwei Metallbehältern, die durch eine Röhre mit einander in Verbindung stehen. In dem einen Behälter befindet sich eine concentrirte wässrige Ammoniaklösung, der andere ist leer und wird von aussen durch Wasser gekühlt. Durch Erhitzen des ersten Kessels wird das gasförmige Ammoniak aus der Lösung ausgetrieben (Steigerung des inneren Gasdrucks) und gelangt in den zweiten Behälter, wo es sich in Folge des hohen Druckes, der in dem aus beiden Gefässen gebildeten geschlossenen System herrschend wird, zu flüssigem Ammoniak verdichtet. Wird nun das Erhitzen eingestellt, so vermag das in dem ersten Behälter zurückgebliebene Wasser wieder Ammoniak zu absorbiren, und es tritt eine schnelle Verdunstung des Ammoniaks im zweiten Behälter ein, die solche Kälte erzeugt, dass in einem in diesen Behälter eingehängten Blecheylinder Wasser, welches er enthält, gefriert. —

Bei den Aether-Eismaschinen wird Aether durch eine Luftpumpe zum Verdampfen gebracht; durch Abkühlung werden die Aetherdämpfe verdichtet und flüssig in den Kälteerzeuger zurückgeleitet. Die bei der Verdunstung des Aethers entstehende Kälte wird zur Eiserzeugung benutzt.

Kritische Temperatur. Da eine Flüssigkeit um so schwerer siedet, je grösser der äussere Druck ist, unter dem sie steht (S. 123), so lässt sich ein

Flüssigkeitsdampf bei einer bestimmten, gleichbleibenden Temperatur dadurch verdichten, dass man einen passenden Druck auf ihn ausübt. Das Gleiche gilt für solche Körper, die unter gewöhnlichen Umständen von vornherein als Gase (und nicht als Flüssigkeiten) bestehen.

Aber nicht bei jeder Temperatur lässt sich ein Gas durch gesteigerten Druck in den flüssigen Zustand überführen. Vielmehr giebt es (nach Andrews' Entdeckung, 1869) für jedes Gas eine bestimmte Temperatur, oberhalb welcher es sich durch keinen noch so hohen Druck verflüssigen lässt. Diese Temperatur heisst die kritische. (Für Kohlensäure ist sie = $+30,9^{\circ}$ C.)

Wird ein Gas bei seiner kritischen Temperatur steigenden äusseren Drucken ausgesetzt, so folgt es (im Allgemeinen) zuerst dem Mariotte'schen Gesetz (S. 71), bis es bei einem gewissen Druck (Kohlensäure bei 74 Atmosphären) in einen eigenthümlichen Zwischenzustand zwischen Gas und Flüssigkeit, den sogenannten kritischen Zustand eintritt.

Da für die Elemente Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff sowie einige chemisch zusammengesetzte Gase (Stickstoffoxyd, Kohlenoxyd und Grubengas) die kritische Temperatur sehr tief liegt (für Sauerstoff z. B. = -113° C.) und man dieselben früher, weil man von dem Dasein der kritischen Temperatur nichts wusste, bei nicht genügend niedrigen Temperaturen komprimierte, so gelang es nicht, sie zu verflüssigen; man nannte sie daher permanente Gase. Cailletet und Pictet haben nachgewiesen (1877), dass auch sie sich verflüssigen lassen (koëreibel sind).

Dampfsättigung; Dalton'sches Gesetz. Ein begrenzter Raum vermag bei einer jeden Temperatur nur eine gewisse Menge eines Flüssigkeitsdampfes aufzunehmen, welche die Sättigungsmenge des Raumes für die betreffende Temperatur genannt wird. Wird ihm mehr Dampf zugeführt, so verdichtet sich der Ueberschuss zur Flüssigkeit. Da die Sättigungsmenge mit der Temperatur wächst, so tritt in einem mit einem Flüssigkeitsdampfe gesättigten Raume auch dann eine Verflüssigung ein, wenn die Temperatur sinkt. Ebenso kondensiert sich der Dampf an einem kalten Körper, der in den gesättigten Raum gebracht wird. (Das „Schwitzen“ der Fensterscheiben im Herbst und Winter.)

Wie Dalton festgestellt hat (1801), nimmt ein bestimmter Raum stets dieselbe Menge eines Dampfes auf, gleichgiltig, ob er leer oder mit irgend einem andern Dampfe oder Gase von beliebiger Dichtigkeit gefüllt ist: Die Sättigungskapazität eines Raumes für den Dampf einer Flüssigkeit ist unabhängig von dem Vorhandensein und der Natur eines andern Dampfes oder Gases.

Nur den Unterschied weist ein leerer Raum gegenüber einem gaserfüllten auf, dass sich jener schneller mit Dampf sättigt als dieser.

Diesem sowie den bereits besprochenen Gasgesetzen (dem Mariotte-Boyle'schen und dem Gay-Lussac'schen — vgl. S. 71, 118 und 121) entsprechen nach van't Hoff die bei der Osmose (S. 68) herrschenden Gesetzmässigkeiten. Seiner „Lösungstheorie“ zufolge übt der gelöste Stoff auf die halbdurchlässige (das Lösungsmittel durchlassende, den gelösten Stoff zurückhaltende) Scheidewand einen Druck aus, wie wenn er ein Gas wäre, welches den gleichen Raum bei gleicher Temperatur erfüllte. Dieser Druck heisst der osmotische Druck

des gelösten Stoffes. Er wächst proportional mit der Concentration (Mariotte-Boyle'sches Gesetz) und mit der absoluten Temperatur (Gay-Lussac's Gesetz) und ist unabhängig von dem osmotischen Druck eines anderen gelösten Stoffes (Dalton's Gesetz). —

Lösungen verschiedener Körper in derselben Flüssigkeit, welche im gleichen Raume die gleiche Anzahl Moleküle gelösten Stoffes enthalten, haben gleichen Dampfdruck, gleichen osmotischen Druck und gleichen Gefrierpunkt.

Mengen beliebiger Stoffe, die im Verhältniss ihrer Molekulargewichte stehen, geben, wenn sie in gleichen Mengen desselben beliebigen Lösungsmittels gelöst werden, die gleiche Gefrierpunkts-Erniedrigung. (Raoult'sches Gesetz, 1884.)

Feuchtigkeit. Enthält ein Luftgebiet nahezu eine so grosse Menge Wasserdampf, als zu seiner Sättigung nöthig ist, so nennt man es feucht; enthält es nur wenig Wasserdampf, so nennt man es trocken. Bei demselben absoluten Gehalt an Wasserdampf erscheint eine Luftmenge (nach S. 127) um so feuchter, je niedriger ihre Temperatur ist. Tritt eine Temperaturerniedrigung ein und schreitet sie weit genug fort, so erfolgt schliesslich eine Verflüssigung eines Theiles des Wasserdampfs: ein Niederschlag. Die Temperatur, bei welcher dies geschieht, wird als Thaupunkt bezeichnet.

Unter dem absoluten Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre versteht man diejenige Gewichtsmenge Wasserdampf, die in einer Volumeinheit Luft enthalten ist. Derselbe ist im Sommer grösser als im Winter, Nachmittags grösser als kurz vor Sonnenaufgang.

Umgekehrt verhält es sich mit dem mittleren Sättigungsverhältniss oder der relativen Feuchtigkeit. Mit diesem Namen bezeichnet man den in der Luft vorhandenen, in Procenten ausgedrückten Bruchtheil der ganzen zur Sättigung bei der herrschenden Temperatur nothwendigen Wasserdampfmenge.

Zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft dienen die verschiedenen Arten der Hygrometer und das Psychrometer von August; am genauesten erfolgt sie auf dem Wege der Absorption und direkten Wägung.

Dampfmaschine. Die bedeutende Spannung, welche der sich aus dem flüssigen Wasser entwickelnde Wasserdampf, besonders bei hohen, über den Siedepunkt gesteigerten Temperaturen besitzt, wird als bewegende Kraft in den Dampfmaschinen benutzt.

Die Grösse der Spannung wird 1. daraus ersichtlich, dass derjenige Wasserdampf, der beim Sieden einer bestimmten Wassermenge bei 100° C. entsteht, einen 1700 mal so grossen Raum als die letztere einnimmt, und 2. daraus, dass Wasserdampf, dessen Spannkraft bei 100° C. gleich einer Atmosphäre ist, bei Erwärmung auf 121° die doppelte, auf 135° die dreifache, auf 145° die vierfache Spannkraft annimmt u. s. f.

Man unterscheidet gegenwärtig zwei Arten von Dampfmaschinen: die Niederdruckmaschinen (oder Maschinen mit Kondensation)

und die Hochdruckmaschinen (oder Maschinen ohne Kondensation).

Niederdruckmaschine. Eine Niederdruckmaschine (Fig. 79) besteht aus folgenden Haupttheilen: dem Dampfkessel (*DK*), dem Cylinder (*C*) mit dem Kolben (*K*), dem Kondensator (*Kds*), dem Balancier (*Ba*) und dem Schwungrad (*S*). Die neueren Dampfmaschinen werden vielfach auch ohne Balancier gebaut; es ist dann die Kolbenstange durch eine Führung unmittelbar mit der Pleuelstange des Schwungrades verbunden.

Die Erzeugung der zur Verwendung kommen sollenden Wasserdämpfe geschieht in dem Dampfkessel *DK*. Derselbe wird mit Wasser gespeist und dieses bis zum Sieden erhitzt. Da der Kessel vollständig geschlossen ist, so steigert sich die Spannkraft der Dämpfe, und das Sieden vollzieht sich bei einer höheren Temperatur als 100° C.

Um Explosionen zu verhüten, die in Folge des hohen Dampfdrucks eintreten könnten, ist an dem Kessel ein (in der Figur nicht gezeichnetes) Sicherheitsventil angebracht, das sich nach aussen zu öffnen vermag, aber von einem einarmigen Hebel, an dessen freiem Ende ein Gewicht angebracht ist, so lange niedergehalten wird, als die Spannkraft der Dämpfe im Kessel den Druck des Gewichts nicht übersteigt; wenn letzteres sich ereignet, wird das Ventil gehoben, es strömt Dampf aus und die Spannkraft der zurückbleibenden Dampfmenge wird verringert.

Ein am Kessel angebrachtes Manometer ermöglicht es, jederzeit die Grösse der Dampfspannung zu erkennen. Ein (aus Glas hergestelltes) Wasserstandsrohr zeigt den Stand des Wassers im Kessel an.

Die im Dampfkessel entwickelten Dämpfe werden durch das Dampfrohr *DR* nach dem Cylinder *C* geleitet, um in diesem den Kolben *K* auf- und niederzubewegen, der durch die Kolbenstange *dK* den um die feste Achse *A* drehbaren Balancier *Ba* bewegt, der seinerseits durch Vermittlung der Pleuelstange *Bl* und der Kurbel *Kr* die Welle des grossen Schwungrades *S* in Umdrehung versetzt. (Verwandlung der gleitenden — geradlinigen — Bewegung des Kolbens in eine drehende.) Vom Schwungrade aus wird die Bewegung auf andere Maschinen übertragen, die durch die Dampfmaschine in Betrieb gesetzt werden sollen. —

Um das abwechselnde Auf- und Niedergehen des Kolbens zu Wege zu bringen, muss der Dampf bald oberhalb, bald unterhalb des Kolbens in den Cylinder eintreten. Dies wird durch folgende Einrichtung ermöglicht: Der Cylinder besitzt zwei Oeffnungen, die

eine nahe dem Boden, die andere nahe der Decke, durch welche der innere Cylinderraum mit dem sogenannten Schieberkasten (*SK*) in Verbindung steht, in dem sich der Vertheilungsschieber *V* befindet. Dieser, von muschelartiger Gestalt, theilt den Raum des Schieberkastens in einen äusseren und einen inneren und wird durch eine Stange und eine Steuerungsvorrichtung (*W₁—E*) von der Achse des Schwungrades aus auf- und abbewegt. Geht der Vertheilungsschieber in die Höhe, so giebt er die untere Oeffnung

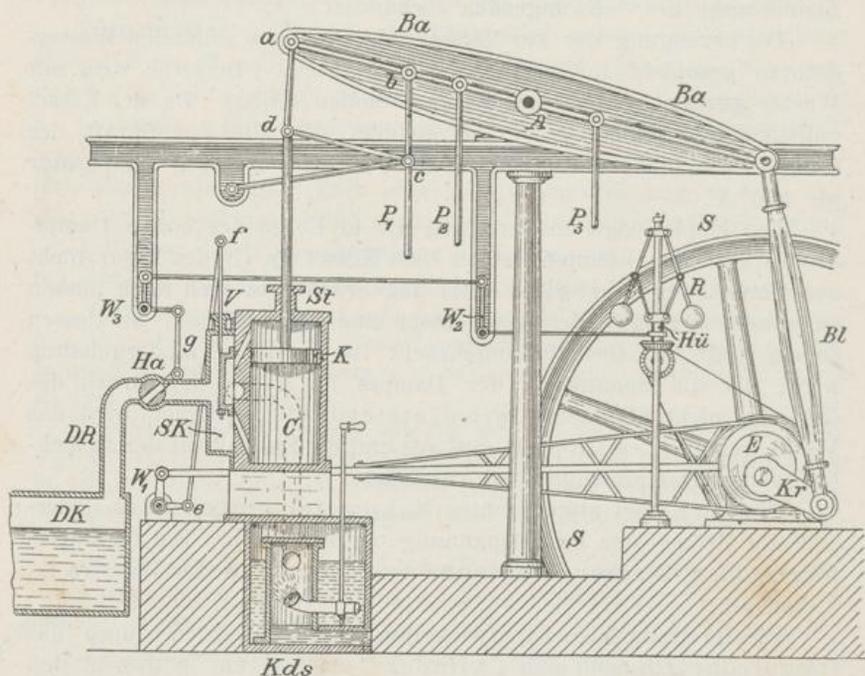


Fig. 79. Dampfmaschine (Niederdruckmaschine).

des Cylinders frei, und letzterer steht in seinem unteren Theile mit dem äusseren Schieberraum und in Folge dessen mit dem Dampfrohr *DR* in Verbindung: der Dampf strömt in den unteren Theil des Cylinders und treibt den Kolben empor. Zugleich steht aber der obere Theil des Cylinders (durch die obere Oeffnung) mit dem inneren Schieberraum in Verbindung, und der über dem Kolben befindliche Dampf vermag — durch diesen Schieberraum und ein in der Figur punktirt gezeichnetes Rohr — nach dem Kondensator *Kds* zu entweichen, wo er zu Wasser verdichtet wird. Der Kondensator ist nämlich ein luftleeres, ringsum von kaltem Wasser

umgebenes Gefäss, in das ausserdem bei jedem Kolbenstoss kaltes Wasser eingespritzt wird. — Nachdem der Kolben nahe am oberen Ende des Cylinders angelangt ist, bewirkt es die Steuerungsvorrichtung $W_1—E$, dass der Vertheilungsschieber abwärts bewegt wird. Dann tritt der Cylinder in seinem oberen Theile durch die frei werdende obere Oeffnung mit dem äusseren Schieberraum in Verbindung; der Dampf strömt in den oberen Theil des Cylinders und treibt den Kolben hinab, während, wie zuvor, der unter dem Kolben befindliche Dampf nach dem Kondensator entweicht.

Die Steuerungsvorrichtung ($W_1—E$) besteht aus der auf der Welle des Schwungrades befestigten excentrischen Scheibe E , einer von E nach W_1 verlaufenden Schubstange und dem Winkelhebel W_1 . In Folge der Drehung des Schwungrades befindet sich der grössere Theil der excentrischen Scheibe bald links, bald rechts von der Welle des Schwungrades, so dass die mit ihrem einen Ende auf die excentrische Scheibe aufgesetzte Schubstange eine wagerecht hin- und hergehende Bewegung erfährt, die durch den Winkelhebel W_1 in eine auf- und niedergehende Bewegung der Stange ef und damit des Vertheilungsschiebers V verwandelt wird.

Auf dem Schieberkasten (SK) ist eine Stopfbüchse angebracht, durch welche die führende Stange des Vertheilungsschiebers luft- oder dampfdicht hindurchgeht. Eine gleiche Stopfbüchse (St) befindet sich auf dem Cylinder, um den Dampfaustritt rings um die Kolbenstange (dK) zu verhindern.

Damit die Bewegung der Kolbenstange sich zu einer genau senkrechten gestalte, steht letztere nicht unmittelbar mit dem Balancier (Ba) in Verbindung, sondern wird von dem an dem Balancier befestigten sogenannten Watt'schen Parallelogramm $abcd$ getragen.

Das Schwungrad (S) hat den Zweck, den Gang der Maschine gleichförmig zu erhalten. Da nämlich seine Masse eine beträchtliche ist, so ändert es seinen Bewegungszustand nicht plötzlich, wenn der Dampfzutritt zum Cylinder eingeleitet oder unterbrochen wird, und verhindert insbesondere ein Stillestehen der Maschine, wenn der Dampf vorübergehend abgesperrt ist. Auch ist es das Schwungrad, das der Kurbel über ihren höchsten und ihren tiefsten Punkt (die sogenannten „todten Punkte“) hinweghilft.

Die Schnelligkeit des Ganges der Dampfmaschine wird durch den Centrifugalregulator R geregelt. Derselbe besteht aus zwei von kurzen Stangen getragenen Metallkugeln, die sich um eine senkrechte Achse drehen. An den Stangen hängt, abermals von zwei Stangen getragen, eine lose über die Achse geschobene Hülse

(*Hü*). Die Achse wird durch Vermittlung von Zahnrädern und einer Treibschnur von der Maschine in Umdrehung versetzt. Geht nun die Maschine zu schnell, so treibt die Centrifugalkraft die beiden Kugeln des Regulators von der Umdrehungsachse fort; dadurch gehen sie selbst und die Hülse *Hü* in die Höhe. An der Hülse ist aber eine Stange befestigt, welche den einen Arm eines Winkelhebels (W_2) darstellt, dessen anderer Arm eine nach links gehende Bewegung ausführt und dadurch einen weiteren Winkelhebel (W_3) bewegt, durch den eine Stange (*g*) gehoben wird, die einen im Dampfrohr angebrachten Hahn (*Ha*) schliesst, so dass der Dampfzutritt zum Cylinder gehemmt wird. Bei zu langsamem Gange der Maschine geschieht das Umgekehrte.

P_1 , P_2 und P_3 sind Pumpenstangen, die am Balancier befestigt sind und durch ihn in Bewegung gesetzt werden. Sie führen zur Kondensator- oder Luftpumpe (P_1), welche die Aufgabe hat, das warme Wasser und die eingedrungene Luft aus dem Kondensator zu entfernen; zur Speisepumpe (P_2), die einen Theil dieses warmen Wassers nach dem Dampfkessel befördert und so für dessen Speisung sorgt; und zur Kaltwasserpumpe (P_3), durch die das Einspritzen des kalten Wassers in den Kondensator bewirkt wird. —

Erfindung der Dampfmaschine durch Savari, 1688; Newcomen baute die erste sogenannte atmosphärische Maschine, 1705; ferner Papin, 1647—1714; James Watt, 1736—1819; er verbesserte 1763 die Newcomen'sche atmosphärische Maschine zur doppelt wirkenden oder Niederdruckmaschine.

Hochdruckmaschine. Die Hochdruckmaschinen unterscheiden sich von den Niederdruckmaschinen durch den Umstand, dass sie des Kondensators entbehren, dass also in ihnen der zur Verwendung gekommene Dampf nicht zu Wasser verdichtet wird; damit im Zusammenhange steht, dass die Hochdruckmaschinen mit höherer Dampfspannung arbeiten als die Niederdruckmaschinen. (Die Spannung beträgt gewöhnlich 5—8 Atmosphären gegenüber höchstens 2 Atmosphären bei den Niederdruckmaschinen). Der Grund, warum bei Anwendung höherer Dampfspannung der Kondensator entbehrt werden kann, ist der, dass in diesem Falle der Dampf den Gegendruck der atmosphärischen Luft zu überwinden im Stande ist und daher in dieselbe frei austreten kann, ohne dass (durch jenen Gegendruck) die Gesamtwirkung der Maschine wesentlich vermindert würde. Ein besonderer Vorzug der Hochdruckmaschinen ist der, dass sie weniger Raum beanspruchen als die Niederdruckmaschinen.

Zu den Hochdruckmaschinen gehören die Lokomotiven. Da

dieselben kein Schwungrad haben, wendet man, um die an der Pleuelstange befestigte Kurbel (und damit die Maschine überhaupt) über die todten Punkte hinweg zu bringen, zwei Cylinder, die derartig wirken, dass die von dem einen Cylinder aus bewegte Kurbel gerade ihre grösste Kraftleistung giebt, wenn die durch den andern Cylinder getriebene Kurbel an einem der todten Punkte angelangt ist.

Die erste Lokomotive baute George Stephenson; 1825 eröffnete er die erste Eisenbahn (Stockton—Darlington). —

Die Arbeitsleistung einer Dampfmaschine wird berechnet: nach dem Querschnitt des Kolbens, der Höhe des Cylinders (der Hubhöhe), dem Unterschiede des Dampfdrucks auf beiden Seiten des Kolbens, sowie der Anzahl der Auf- und Niedergänge des Kolbens in einer Zeiteinheit. Man giebt sie in Pferdekräften an. (S. 39.)

Specifische Wärme. Wenn man zwei gleich grosse Mengen desselben Körpers, welche verschiedene Temperaturen besitzen, mit einander mischt, so liegt die Temperatur, welche das Gemisch annimmt, genau in der Mitte zwischen den ursprünglichen Temperaturen (oder sie ist das arithmetische Mittel zwischen den ursprünglichen Temperaturen; Formel: $\frac{a^{\circ} + b^{\circ}}{2}$).

Anders verhalten sich dagegen gleich grosse Mengen zweier verschiedener Körper. Es giebt also in diesem Falle der wärmere Körper nicht eben so viel Wärme ab, wie der kältere aufnimmt, was seinen Grund nur darin haben kann, dass die Wärmemengen, welche beiden Körpern vor der Mischung innewohnten, nicht im Verhältniss ihrer Temperaturen zu einander standen.

Aus dieser Thatsache folgt, dass gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper, denen gleiche Wärmemengen zugeführt werden, sich nicht in demselben Maasse erwärmen oder mit anderen Worten: nicht dieselbe Temperatur annehmen. Es gehören vielmehr verschiedene Wärmemengen dazu, um an gleichen Gewichtsmengen zweier verschiedener Körper dieselbe Temperatursteigerung zu bewirken. — Besondere Versuche bestätigen diese Folgerung.

Diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm eines Körpers um 1° C. zu erhöhen, heisst die specifische Wärme (oder Wärmekapazität) des Körpers.

Die specifische Wärme des Wassers ist nach S. 125 gleich einer Wärmeeinheit oder einer Kalorie oder kurz = 1.

Zur Bestimmung der specifischen Wärme eines Körpers bedient man sich vorzugsweise des Kalorimeters, eines Apparats von verschiedenartiger Einrichtung, der es gestattet: entweder festzustellen, welche Temperaturzunahme

eine bestimmte Menge Wasser von bekannter Temperatur erfährt, wenn sie mit einer bestimmten Menge des auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Körpers, der untersucht werden soll, gemischt wird; oder zu ermitteln, eine wie grosse Menge Eis durch eine bestimmte Menge des erwärmten Körpers zum Schmelzen gebracht wird.

Nachfolgend einige Angaben über die spezifische Wärme einiger Stoffe:

Wasser	1,000	Schwefel	0,203
		Glas	0,177
Alkohol	0,632	Eisen	0,114
Aether	0,550	Kupfer	0,095
Olivenöl	0,504	Silber	0,057
Terpentinöl	0,440	Gold	0,032
Quecksilber	0,033	Blei	0,031
		Luft	0,267

Hieraus ist ersichtlich, dass die spezifische Wärme der Flüssigkeiten grösser als die der festen Körper ist. Das Wasser hat die grösste spezifische Wärme.

Die spezifische Wärme eines Körpers ist nicht für alle Temperaturen dieselbe, sie steigt im Allgemeinen mit der Temperatur.

Je grösser die spezifische Wärme eines Körpers ist, desto langsamer, aber in desto reichlicherem Maasse giebt er die ihm zugeführte Wärme bei der Abkühlung ab.

Eine wichtige Beziehung besteht zwischen der spezifischen Wärme der chemischen Grundstoffe im festen Aggregatzustande und ihrem Atomgewicht. Beide Grössen sind einander umgekehrt proportional, oder ihr Produkt ist stets dieselbe Zahl (6). Doch giebt es Ausnahmen (Kohlenstoff, Bor, Silicium).

Da das Produkt aus der spezifischen Wärme und dem Atomgewicht eines chemischen Grundstoffs angiebt, wieviel Wärmeeinheiten erforderlich sind, um das Atomgewicht (bezw. das Atom) um 1° C. zu erwärmen, so hat man es die Atomwärme genannt. Nach dem oben Gesagten haben somit die chemischen Grundstoffe im festen Aggregatzustande die gleiche Atomwärme. (Dulong-Petit'sches Gesetz; 1818.)

Die spezifischen Wärmen der chemisch einfachen Gase (Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Chlor) sind umgekehrt proportional ihren Dichtigkeiten. Und da die Dichtigkeit der gasförmigen Elemente proportional ihrem Molekulargewicht und im Allgemeinen auch proportional ihrem Atomgewicht ist (Avogadro'sches Gesetz, 1811), so haben die chemisch einfachen Gase (im Allgemeinen) auch gleiche Atomwärmen.

Dies gilt von der spezifischen Wärme bei konstantem Druck. Die spezifische Wärme der Gase bei konstantem Volum ist eine andere als die bei konstantem Druck; dies gilt für alle Gase. Das Verhältniss beider spezifischen Wärmen zu einander (konst. Druck : konst. Vol.) ist = 1,41, wenn der konstante Druck = 1 Atmosphäre ist.

Verbreitung der Wärme. Die Verbreitung der Wärme geschieht auf zweierlei Art: durch Leitung und durch Strahlung.

Die Wärmeleitung erfolgt von Körpermolekül zu Körpermolekül und findet daher entweder innerhalb eines Körpers oder zwischen zwei sich berührenden Körpern statt. Die Wärmestrahlung dagegen geht in derselben Weise vor sich wie die Fortpflanzung des Lichtes, auf beliebig grosse Entfernungen und ohne dass ein wägbarer Körper die Fortpflanzung vermittelte, wie es der Wärmeübergang von der Sonne zur Erde beweist. Es muss demnach der Aether die Wärmestrahlung — ebenso wie die Lichtstrahlung — bewerkstelligen.

Nicht alle Körper leiten die Wärme gleich gut. Gute Wärmeleiter nehmen die Wärme schneller auf und verlieren sie schneller als schlechte Wärmeleiter. Gute Wärmeleiter sind in erster Linie die Metalle, schlechte Wärmeleiter Holz, Stroh, Pelzwerk, Wolle, Federn, auch Glas; ferner Flüssigkeiten und Gase. Die meisten Gesteine haben ein mittleres Wärmeleitungsvermögen. — Eisen fühlt sich kälter an als Holz, weil jenes die Wärme der berührenden Hand schneller und in höherem Maasse fortleitet als dieses. Ein an einem Ende erhitzter Eisendraht wird bald auch am andern Ende heiss; hat er an diesem Ende einen hölzernen Griff oder wird er daselbst mit Papier, Stroh u. dergl. umwickelt, so nehmen wir daselbst keine Erwärmung wahr. Schutz der Eiskeller durch Stroh gegen Erwärmung. Schutz des menschlichen Körpers durch wollene Bekleidung gegen Erkältung. Vorwärmen eines Glasgefässes, in welches eine heisse Flüssigkeit gefüllt werden soll; die Unterlage muss dabei ein schlechter Wärmeleiter sein (Holz u. dergl., nicht Metall oder Stein). Erhitzen gläserner Gefässe auf einem Drahtnetz oder einem Sandbade — behufs gleichmässiger Vertheilung der Wärme. Doppelfenster — die ruhige Luftschicht zwischen beiden Fenstern ist ein sehr schlechter Wärmeleiter.

Das Wärmeleitungsvermögen der nicht regulären Krystalle ist in verschiedenen Richtungen verschieden.

In einer Flüssigkeit, die von unten her erwärmt wird, erfolgt die Verbreitung der Wärme nicht durch Leitung, sondern durch Strömungen, welche in Folge des Leichterwerdens der erwärmten Flüssigkeit entstehen.

Aehnlich ist es bei den Gasen.

Wärmestrahlung erfolgt z. B. von einem geheizten Ofen. Ein Ofenschirm hebt sie auf. Die Wärmestrahlen werden also von gewissen Körpern nicht durchgelassen. Körper, welche die Wärmestrahlen durchlassen, ohne eine erhebliche Menge der Wärme aufzunehmen, heissen diatherman (z. B. Steinsalz); Körper, welche

die Wärmestrahlen nicht durchlassen, heißen adiatherman oder atherman (z. B. Russ, Metalle).

Es giebt Körper, welche die Lichtstrahlen durchlassen, die dunklen Wärmestrahlen aber nicht; so ist der Alaun farblos und durchsichtig, aber fast ganz adiatherman; eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff dagegen ist undurchsichtig, lässt aber die dunklen Wärmestrahlen hindurch.

Als dunkle Wärmestrahlen bezeichnet man diejenigen, welche im Spektrum jenseits des rothen Endes liegen. (Vergl. S. 107.) Die Wärmestrahlen unterliegen gleich den Lichtstrahlen den Gesetzen der Brechbarkeit; und es giebt Wärmestrahlen von verschiedener Brechbarkeit. Je höher die Temperatur einer Wärmequelle ist, desto mannichfaltigere Wärmestrahlen sendet sie aus, und desto grösser ist unter ihnen die Zahl der brechbareren — und damit im sichtbaren Theil des Spektrums liegenden — Wärmestrahlen. Bei der Temperatur des Rothglühens treten unter den ausgesendeten Wärmestrahlen die ersten sichtbaren auf (es sind dies die am wenigsten brechbaren derselben); ist volle Weissglühhitze erreicht, so sind in der Gesamtheit der ausgesendeten

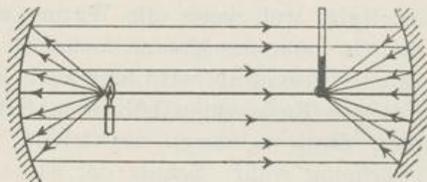


Fig. 80. Reflexion der Wärmestrahlen.

Wärmestrahlen alle Gattungen der sichtbaren und die dunklen Wärmestrahlen in erhöhter Stärke vorhanden.

Dass die Wärmestrahlen auch, genau wie die Lichtstrahlen, reflektirt werden, zeigt folgender Versuch: Es werden zwei metallene Hohlspiegel einander gegenüber aufgestellt (Fig. 80), der Art, dass die Achsen beider in gegenseitiger Verlängerung von einander liegen. Bringt man dann in den Brennpunkt des einen Spiegels eine Flamme, in den Brennpunkt des andern Spiegels ein Thermometer, so beobachtet man an letzterem ein Steigen des Quecksilbers — ein Beweis dafür, dass die von der Flamme aus auf den ersten Spiegel fallenden Wärmestrahlen parallel der Achse des Spiegels reflektirt werden, in dieser Richtung auf den andern Spiegel fallen und von hier aus insgesamt nach dem Brennpunkt reflektirt werden. — Bringt man das Thermometer aus dem Brennpunkt heraus, so zeigt es keine Temperaturerhöhung an.

Das Wärmestrahlungsvermögen ist für verschiedene Körper ungleich; und zwar senden dunkle und rauhe Flächen mehr Strahlen aus als helle und glatte; umgekehrt nehmen jene auch mehr Strahlen in sich auf als diese. — In glatten Gefässen (polirten Theekesseln, Porzellankannen) bleiben daher Flüssigkeiten länger warm als in rauhen. Wir kleiden uns im Sommer hell, im Winter dunkel. Häuserwände, an denen Wein wächst, der der Wärme sehr bedarf, werden schwarz angestrichen; die oberen, der Sonne ausgesetzten Theile der Pferdebahnen dagegen weiss.

Quellen der Wärme. Als solche sind folgende zu nennen:

1. Die Sonnenwärme. Die Sonnenstrahlen wirken um so stärker, je senkrechter sie auffallen, weil bei senkrechter Richtung mehr Sonnenstrahlen auf eine Fläche von bestimmter Grösse gelangen, als bei schräger Richtung. (Vergl. Fig. 81, Fläche A und Fläche B.) Den von der Sonne kommenden Wärmestrahlen gegenüber verhalten sich die irdischen Körper verschieden. So nimmt die feste Erdoberfläche die auf sie treffenden Wärmestrahlen auf, während trockene Luft sie fast vollständig durchlässt, ohne sie zu absorbiren. Daher wird der Erdboden warm und von ihm aus auch die ihm zunächst liegenden Luftschichten, während die höheren Luftschichten eine (entsprechend ihrer Entfernung vom Erdboden) niedrigere Temperatur besitzen.

2. Die Erdwärme. (Sprudel, Geysire; Lava.)

3. Chemische Prozesse. Kalklöschchen; Mischen von concentrirter Schwefelsäure mit Wasser; Verbrennung. Bei der chemischen Vereinigung von Körpern findet im Allgemeinen eine Temperaturerhöhung statt; die Verbrennung ist ein Akt chemischer Vereinigung, genauer ein Oxydationsprocess, bei welchem sich die Erwärmung bis zur Lichtentwicklung steigert.

Auch die Quelle der thierischen Wärme ist der chemische Process.

4. Die Elektrizität. Bei der Vereinigung der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten (Blitz, elektrischer Funke) wird Wärme erzeugt (der Blitz vermag zu zünden). Der galvanische Strom erwärmt die ihn leitenden Körper (das elektrische Glühlicht, das Bogenlicht).

5. Mechanische Arbeit. In zwei Formen ist dieselbe im Stande, Wärme zu erzeugen: als Druck und als Reibung, die übrigens häufig beide gleichzeitig wirksam sind. (Bei Stoss und Schlag wird in erster Linie ein Druck ausgeübt, in zweiter Linie kann Reibung mitwirken.) Beispiele: Gewinnung von Feuer durch Reiben zweier Stücke trocknen Holzes; Pinkfeuerzeug (Feuerstein und Stahl); Streichhölzer; pneumatisches Feuerzeug (hier wird Luft in einem geschlossenen Rohre durch Niederdrücken eines Stempels schnell zusammengepresst, sie entzündet dann ein unten am Stempel angebrachtes Stückchen Feuerschwamm, Fig. 41). Heisswerden der Wagenachsen (Schmieren vermindert die Reibung und daher auch die Erwärmung). Erhitzen des Eisens beim Hämmern.

Mechanisches Wärme-Aequivalent. Robert Mayer (gest. 1878) und Joule wiesen nach, dass bei der Entstehung von Wärme aus mechanischer Arbeit ein bestimmtes und unabänderliches Verhältniss zwischen der erzeugten Wärmemenge und der zu ihrer Erzeugung aufgewendeten Arbeit besteht. Aus Joule's Versuchen über die Reibung von Gusseisen mit Wasser oder Quecksilber (1850) ergab sich, dass eine Arbeit von 423,55 Kilogramm-meter dazu gehört, die

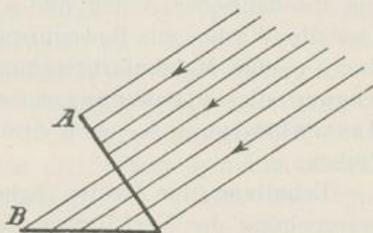


Fig. 81. Erwärmende Wirkung schräg und steil auffallender Sonnenstrahlen.

Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C. zu erhöhen. — Umgekehrt liefert die Erwärmung von 1 kg Wasser um 1° C. jenes Maass mechanischer Arbeit, oder genauer: der Verbrauch einer Wärmemenge, die im Stande ist, die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° C. zu erhöhen, d. h. der Verbrauch einer Wärmeeinheit (vgl. S. 125) bietet die Quelle dar für eine mechanische Arbeit von 423,55 Kilogrammometer, z. B. für die Hebung eines Gewichtes von 423,55 kg um 1 m. (Vergl. S. 39.) Eine derartige Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit findet bei der Dampfmaschine statt.

Die genannte Zahl (rund 425 Kilogrammometer), welche das feste Umwandlungsverhältniss von Wärme und mechanischer Arbeit angiebt, wird als das mechanische Wärmeäquivalent bezeichnet.

Die Thatsache der Aequivalenz (Gleichwerthigkeit) von Wärme und mechanischer Arbeit findet ihre Erklärung in der Annahme, dass die Wärme ein Bewegungszustand der kleinsten Körpertheilchen — eine Molekularbewegung — ist. (Vergl. S. 116.) Zur Erzeugung dieses Bewegungszustandes ist ein gewisses Maass einer Massenbewegung — eine bestimmte mechanische Arbeit — von Nöthen.

Erhaltung der Kraft. Schon aus den in der Mechanik bei Besprechung der Verhältnisse der schiefen Ebene (S. 38), des Keils und der Schraube (S. 39), des Hebels (S. 43) und der hydraulischen Presse (S. 54) angestellten Betrachtungen geht hervor, dass eine in einer bestimmten Zeit geleistete Arbeit nicht verloren geht, sondern in jedem folgenden gleich grossen Zeitabschnitt in gleicher Grösse erhalten bleibt. Dieser Grundsatz gilt nach dem Vorhergehenden nicht nur für die mechanische Arbeit, sondern auch für die in der Form der Wärme auftretende Arbeit.

Mechanische Arbeit und Wärme sind beides Bewegungsarten (Massen- und Molekularbewegung) und daher Kraftleistungen oder Arbeit.

Was für die mechanische Arbeit und die Wärme erwiesen ist, gilt auch für die übrigen Arten der Arbeit, die Leistungen sonstiger Kräfte, und es lässt sich der allgemeine Grundsatz von der Erhaltung der Arbeit oder Kraftleistung in einem bestimmten Zeitabschnitt und damit das Gesetz von der Erhaltung der Kraft aussprechen (denn Kraft ist die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit). Der Begründer dieses Gesetzes ist Robert Mayer (1842).

Kraft äussert sich übrigens nicht nur in dem Auftreten oder der Aenderung von Bewegungen, sondern auch z. B. in einem Druck, den ein ruhender Körper auf seine Unterlage ausübt, in

der elastischen Spannung einer aus ihrer Gleichgewichtsbeschaffenheit gebrachten Spiralfeder oder Gummischnur u. s. w. Beide Arten der Kraftäusserung unterscheidet man als bewegende Kraft und Spannkraft oder: Energie der Bewegung und Energie der Lage oder: kinetische Energie und potentielle Energie. (Letzterer Ausdruck ist zu verwerfen, da er in sich selbst einen Widerspruch enthält.)

12. Reibungselektricität.

Elektrische Grunderscheinungen. Wenn man ein Stück Bernstein oder Stangenschwefel, eine Stange Siegellack oder Hartgummi, einen Glasstab oder eine Glasröhre u. dergl. m. mit einem wollenen oder seidenen Lappen reibt, so nehmen jene Körper die Eigenschaft an, leichte Körper, wie Papierschnitzel, Flaumfedern u. s. w. anzuziehen. Nach kurzer Zeit der Berührung erfolgt Abstossung; aber wenn die zuerst angezogenen, dann abgestossenen Körperchen mit einem anderen Gegenstande in Berührung gekommen sind, werden sie von den geriebenen Körpern von neuem angezogen, darauf wieder abgestossen u. s. f.

Da diese Eigenschaft geriebener Körper, andere Körper anzuziehen, zuerst und zwar schon von den alten Griechen am Bernstein beobachtet wurde, ist sie Elektricität genannt worden (Bernstein = Elektron); die geriebenen Körper heissen elektrisch. Gilbert untersuchte die elektrischen Erscheinungen zum ersten Mal (im Jahre 1600) genauer.

Von den elektrischen Körpern unterschied man früher die anelektrischen; als aber Stephan Gray (1729) den Nachweis geführt hatte, dass auch diese elektrisirt werden können, den elektrischen Zustand aber leicht verlieren, weil sie ihn schnell auf grössere Entfernungen fortpflanzen, so ersetzte man jene Unterscheidung durch die zwischen Leitern und Nichtleitern. Zu den Nichtleitern gehören die zu Anfang genannten Körper; sie behalten ihre Elektricität, weil dieselbe an der Stelle, wo sie durch Reiben erzeugt worden ist, verbleibt; die Leiter geben ihre Elektricität von Molekül zu Molekül weiter und übertragen sie leicht auch auf andere Körper; nur dann vermögen sie die Elektricität zu bewahren, wenn sie rings von Nichtleitern umgeben: durch dieselben isolirt sind. Die Nichtleiter heissen daher auch Isolatoren. In der Mitte zwischen Leitern und Nichtleitern stehen die sogenannten Halbleiter.