

Stimmgabeln etwas verstimmt, so gehen diese Figuren wegen der nun wechselnden Phasendifferenz ineinander über. In gleicher Weise haben auch die anderen Konsonanzen charakteristische einfache Lichtfiguren, die bei Verstimmung der Stimmgabeln einen Wechsel zeigen.

§ 76. **Dopplers Prinzip.** Wenn die Entfernung zwischen einer Tonquelle und einem Beobachter rasch kleiner wird, so wird der Ton der ersteren höher. Dies ist leicht zu konstatieren bei dem Pfeifen einer sich nähernden Lokomotive. Von einer ruhenden Tonquelle aus gelangen nämlich in einer Sekunde eine bestimmte Zahl von Schallwellen ins Ohr des Beobachters; nähert sich aber die Tonquelle in einer Sekunde um x Meter, so kommen mehr Schallwellen zur Perception, nämlich auch die, welche sonst vom Beobachter noch x Meter entfernt wären. Entfernt sich die Tonquelle oder der Beobachter, so muß natürlich der Ton tiefer werden.

Wärmelehre.

A. Mechanische Wärmetheorie.

§ 77. **Wesen der Wärme.** Unter Wärme versteht man dasjenige Agens, welches bestimmte Nervenendigungen so reizt, daß wir eine Temperaturempfindung haben. Früher nahm man einen Wärmestoff zwischen den Körpermolekülen an, der unter Umständen austreten, „frei werden“ könne. Dagegen sprechen aber viele Tatsachen. Graf RUMFORD zeigte zuerst, daß durch Rotation eines Kolbens in einem dicht anschließenden metallischen Hohlzylinder, also durch mechanische Arbeit, eine unbegrenzte Wärmemenge erzeugt werden kann; auch hat das Metall vor und nach der Reibung dieselbe Wärmekapazität, d. h. Fähigkeit, Wärme aufzunehmen. Nach der stofflichen Theorie könnte aber in den durch Druck verkleinerten Intermolekularräumen nicht mehr so viel Wärme aufgenommen werden wie vorher. Noch entscheidender war der Versuch von DAVY: Er brachte in einem Raume von 0° zwei Eisstücke allein dadurch zum Schmelzen, daß er sie aneinanderrieb. Hier ist sogar die Wärmekapazität des entstandenen Wassers größer als die des Eises. Durch diese und andere Versuche wurde festgestellt, daß Wärme kein Stoff ist, sondern ebenso wie Schall und Licht auf Molekularbewegung beruht.

Während aber beim Schall die Moleküle gleichmäßig schwingen, ist die Bewegung bei Wärme und Licht eine ungeordnete. 20—400 Billionen Schwingungen in einer Sekunde werden als Wärme empfunden, bis 800 Billionen Schwingungen als Licht. Zwischen Wärme und Licht besteht also nur ein quantitativer Unterschied, wie schon die bekannte Erscheinung zeigt, daß z. B. Eisen beim fortgesetzten Erwärmen schließlich rot-, dann weißglühend wird. Es geht also hier dunkle Wärme kontinuierlich in leuchtende über. Auch die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung ist völlig der des Lichtes analog.

§ 78. **Wärme und mechanische Arbeit.** Da Wärme eine, wenn auch unsichtbare Form der Bewegung ist, so müssen zwischen ihr und anderen Arten der Bewegung Beziehungen existieren. So war schon lange bekannt, daß durch mechanische Arbeit, z. B. Reibung, Wärme entsteht. Aber erst ROBERT MAYER fand, daß die Umwandlung sichtbarer Bewegung in unsichtbare (d. h. eben Wärme) stets nach unwandelbaren Gesetzen erfolgt. Gleichzeitig und unabhängig von ihm war JOULE durch viele mühsame Versuche zu demselben Resultate gekommen. Bezeichnet 1 Meterkilogramm die Arbeit, die nötig ist, um 1 kg 1 m zu heben, und 1 Kalorie die Wärmemenge, die nötig ist, 1 kg Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen [§ 98], so ist nach diesen beiden Forschern 1 Kalorie äquivalent 427 Meterkilogrammen (1. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie). Will man also Wärme in Arbeitsmaß, durch das mechanische Äquivalent, ausdrücken, so multipliziert man mit 427; will man Arbeit durch ihr thermisches Äquivalent ausdrücken, so dividiert man durch 427. Diese Beziehung zwischen Wärme und Arbeit ist offenbar ein Spezialfall des großen Gesetzes von der Erhaltung der Energie; von hier war übrigens MAYER dabei auch ausgegangen. Während nun Arbeit beliebig in Wärme verwandelt werden kann, gilt für die Umkehrung dieses Satzes die Einschränkung, daß Wärme nur dann in Arbeit übergeführt werden kann, wenn sie dabei von einem wärmeren auf einen kälteren Körper übergeht (2. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie.) Da nun alle Körper beständig durch Strahlung und Leitung Wärme verlieren, so bleibt immer weniger Wärme zur Zurückverwandlung in Arbeit übrig, und schließlich muß ein Zeitpunkt kommen, wo alle Arbeit erloschen ist, der absolute Tod. CLAUSIUS drückte diesen Gedanken so aus: Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu, indem er mit Entropie¹ den in

¹ ἐντροπία unwenden, verwandeln.

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 beendet. 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^0 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_0 , v und h bei t^0 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 0^0 das Volumen v_0 , dann hat es bei 1^0 das Volumen $v_0 + \alpha v_0$, bei t^0 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 0^0 . 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.

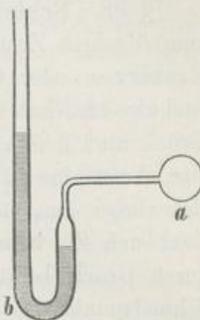


Fig. 57.

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

5*

begünstigt er natürlich den Übergang in einen niedrigeren Aggregatzustand.

§ 88. **Schmelzen und Erstarren.** Der Übergang vom festen zum flüssigen Zustande heißt Schmelzen, der umgekehrte Vorgang Erstarren oder Gefrieren. Schmelzpunkt und Erstarrungspunkt sind also identisch und nur bezüglich des Ausgangspunktes verschieden. Druck muß den Schmelzpunkt erhöhen [§ 87], nur das Wasser bildet eine Ausnahme [§ 84]. Wenn es sich in Eis verwandelt, dehnt es sich dabei aus, und zwar mit einer enormen Gewalt. Umgekehrt zieht sich Eis beim Schmelzen zusammen, ein Prozeß, der offenbar durch Druck begünstigt werden muß, daher erniedrigt Druck den Schmelzpunkt des Eises. So kann man Eis unter hohem Druck beliebig formen (sog. Plastizität des Eises). Ferner beruht das Fließen der Gletscher darauf. Die Eismassen der Gletscher erfahren in engen Schluchten einen solchen Druck, daß trotz der großen Kälte eine Schmelzung stattfindet und der Gletscher fließt. Kommt er in breitere Bahnen, so gefrieren die Eismassen wieder (Regelation). Wichtig ist auch, daß der Schmelzpunkt von Legierungen meist tiefer ist als der der einzelnen Bestandteile.

§ 89. **Lösungen.** Zur Überführung eines festen Körpers in den flüssigen Zustand ist, wie gezeigt wurde, Arbeit nötig. Diese kann von außen durch Zufuhr von Wärme geleistet werden. Ein fester Körper kann sich aber auch spontan in einer Flüssigkeit auflösen, dann entzieht er die dazu nötige Wärme seiner Umgebung; es entsteht somit Abkühlung. Darauf beruhen u. a. die Kältemischungen. Bringt man z. B. gestoßenes Eis und Kochsalz zusammen, so verändern beide ihren Aggregatzustand, es entsteht eine Flüssigkeit von geringerer Temperatur. Bei manchen Lösungen findet allerdings eine Temperaturerhöhung statt; dann handelt es sich aber um chemische Verbindungen, z. B. beim Auflösen von Natrium in Wasser.

Ebenso wie Legierungen einen niedrigeren Schmelzpunkt haben, ist auch der Gefrierpunkt einer Lösung erniedrigt. Meerwasser gefriert z. B. bei -2° . Die Gefrierpunkts- (bezw. Schmelzpunkts-) Erniedrigung (gewöhnlich mit Δ bezeichnet) ist nun erfahrungsgemäß proportional der Menge der gelösten Substanz, umgekehrt proportional der Menge des Lösungsmittels. Diejenige Gefrierpunktserniedrigung nun, die 1 Gramm Substanz in 100 Gramm Lösungsmittel bewirkt, heißt nach **RAOULT** reduzierte Gefrierpunktserniedrigung.

Die reduzierten Gefrierpunktserniedrigungen, die zwei Substanzen in einem und demselben Lösungsmittel unter sonst gleichen Verhältnissen be-

dingen, sind umgekehrt proportional den Molekulargewichten beider Substanzen. $t:t' = m':m$. (RAOULT'sches Gesetz.) Anders ausgedrückt: Das Produkt aus Molekulargewicht (m) eines gelösten Stoffes und der reduzierten Gefrierpunktserniedrigung (t) ist eine nur von der Natur des Lösungsmittels, nicht der gelösten Substanz, abhängige Konstante (k) und dient daher zur Bestimmung des Molekulargewichts. Letzteres ergibt sich ja ohne weiteres aus der Formel $mt = k$, wenn eben t und k bekannt sind. Für Wasser ist z. B. $k = 18,7$, für Benzol 49. Bedingen c Gramm Substanz in 100 Gramm Lösungsmittel gelöst eine Gefrierpunktserniedrigung A , so ist $\frac{m A}{c} = k$, da $t = \frac{A}{c}$ ist.

Durch die Gefrierpunktserniedrigung A kann man aber auch die Anzahl der gelösten Moleküle, d. h. die molekulare Konzentration einer Lösung bestimmen. Denn es ist $\frac{c}{m} = \frac{A}{k}$. Da nämlich das Gewicht einer Substanz gleich dem Produkt aus der Anzahl ihrer Moleküle und dem Molekulargewicht ist, folgt daraus, daß die Zahl ihrer Moleküle dem Quotienten aus dem Gewicht der Masse und dem Molekulargewicht $\frac{c}{m}$ entspricht. $\frac{c}{m}$ ist also hier die Zahl der gelösten Moleküle in 100 Gramm Lösungsmittel. Aus der molekularen Konzentration kann man aber wieder den osmotischen Druck der Lösung berechnen [§ 44]. — Die Lehre von den Gesetzen der Gefrierpunktserniedrigung wird auch Kryoskopie¹ genannt und findet gegenwärtig u. a. in der Medizin ausgedehnte Anwendung.

§ 90. **Sieden.** Wird durch Erwärmung eine Flüssigkeit in Dampf verwandelt, so heißt das Sieden. Die Temperatur, bei der dies geschieht, wird Siedepunkt genannt. Derselbe ist bei gleichbleibendem Druck für dieselbe Substanz konstant; gewöhnlich wird er für 760 mm Barometerstand angegeben. Vermehrter Druck muß den Siedepunkt erhöhen, verminderter Druck ihn erniedrigen [§ 87]. In der Tat siedet z. B. Wasser auf dem Montblanc schon bei 84° und unter der Luftpumpe bei noch viel niedrigerer Temperatur. Diese Abhängigkeit vom Druck geht noch deutlicher hervor, wenn man als Siedepunkt die Temperatur definiert, bei der die Spannung des gebildeten Dampfes den auf der Flüssigkeit lastenden (Atmosphären-) Druck überwindet. Man kann also den Siedepunkt erhöhen, wenn man eine Flüssigkeit in einem fest verschlossenen Gefäße erhitzt; denn dann kann der Dampf nicht entweichen und vermehrt so den Druck. Darauf beruht der Papin'sche Topf. Das Sieden des Wassers wird dadurch begünstigt, daß beim Erwärmen eingeschlossene Luft und Kohlensäurebläschen ausgetrieben werden, und so gewissermaßen den molekularen Zusammenhang lockern. Durch wiederholtes Auskochen kann ganz luftfreies Wasser über den Siedepunkt erhitzt werden, ohne zu verdampfen. Man spricht dann von Siedeverzug

¹ κρύος Kälte, σκοπέω beobachten.

oder Überhitzung; die Verdampfung erfolgt hier plötzlich, explosionsartig. Andererseits können Flüssigkeiten in geschlossenen Gefäßen, die vor Berührung geschützt sind, auch unterkühlt, d. h. bis unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden. Sind Salze im Wasser gelöst, so wird im allgemeinen der Siedepunkt erhöht; dies und die Erniedrigung des Gefrierpunktes kann man so deuten, daß die Salzmoleküle bei Lösungen die freie Beweglichkeit der Moleküle des Lösungsmittels behindern. Jedenfalls ist die Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung ebenso wie der osmotische Druck nicht von der Art, sondern von der Zahl der Moleküle abhängig [cf. § 44 u. 89].

§ 91. **Leidenfrost's Phänomen.** Kommt Flüssigkeit mit sehr heißen Metallen in Berührung, so bildet sich um sie eine Dampfhülle, die ein eigentliches Sieden verhindert. Ebenso ist die Erscheinung zu erklären, daß man die Hand in geschmolzenes Eisen stecken kann, ohne sich zu verbrennen; auch manche Gottesgerichte des Mittelalters gehören hierher. Sehr schön zeigt sich das Phänomen, wenn man eine kleine Flüssigkeitsmenge auf eine sehr heiße Unterlage von Metall bringt. Es bildet sich dann ein flachgedrückter Tropfen, der hin und her springt; er ruht gewissermaßen auf einem elastischen Polster, nämlich der Dampfhülle. Erst bei genügender Abkühlung, wenn die Spannung des Dampfes so klein geworden ist, daß er das Gewicht des Tropfens nicht mehr aushält, verpufft derselbe.

§ 92. **Verdunsten.** Das Verdunsten verhält sich zum Sieden wie die Auflösung eines Körpers zum Schmelzen. Beim Verdunsten wird also nicht durch Zufuhr von Wärme der Übergang in den luftförmigen Zustand bewirkt, sondern dieser erfolgt spontan. Und zwar kann man sich vorstellen, daß an den Grenzschichten von Flüssigkeiten die Moleküle bei ihren Schwingungen in die benachbarten Luftschichten gelangen und nicht mehr zurückkehren. Bei jeder Verdunstung wird eine bestimmte Arbeit geleistet, um den äußeren Luftdruck sowie die Kohäsion zwischen den einzelnen Flüssigkeitsteilchen zu überwinden. Da die hierzu nötige Energie nicht von außen (durch Erhitzen) zugeführt wird, so wird sie dem Körper selbst entzogen, dessen Temperatur infolgedessen sinkt. Hierauf beruhen die sogenannten Eismaschinen. Bei der von CARRÉ wird z. B. in einem Metallgefäße *A* eine Auflösung von Ammoniak in Wasser solange erhitzt, bis die Ammoniakdämpfe aus *A* nach einem damit verbundenen kleineren Zylinder *B* getrieben sind, wo sie wegen des größeren Druckes verflüssigt werden [§ 87]. Nun wird *A* energisch abgekühlt, und da kaltes Wasser Ammoniakdämpfe begierig absorbiert, findet in *B* eine rasche Verdunstung und somit Kälteerzeugung statt,

wodurch man Wasser zum Gefrieren bringen kann. Auf der Verdunstungskälte beruht z. B. auch die wohltätige Wirkung des Schweißes.

§ 93. **Gesättigter und ungesättigter Dampf.** Läßt man in einer genügend langen, mit Quecksilber gefüllten Röhre, die unten in ein weites Gefäß mit Quecksilber eintaucht, z. B. eine bestimmte Menge Äther aufsteigen, so wird dieser in dem TORRICELLI'schen Vakuum verdampfen. Durch die Spannung (Druck) des gebildeten Ätherdampfes wird die ursprünglich 760 mm hohe Quecksilbersäule nach abwärts gedrängt; ihre Höhe ist somit ein Maß für die Spannkraft des Dampfes. Die Verdampfung des Äthers hört aber bald auf, wenn nämlich die entstandenen Ätherdämpfe einen genügend großen Gegendruck auf den noch flüssigen Äther ausüben. Man sagt dann, der Raum über der Quecksilbersäule ist mit Ätherdampf gesättigt, oder auch kurz, der Ätherdampf ist gesättigt. Ein gesättigter Dampf ist demnach ein solcher, der aus der Flüssigkeit, aus der er entstanden ist, nichts mehr aufnehmen kann. Sobald dieser Zustand erreicht ist, nimmt die Quecksilbersäule eine konstante Höhe an. Wird nämlich der Raum, in dem der flüssige und dampfförmige Äther ist, vergrößert, so verdampft noch ein Teil der Flüssigkeit, bis der vergrößerte Raum wieder gesättigt ist; wird er verkleinert, so wird ein Teil des Dampfes kondensiert. Stets aber bleibt die Spannung die gleiche, was eben aus der gleichbleibenden Höhe der Quecksilbersäule hervorgeht. Die Spannung eines gesättigten Dampfes ist also vom Volumen unabhängig und zugleich ein Maximum (für die betreffende Temperatur). Einen größeren Druck durch Verkleinerung des Volumens zu erzielen, ist eben unmöglich, weil dann sofort ein Teil des Dampfes verflüssigt wird. Dagegen wird eine Erhöhung des Druckes herbeigeführt durch Erhitzen, indem dann neue Flüssigkeit verdampft, und zwar steigt der Druck gesättigter Dämpfe bei Temperaturerhöhung mehr an, als das GAY-LUSSAC'sche Gesetz besagt. Auch die Sättigungsmenge steigt mit der Temperatur. — Wird nun der Raum über der Quecksilbersäule so sehr vergrößert, daß schließlich aller Äther verdampft, so wird der Raum ungesättigt, oder, wie man gewöhnlich sagt, der Ätherdampf in jenem Raum ist ungesättigt. Charakteristisch für den ungesättigten Dampf ist also, daß er nicht mehr mit seiner Mutterflüssigkeit in Verbindung ist, die gewissermaßen das Magazin darstellt, aus dem das Sättigungsbedürfnis bei Volumschwankungen befriedigt werden kann. Man kann nun auch ungesättigten Dampf dadurch erhalten, daß man gesättigten so lange erhitzt, bis alle Flüssigkeit verdampft ist. Aus diesem Entstehungsmodus ist der Name

überhitzter Dampf, der identisch mit ungesättigtem Dampfe ist, verständlich. Umgekehrt kann man aus ungesättigtem Dampfe auch auf zwei Wegen gesättigten herstellen, nämlich durch Druck und durch Abkühlung. Ein ungesättigter Dampf verhält sich wie ein vollkommenes Gas, gehorcht also den Gesetzen von BOYLE-MARIOTTE und GAY-LUSSAC [§ 82].

§ 94. **Dampfdichte.** Unter Dampfdichte (oder spezifischem Gewicht der Dämpfe) versteht man gewöhnlich das Gewicht einer Dampfmenge, bezogen auf ein gleich großes Volumen atmosphärischer Luft bei demselben Drucke und derselben Temperatur. Diese Größe ist deshalb wichtig, weil man daraus die Molekulargewichte chemischer Verbindungen berechnen kann.

Nach dem Gesetz von AVOGARDO sind in gleichen Volumina aller Gase gleichviele Moleküle enthalten. Die spezifischen Gewichte gleicher Gasvolumina sind daher (wenn Temperatur und Druck gleich sind) proportional den Molekulargewichten. Bezeichnet M_x das Molekulargewicht der untersuchten Substanz, M_h das des Wasserstoffs, und s das spezifische Gewicht der ersteren bezogen auf Luft = s , das des Wasserstoffs = 0,069, so ist

$$M_x : M_h = s : 0,069.$$

Da nun $M_h = 2$ ist, so ergibt sich

$$M_x = \frac{2s}{0,069} = s \cdot 28,8.$$

Sehr gebräuchlich ist z. B. die Methode von HOFMANN, bei der die zu untersuchende Substanz in das Vakuum einer Barometerröhre gebracht und dort verdampft wird, indem man zwischen Barometerröhre und einen Mantel Dämpfe einer siedenden Flüssigkeit leitet. So erhält man das Volumen, dessen Gewicht für Luft unter Berücksichtigung von Temperatur und Barometerstand einen bestimmten Wert hat. Das Gewicht des Dampfes ist identisch mit dem der verdampften Substanz.

§ 95. **Hygrometrie.** Für viele Zwecke ist es nötig, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu kennen, d. h. ihre Sättigung mit Wasserdampf. Man unterscheidet hierbei absolute Feuchtigkeit, d. h. die wirklich vorhandene Menge Wasserdampf in einem bestimmten Volumen, und relative, d. h. das Verhältnis der vorhandenen Wasserdampfmenge zu der, welche bei vollkommener Sättigung vorhanden wäre. Wärmere Luft braucht mehr Feuchtigkeit zur Sättigung als kalte; daher entstehen bei Abkühlung der Luft schließlich Niederschläge.

Der einfachste Feuchtigkeitsmesser, das Haarhygrometer¹ von SAUSSURE, beruht darauf, daß entfettetes Frauenhaar die Eigenschaft

¹ ὑγρός feucht.

hat, sich durch Feuchtigkeit auszudehnen. Diese Bewegung wird hier auf einen Zeiger übertragen, der vor einer Skala spielt.

Das DANIELL'sche Hygrometer benutzt den Taupunkt, d. i. diejenige Temperatur, bei der die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist; kühlt sich die Luft weiter ab, so schlägt sich der Dampf als Tau nieder.

Die Kugel *a* (Fig. 58) ist an der Außenseite vergoldet und halb mit Äther gefüllt; auch enthält sie ein kleines Thermometer. Sie geht über in die Röhre *b c*, die auf der anderen Seite ebenfalls mit einer Kugel *d* endigt, welche mit einem Musselinlappchen *e* umhüllt ist. Der ganze Apparat ist luftleer. Tropft man auf *e* Äther, so entsteht durch dessen Verdunstung Kälte, wodurch die Ätherdämpfe in *d* verflüssigt werden. Dies hat wieder zur Folge, daß der Äther in *a* verdampft und dadurch die Kugel *a* abkühlt. Wird die Abkühlung so stark, daß die Außenluft ihren Wasserdampf nicht mehr binden kann, so beschlägt sich *a* mit einem feinen Tau. Die Temperatur, bei der dies geschieht, wird am Thermometer in *a* abgelesen, und in einer Tabelle nachgesehen, welche maximale Sättigungsmenge ihr entspricht. So findet man die absolute Feuchtigkeit, aus der wieder leicht die relative zu berechnen ist.

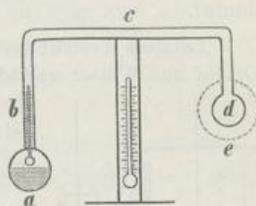


Fig. 58.

Sehr einfach findet man den absoluten Feuchtigkeitsgehalt auch, wenn man ein bestimmtes Volumen Luft durch eine Röhre mit Chlorcalcium leitet, dessen Gewichtszunahme dann direkt den Wassergehalt der Luft angibt.

§ 96. **Kondensation; kritischer Punkt.** Wie Flüssigkeiten in Dämpfe übergehen können, so ist auch der umgekehrte Vorgang möglich. Man spricht dann von Kondensation¹ oder Verflüssigung. Nach den angeführten Prinzipien ist klar, daß hierzu entweder Druck oder Kälte oder, noch besser, beides erforderlich ist. Früher unterschied man die sogenannten permanenten oder inkoerziblen Gase, z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, Luft, bei denen die Kondensation nicht gelang, von den coerziblen. Heute können dieselben aber auch verflüssigt werden, seitdem man weiß, daß dazu der Druck selbst von Hunderten von Atmosphären nicht allein imstande ist, sondern daß diese Verwandlung stets unterhalb einer bestimmten Temperatur, der sogenannten kritischen Temperatur, geschehen muß. Dieselbe ist z. B. für Kohlensäure 31°. Man kann nun Dämpfe von Gasen scharf trennen, indem man sie als luftförmige Körper definiert, die sich unterhalb ihres kritischen Punktes befinden, also durch Druck allein kondensierbar sind.

¹ *condenso* verdichten.

§ 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.

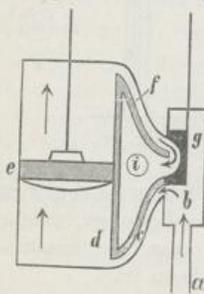


Fig. 59.

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 Kalorie¹ 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 $t - T$ abgibt, 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

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

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

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

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 $m c t$ 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

$$\begin{aligned} c m t &= 80 m' \\ c &= \frac{80 m'}{m t}. \end{aligned}$$

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

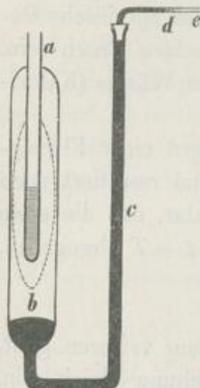


Fig. 60.

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 ($\frac{1}{2} m v^2$) 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 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 Volumeneinheit der spezifischen Wärme bei konstantem Volumen *c*. 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

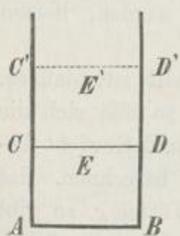


Fig. 61.

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 Äquivalenzahl 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*¹.) 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, *dia* *salvo* hindurchgehen.

Davy'sche Sicherheitslampe, eine einfache Ollampe, die von einem Drahtnetz umgeben ist. Dieses entzieht den Flammgasen soviel Wärme, daß sie unter ihre Entzündungstemperatur abgekühlt werden; dadurch werden Explosionen vermieden, selbst wenn in der Umgebung Grubengas ist. Interessant sind die Verhältnisse bei den Kristallen, deren Leitungsfähigkeit in den verschiedenen Achsen verschieden ist. Im Gegensatz zu den festen Körpern leiten flüssige und gasförmige die Wärme schlecht. Eine merkwürdige Ausnahme bildet nur der Wasserstoff, der aber auch sonst den Metallen nahesteht. In Flüssigkeiten und Luftarten erfolgt die Wärmeleitung meist durch Strömung (Konvektion), was eine Folge der Veränderung des spezifischen Gewichts durch die Wärme ist. Auf dem schlechten Leitungsvermögen der zwischengelagerten Luft beruht z. B. die kälteschützende Wirkung der Kleider, Doppelfenster etc.

§ 104. **Wärmestrahlung.** Die schon betonte Verwandtschaft zwischen Wärme und Licht zeigt sich besonders bei der Art der Wärmefortpflanzung, die durch Strahlung geschieht. Man hat sich vorzustellen, daß durch die Bewegung der Körpermoleküle auch die zwischen ihnen befindlichen Äthermoleküle in Schwingungen geraten und diese dem angrenzenden Äther mitteilen, der sie in Form von transversalen Wellen zu anderen Körpern fortleitet, wo sie wieder in materielle Bewegung umgewandelt werden. Daraus folgt, daß die strahlende Wärme auch durch den sog. leeren Raum geht, und daß die Schicht zwischen Wärmequelle und erwärmtem Körper ganz kalt sein kann. So ist z. B. auf hohen Bergen die Temperatur des Bodens bedeutend höher als die der Luft.

Die Fähigkeit Wärme auszustrahlen (Emissionsvermögen) ist im allgemeinen um so größer, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Körper und Umgebung und je weniger dicht ihre Oberfläche ist; auch die Natur der Körper ist von Einfluß. Wenn Wärmestrahlen auf einen Körper fallen, so werden sie entweder zurückgeworfen (reflektiert) oder sie dringen in ihn ein. In letzterem Falle werden sie entweder verschluckt (absorbiert), oder sie gehen unverändert durch. Gewöhnlich findet alles dieses zusammen statt, jedoch eins vornehmlich. Körper, welche Wärmestrahlen unverändert durchlassen, heißen „wärmedurchsichtig“, diatherman¹. Trotz der nahen Verwandtschaft zwischen Licht und Wärme sind nun keineswegs alle durchsichtigen Körper auch in hohem Grade diatherman und umgekehrt. Am meisten diatherman ist Steinsalz, sehr wenig z. B.

¹ *διὰ* durch, *θέρουσι* Wärme.

Alaun, und fast gar nicht Eis. Ferner ist z. B. die Diathermanität des durchsichtigen Bergkristalls gleich der des wenig durchsichtigen Rauchtropases. Wie man nun Licht in verschiedene Farben zerlegen kann, die durch Körper in verschiedenem Maße gehen, so kann auch Wärme durch ein Steinsalzprisma in Strahlen von verschiedener Wellenlänge zerlegt werden. Man spricht daher analog von „Wärmefarben“ und nennt diese Eigenschaft der Wärme *Thermochrose*¹. Mit anderen Worten, die Wärmedurchlässigkeit hängt auch von der Qualität der Wärme ab. Über das Verhältnis der Emission zur Absorption gilt das KIRCHHOFF'sche Gesetz, daß ein Körper genau die Strahlen absorbiert, die er selbst aussenden kann. Darauf soll bei der Optik näher eingegangen werden, ebenso wie auf die Erscheinungen der Brechung, Polarisierung und Interferenz der Wärmestrahlen, welche genau den Verhältnissen beim Lichte entsprechen.

Optik.

A. Ursprung und Ausbreitung des Lichtes.

§ 105. **Natur des Lichtes.** Unter Licht versteht man einmal die subjektive Empfindung der Helligkeit, welche durch verschiedene Reize des Sehnerven und der Sehzentra, z. B. durch Elektrizität, Blutdruckschwankungen etc. hervorgebracht wird, dann aber besonders — im physikalischen Sinne ausschließlich — das Agens selbst, welches diese Empfindung vorzugsweise auslöst. Über die Natur dieses letzteren bestehen verschiedene Ansichten. Nach der Emanations- oder Emissionstheorie² NEWTON's ist das Licht ein äußerst feiner Stoff, der von den leuchtenden Körpern ausgesandt wird. Nach der jetzt fast allgemein akzeptierten Undulationstheorie von HUYGENS entsteht es ebenso wie Wärme durch außerordentlich schnelle Schwingungen der Körpermoleküle, die durch transversale Ätherschwingungen fortgepflanzt werden. Nach der Auffassung von MAXWELL, die immer mehr an Einfluß gewinnt, ist diese wellenförmige Fortpflanzung ihrerseits durch elektromagnetische Vorgänge bedingt [cf. § 190].

¹ *χρῶμα* Farbe.

² *emano* ausfließen, *emitto* aussenden.