

schwarze Schultafel von demselben Standpunkte aus so betrachten, daß sie ihren Glanz verliert und wieder erhält? — 3. Warum läßt sich an Körpern, welche das Licht unregelmäßig zurückwerfen, bei einer derartigen Betrachtung ein Unterschied in der Helligkeit kaum wahrnehmen? — 4. Der Glanz eines Wasserspiegels erscheint, durch ein Nicolsches Prisma oder einen Glassatz betrachtet, bei der Drehung desselben abwechselnd matt und wieder heller, während die im W. befindlichen Gegenstände immer gleichdeutlich erscheinen. Erkl.! — 5. Bedeckt man ein bedrucktes Papierblatt mit einer Glasscheibe, so kann man die Schrift nicht lesen, wenn man sich so stellt, daß das vom Glase reflektierte Licht ins Auge fällt. Dreht man aber eine Turmalinplatte vor dem Auge, so erscheint bei bestimmter Lage derselben die Schrift wieder ganz klar. W.? — 6. Wird ein Regenbogen an Schönheit verlieren, wenn man ihn durch ein Nicolsches Prisma betrachtet?

## V. Abschnitt.

### Die Lehre von der Wärme.

(I. Lehrstufe, §§ 30—36.)

#### A. Wirkungen der Wärme.

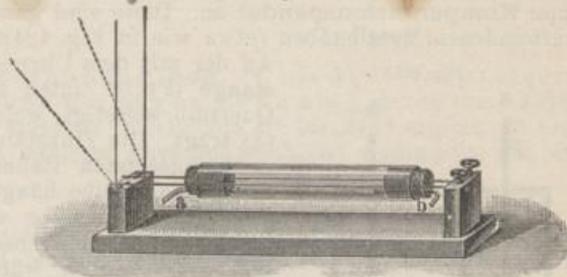
(Siehe §§ 30—33.)

**§ 115. Ausdehnung durch Wärme.** Der Ausdehnung der Körper wirkt im allgemeinen zweierlei entgegen: bei festen und flüssigen Körpern (von innen) die Kohäsion und bei allen Körpern (von außen) der Druck der atmosphärischen Luft. Hiernach wird es erklärlich, daß sich am stärksten die luftförmigen Körper ausdehnen (§ 30) und die festen bei gleicher Temperaturerhöhung weniger stark als die Flüssigkeiten; inwiefern? — Da nun die flüssigen und festen Körper hinsichtlich der Kohäsion untereinander verschieden sind, so ist zu erwarten, daß auch ihre Ausdehnung bei gleicher Erwärmung verschieden sein wird. Diese Unterschiede sind bei den festen Körpern im allgemeinen sehr gering (am größten bei den Metallen), und es bedarf deshalb besonderer Vorrichtungen, um sie zur Anschauung zu bringen. Dies kann z. B. dadurch geschehen, daß man Stäbe, welche an einem Ende befestigt sind und am anderen Ende auf einen hebelartigen Zeiger einwirken (sogen. Hebelpyrometer) zunächst durch schmelzendes Eis bis auf  $0^{\circ}$  abkühlt und darauf durch kochendes Wasser bis auf  $100^{\circ}$  C erhitzt. Zum Nachweis der ungleichen Ausdehnung läßt sich auch folgendes Verfahren anwenden:

**Versuch.** Ein Eisen- und ein Zink- oder Messingstab von 30—40 cm Länge und etwa 1 cm Dicke sind mit ihrem einen Ende nebeneinander in einem Klotze befestigt, während die freien Enden einem anderen Klotze fest aufliegen (Fig. 423, folg. Seite). Klemmt man dann unter jedes der beiden freien Enden den kurzen Schenkel eines dünnen, rechtwinklig umgebogenen Messing- oder Aluminiumdrahtes, sodafs dessen

langer Schenkel aufrecht gerichtet ist, so drehen sich bei Erhitzung der Stäbe beide Zeiger ungleichweit und zeigen dadurch die ungleiche Ausdehnung der Metalle an. Die Erhitzung kann entweder durch direkte Einwirkung der Flamme oder durch Dämpfe von siedendem Wasser geschehen, welche man durch eine beide Stäbe umgebende Glasröhre hindurchleitet. Derartige Versuche lehren:

Fig. 423.



Die festen Körper dehnen sich bei gleicher Temperaturerhöhung verschieden aus. Zwischen  $0^{\circ}$  und  $100^{\circ}$  ist die Ausdehnung eines festen Körpers im allgemeinen eine gleichmäßige, d. h. sie steht in gleichem Verhältnis zur Zunahme der Temperatur.

Die Zahl, welche angibt, um den wievielten Teil seiner Länge ein Körper bei der Erwärmung um  $1^{\circ}$  sich ausdehnt, heißt der (lineare) Ausdehnungskoeffizient.

Bezeichnet  $\alpha$  den Ausdehnungskoeffizienten,  $l_0$  die Länge eines Stabes bei  $0^{\circ}$   $l$  die Länge desselben bei  $t^{\circ}$ , so ist  $l = l_0 + l_0 \alpha t = l_0 (1 + \alpha t)$ .

**Lineare Ausdehnung einiger fester Körper.**

Die Ausdehnung eines Stabes von 1 m Länge beträgt bei einer Temperaturerhöhung um  $1^{\circ}$  C für:

	mm	Ausdehn.-Koeff.		mm	Ausdehn.-Koeff.
Glas	0,008	0,000 008	Kupfer	0,017	0,000 017
Platin	0,009	0,000 009	Silber	0,019	0,000 019
Guß Eisen	0,011	0,000 011	Messing		
Stabeisen	0,012	0,000 012	Blei	0,028	0,000 028
Stahl			Zink	0,029	0,000 029

Die meisten festen Körper dehnen sich nach allen Richtungen gleichstark aus. Für diesen Fall ist die kubische Ausdehnung eines Würfels, dessen Kantenlänge bei  $0^{\circ} = 1$  und nach der Erwärmung um  $1^{\circ} = 1 + \alpha$  ist:  $(1 + \alpha)^3 = 1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + \alpha^3$ , worin die beiden letzten Ausdrücke wegen ihrer außerordentlich geringen Größe vernachlässigt werden können. Hiernach ist der Koeffizient für die kubische Ausdehnung =  $3\alpha$  oder das Dreifache des linearen Ausdehnungskoeffizienten.

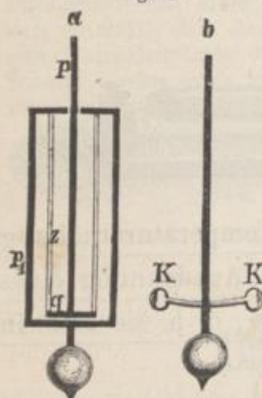
Bei Krystallen, welche nicht zum regulären System gehören, ist die Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen verschieden. — Feuchtes Holz, Thon u. dgl. schwinden bei der Erwärmung, ziehen sich mithin zusammen und machen scheinbar eine Ausnahme von dem Gesetze. Der Grund dieser Erscheinung liegt namentlich in dem Verdunsten des Wassers, das die Körper enthalten. Kautschuk dagegen zieht sich beim Erwärmen nachweisbar zusammen.

Die ausdehnende Wirkung der Wärme übt einen Einfluss auf den Gang der Uhren aus. Da nämlich ein Pendel um so langsamer schwingt, je länger es ist, so muß jede Temperaturerhöhung, wenn nicht besondere Einrichtungen getroffen sind, ein Zurückbleiben, jede Temperaturerniedrigung ein Vorlaufen der Uhr zur Folge haben. Bei den sogen. Regulatoren wird diese Ungenauigkeit dadurch sehr beschränkt, daß man zur Pendelstange nicht Metall, sondern eine

Holzart verwendet, welche durch Temperaturschwankungen wie durch Feuchtigkeitswechsel nur äußerst wenig beeinflusst wird (sehr trockenes, mit Öl getränktes Fichtenholz).

Bei Uhren, deren Gang eine größere Genauigkeit erfordert, wendet man **Kompensationspendel** an. Diese sind gewöhnlich aus rostenartig miteinander verbundenen Metallstäben (etwa wie in Fig. 424a) zusammengesetzt (Rostpendel).

Fig. 424.



An der mit dem Uhrwerke verbundenen stählernen Pendelstange (P) ist unten statt der Pendelscheibe ein kurzer Querstab befestigt, welcher an jedem Ende einen Zinkstab (Z) trägt. Die Zinkstäbe tragen einen aus Stahlstäben zusammengesetzten Rahmen, an dessen unterem Querstabe die Pendelscheibe hängt. Durch die stärkere Ausdehnung der beiden Zinkstäbe wird der äußere Rahmen mit der Pendelscheibe um ebensoviel gehoben, als die Pendelscheibe sich sonst senken würde. (Die Verlängerung von Z ist gleich der Summe der Verlängerungen von P und P<sub>1</sub>.) — Bei dem in Fig. 424b dargestellten Kompensationspendel ist nahe über der Pendelscheibe auf der Pendelstange ein Querstäbchen befestigt, das aus zwei zusammengelöteten Metallstreifen besteht, die sich bei Erwärmung ungleich stark ausdehnen. Dadurch krümmt sich dieser Kompensationsstreifen und die an ihm befestigten Kugeln werden ein wenig gehoben. Auf diese Weise wird der Einfluss der Verlängerung wieder aufgehoben.

Derartige Kompensationsstreifen finden ferner Verwendung zur Herstellung von Metallthermometern (§ 117). Auf die Ausdehnung metallener Maßstäbe durch die Wärme muß bei sehr genauen Messungen Rücksicht genommen werden.

Bei **Flüssigkeiten** kann es sich nur um die kubische (körperliche) Ausdehnung handeln. Dieselbe läßt sich mit Hilfe eines offenen thermometerähnlichen Gefäßes bestimmen, indem man nach dem Steigen der Flüssigkeit in der Röhre die Größe der Ausdehnung berechnet, oder auch dadurch, daß man die Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen in Maßflaschen abwägt. In beiden Fällen ist die Ausdehnung des Glases mit zu berücksichtigen. Auf diese Weise hat man gefunden:

Die Flüssigkeiten dehnen sich verschieden und unregelmäßig aus und zwar bei hohen Temperaturen viel stärker als bei niedrigen.

Bei Bestimmung des spezifischen Gewichtes ist auf die Ausdehnung der Flüssigkeiten Rücksicht zu nehmen; inwiefern könnte die besonders starke Ausdehnung von Alkohol und Petroleum auch beim Verkauf dieser Flüssigkeiten in Betracht kommen?

Quecksilber dehnt sich zwischen 0° und 100° regelmäßig aus; der Ausdehnungskoeffizient desselben ist  $\frac{1}{5550}$ . Bei genauen Barometerbeobachtungen muß die Ausdehnung des Quecksilbers berücksichtigt werden.

Um die Ausdehnung der **Gase** zu bestimmen, benutzt man entweder ein offenes thermometerähnliches Gefäß mit wagerechter Röhre, in der man die Luft durch einen Qu.-Tropfen absperrt (*Ausdehnung bei unverändertem äußeren Druck*), oder man verbindet das Gefäß mit einem Uförmigen offenen Manometer und gießt nach der Ausdehnung des Gases soviel Qu. nach, daß das Gas wieder denselben Raum einnimmt; es folgt dann, daß sich das Gas ebensostark ausgedehnt haben würde, als die Spannkraft zugenommen hat (*Zunahme der Spannkraft bei unverändertem Volumen*, § 85), sodas sich aus diesem Verhältnis die Größe der Ausdehnung berechnen läßt. Genaue Versuche lehren:

Alle gasförmigen Körper dehnen sich gleichmäßig aus und zwar für jeden Grad Temperaturerhöhung um  $\frac{1}{273} = 0,00367$  ihres Volumens, vorausgesetzt, daß der äußere Druck sich nicht ändert (Gesetz von Gay-Lussac).

Bei einer Temperaturerhöhung von  $0^{\circ}$  bis  $100^{\circ}$  vergrößern demnach die Gase ihr Volumen um etwas mehr als  $\frac{1}{3}$  (genau um 0,3665). Wird ein Gas bei unverändertem äußeren Drucke von  $0^{\circ}$  bis  $273^{\circ}$  erhitzt, so verdoppelt sich sein Rauminhalt; ist letzterer unveränderlich, so verdoppelt sich die Spannung des Gases.

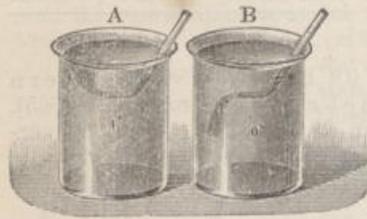
**Übungsstoff.** 1. Ein Metallstab sei aus zwei der Länge nach zusammengesetzten Stäben von Eisen und Messing zusammengesetzt; nach welcher Seite wird derselbe sich a. bei starker Erwärmung, b. bei starker Abkühlung krümmen, u. w.? — 2. In emaillierten Kochtöpfen springt der innere glasartige Überzug leicht ab, wenn die Töpfe leer aufs Feuer gestellt werden. Erkl.! — 3. Platindrähte lassen sich in Glas einschmelzen, ohne daß letzteres beim Erkalten zerspringt, Drähte aus anderem Metall nicht. Grund! — 4. In einem mit kaltem W. gefüllten Kessel muß das W. beim Erwärmen zunächst ein wenig sinken. Nachfolgende Ersch.? — 5. Bei Anfertigung von Fässern werden die Dauben auswendig angefeuchtet und innen erwärmt; w.? — 6. Versuche ein Rostpendel zu zeichnen, bei welchem die Pendelstange (P, Fig. 424) am oberen Querbalken des stählernen Rechtecks befestigt ist und die Zinkstäbe die umgekehrte Lage haben. — 7. Die Temp. einer Eisenbahnschiene von 4 m Länge betrage im Sommer  $80^{\circ}$  C mehr als im Winter. Um wv. ungefähr wird die Schiene innerhalb eines Jahres sich verlängern und verkürzen? (Man nehme an, die Schiene sei bei  $0^{\circ}$  4 m lang und werde bis auf  $80^{\circ}$  C erwärmt.) — 8. Desgl. ein Telegraphendraht von 10 km Länge (Temp.-Unterschied =  $50^{\circ}$ ). — 9. Warum wird bei der Füllung der Therm. Qu. anderen Flgkn. vorgezogen? — 10. Vgl. die Genauigkeit, mit welcher Lufttherm. die Temp. anzeigen, mit derjenigen der Qu.-Therm. Gründe! — 11. Welchen Raum (ccm) nimmt ein Liter Qu. von  $0^{\circ}$  a. bei  $100^{\circ}$ , b. bei  $50^{\circ}$ , c. bei  $20^{\circ}$  C ein? — 12. Der Barometerstand sei 760 mm bei  $20^{\circ}$  C. Wie groß würde derselbe demnach bei  $0^{\circ}$  (auf  $0^{\circ}$  reduziert) sein?

**§ 116. Unregelmäßige Ausdehnung des Wassers.** Die bekannte Erscheinung, daß stillstehendes Wasser zuerst nur an der Oberfläche sich mit Eis überzieht, macht es wahrscheinlich, daß Wasser während seiner Abkühlung sich anders verhält als andere Flüssigkeiten. Kühlt sich nämlich Wasser von oben an dauernd ab, so müßte, wenn seine Dichtigkeit dabei stetig zunähme, offenbar bis zum Gefrieren ein Untersinken des kälter gewordenen Wassers erfolgen, wie umgekehrt ein Aufsteigen erfolgt, wenn Wasser von gewöhnlicher Temperatur in einem Gefäße von unten erhitzt wird (§ 55). Das Wasser würde demnach auch in tieferen Schichten bis zum Gefrierpunkte erkalten und gleichmäßig erstarren, wie sich z. B. Öl beim Gefrieren wirklich verhält. In welcher Weise sich die Dichtigkeit des Wassers bei Abkühlung und Erwärmung ändert, lehren folgende Versuche.

**\*Versuch a.** Wenn man mittelst einer knieförmig gebogenen Glasröhre gefärbtes Wasser von  $0^{\circ}$  so in reines Wasser von  $4^{\circ}$  C fließen läßt, daß es in wagerechter Richtung einige cm unter dem Wasserspiegel langsam ausfließt, so steigt das kältere Wasser in dem wärmeren auf (Fig. 425, folg. Seite). Läßt man in gleicher Weise gefärbtes Wasser von  $4^{\circ}$  in reines Wasser von  $0^{\circ}$  fließen, so sinkt es unter. — Was läßt sich hieraus schließen?

**Versuch b.)\*** Ein großes Becherglas fülle man zur Hälfte mit kaltem Wasser, auf welchem man bis nahe zum Rande Eisstücke schwimmen läßt. Über dem Glase befestigt man zwei in das Wasser eintauchende Thermometer so, daß die Kugel des einen sich nahe am Boden, die des anderen an der Oberfläche des Wassers befindet. Läßt man das Glas nun einige Zeit in einem kalten Zimmer (etwa  $+2^{\circ}$ ) ruhig stehen, so zeigt das untere Thermometer ziemlich genau  $4^{\circ}$ , das obere  $0^{\circ}$ .

Fig. 425.



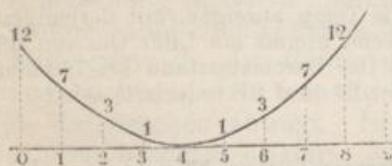
**Versuch c.** Wird eine kleine, thermometerartig eingerichtete und ganz mit Wasser von  $0^{\circ}$  gefüllte Kochflasche ganz allmählich erwärmt, so sinkt das Wasser in der Röhre zunächst etwas, darauf steigt es andauernd.

Wasser hat bei etwa  $+4^{\circ}$  C. seine größte Dichtigkeit: Dichtigkeitsmaximum des Wassers.

Dieses Dichtigkeitsmaximum hat nur das Süßwasser. Meerwasser zieht sich bis zu seinem Gefrierpunkte (je nach dem Salzgehalt etwas veränderlich, etwa  $-2,5^{\circ}$  C) stetig zusammen.

In Fig. 426 ist die eigentümliche Ausdehnung des Wassers durch eine Linie dargestellt. Die Senkrechten mit den darüber stehenden Zahlen geben an, um wieviel cbmm oder 0,1 Liter Wasser von  $4^{\circ}$  C sich bei weiterer Abkühlung oder Erwärmung ausdehnen.

Fig. 426.



Die am Fuße der Senkrechten stehenden Zahlen geben die betreffenden Temperaturen an. Aus der Figur ist zugleich ersichtlich, daß W. bei  $+8^{\circ}$  C ziemlich genau dieselbe Dichte hat, wie bei  $0^{\circ}$ .

Das abweichende Verhalten des Wassers ist im *Haushalte der Natur* von großer Bedeutung, indem dadurch das Eindringen der Kälte in die tieferen Schichten der Gewässer verhindert und die Eisbildung wesentlich beschränkt wird.

Wenn nämlich die Gewässer bei Beginn des Winters sich von oben abkühlen, so sinken die kälteren Schichten des Wassers infolge ihrer größeren Dichtigkeit nach unten und wärmere treten von unten an ihre Stelle. Dies setzt sich solange fort, bis das ganze Wasser eine Temperatur von  $+4^{\circ}$  C erreicht hat. Durch weitere Abkühlung dehnen sich die oberen Schichten wieder aus und können daher selbst beim Gefrieren nicht mehr untersinken. In *stehenden Gewässern von genügender Tiefe* behalten demnach die unteren Schichten bei dem geringen Leitungsvermögen des Wassers im Winter eine Temperatur von nahezu  $4^{\circ}$ .

In *Flüssen* kann das bis auf  $0^{\circ}$  abgekühlte Wasser durch Strömungen nach unten gelangen und hier mit dem Grunde des Flußbettes in Berührung kommen, sodafs die dort befindlichen festen Körper sich mit Eis überziehen (Grundeis). Hat das Grundeis sich zu größeren Massen angesammelt, so reißt es sich durch den Auftrieb los. An der Oberfläche häufen sich solche Eisstücke oft so sehr, daß sie untereinander und mit dem am Ufer entstandenen Eise zusammenfrieren, sodafs eine zusammenhängende Eisdecke entsteht. — Nach Tiefseeforschungen herrscht im *Meere* in einer Tiefe von ungefähr 700 bis 1000 m eine durchschnittliche Temperatur

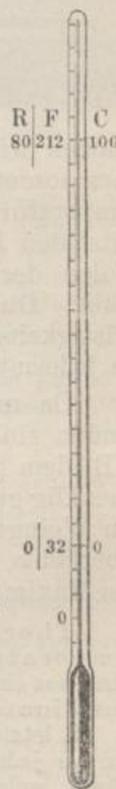
\*) Nach Weinholds „Vorschule der Experimentalphysik.“

von +4° C. Von da ab bis zum Grunde des Meeres ist die Temperatur in der heissen und gemäßigten Zone zwischen 0° und +2°, während sie in den Polar-gegenden bis etwa -2,5° herabsinkt.

**Übungsstoff.** 1. Was würde eintreten, wenn die bei Versuch c benutzte Flasche W. von gewöhnlicher Temp. enthielte und man tauchte sie dann schnell a. in kälteres, b. in wärmeres W.? Erkl.! — 2. Aus dem Sinken des W. in der Röhre (Versuch c) kann nicht ohne weiteres geschlossen werden, daß das W. sich zunächst zusammenzog, denn die Ersch. hätte auch eintreten können, wenn das W. sich weniger ausdehnte als Glas, oder seinen Rauminhalt gar nicht geändert hätte. Erkl.! — 3. Bei gleichmäßiger Erwärmung steigt das W. in der Röhre erst von 6° ab; bis dahin sinkt es. Erkl.! — 4. Wie würde es zu erklären sein, wenn der Stand des W. sich von 4° bis 6° nicht änderte? — 5. Ein Therm. enthalte W. statt Qu.; welche Ziffer würde dann auf demselben am tiefsten stehen müssen, wenn die Kugel des Therm. ihren Rauminhalt nicht änderte, u. w.? — 6. Warum würde eine für Qu. bestimmte Teilung für W. nicht brauchbar sein, selbst wenn man das Dichtigkeitsmaximum berücksichtigte? — 7. Warum kann Grundeis erst dann aufsteigen, wenn es sich in größerer Menge gebildet hat? — 8. Warum kann auf kleinen Gewässern sich leichter eine Eisdecke bilden als auf großen?

**§ 117. Thermometer.** Da Veränderungen im Wärmestande der Körper sich am leichtesten und sichersten nach den dadurch hervorgerufenen Veränderungen des Rauminhaltes beurteilen lassen, so dient diese Wirkung der Wärme, wie bereits früher hervorgehoben wurde, allgemein zur Bestimmung der Temperatur. Aufser den beiden in § 30 beschriebenen Thermometerskalen von Réaumur und Celsius ist noch die Skala von Fahrenheit zu erwähnen (Fig. 427), welche sich dadurch unterscheidet, daß ihr Nullpunkt 32° unter dem natürlichen Gefrierpunkte liegt. Der Siedepunkt des Wassers ist auf dieser Skala mit 212 bezeichnet, sodafs der Temperaturabstand zwischen dem Gefrier- und dem Siedepunkte des Wassers 180° umfaßt. Das Verhältnis der Anzahl der Grade dieser 3 Thermometerskalen ist demnach 80 : 100 : 180 = 4 : 5 : 9.

Fig. 427.



Bei der Umrechnung der Grade nach F in Grade nach C oder R hat man hiernach zunächst zu beachten, wieviel Grad die Temperatur über oder unter dem Eispunkte liegt, und darauf die erhaltenen Grade mit  $\frac{5}{9}$  oder  $\frac{4}{5}$  zu multiplizieren, während man bei der Umrechnung der Grade nach C oder R in Grade nach F zunächst mit  $\frac{9}{5}$  oder  $\frac{4}{5}$  zu multiplizieren und dann zu berechnen hat, wieviel Grad die Temperatur über oder unter dem Nullpunkte des Fahrenheitschen Thermometers liegt.

**Beispiele:**

- + 100° F = 100 - 32 = 68° über d. E.-P., also  $+\frac{5}{9} \cdot 68°$  C oder  $+\frac{4}{5} \cdot 68°$  R.
  - + 10° F = 32 - 10 = 22° unter d. E.-P., also  $-\frac{5}{9} \cdot 22°$  C oder  $-\frac{4}{5} \cdot 22°$  R.
  - 10° F = 32 + 10 = 42° unter d. E.-P., also  $-\frac{5}{9} \cdot 42°$  C oder  $-\frac{4}{5} \cdot 42°$  R.
  - + 20° R =  $\frac{5}{4} \cdot 20 = 45°$  über d. E.-P., also + 45 und 32 = + 77° F.
- u. s. w.

Allgemein:  $t° = \frac{5}{9}(t - 32)°$  C oder auch =  $\frac{4}{5}(t - 32)°$  R.  
 $t° = \frac{5}{9}t°$  R oder auch =  $\frac{9}{5}t° + 32°$  F.  
 $t° = \frac{5}{4}t°$  C oder auch =  $\frac{4}{5}t° + 32°$  F.

Thermometer mit der Skala nach Fahrenheit sind besonders in England und Nordamerika in Gebrauch.

Für die Beurteilung der Temperaturschwankungen, welche z. B. in der atm. Luft vorkommen, ist es häufig erwünscht, nicht nur die augenblickliche Temperatur, sondern auch die höchste und niedrigste Temperatur etwa eines Tages ermitteln zu können. Zu diesem Zwecke giebt man den Thermometern besondere Einrichtungen.

*Thermometer, welche so eingerichtet sind, daß sie die innerhalb eines Zeitraumes stattgefundene höchste oder tiefste Temperatur dann noch anzeigen, wenn die Temperatur sich bereits wieder geändert hat, werden Maximum- und Minimum-Thermometer genannt.*

Fig. 428 stellt die bekannteste Einrichtung eines derartigen Instrumentes dar (*Thermometrograph von Rutherford*).

Fig. 428



Das **Maximum-Thermometer** (oberes Therm.) zeigt die höchste stattgefundene Temperatur an. Vor dem Quecksilberfaden liegt ein Stahlstäbchen, das beim Steigen der Temperatur fortgeschoben wird, beim Sinken derselben liegen bleibt. — Das **Minimum-Thermometer** (unteres Therm.) giebt die niedrigste stattgefundene Temperatur an und enthält Weingeist statt Quecksilber. Im Flüssigkeitsfaden liegt ein Glasstäbchen, das beim Sinken der Temperatur infolge der Adhäsion mit zurückgeht, beim Steigen derselben liegen bleibt. Durch Neigen der Röhren bringt man die Stäbchen mit den Flüssigkeitsoberflächen in Berührung und stellt so das Thermometer für die jedesmalige Beobachtung ein.

Da mit dem Gebrauch desselben manche Unzuträglichkeiten verbunden sind, so giebt man anderen Maximumthermometern den Vorzug, z. B. dem sogen. *Sixthermometer*. Dasselbe besteht aus einer zweischenklig gebogenen Glasröhre, in der durch die Ausdehnung einer Mischung von Weingeist und anderen Flüssigkeiten und deren Dämpfen ein Quecksilberfaden und durch diesen zwei Stahlstäbchen verschoben werden, die das Maximum und Minimum angeben.

Thermometer, bei denen die Ausdehnung *fester Körper* zur Temperaturbestimmung dient, sind die **Metallthermometer**. Sie bestehen aus einem schmalen, schraubenförmig gewundenen Metallstreifen (Kompensationsstreifen), welcher seiner Länge nach aus 2 Metallen zusammengelötet ist. Da letztere sich ungleichstark ausdehnen, so ändern die Windungen des Streifens bei jeder Temperaturveränderung ihre Krümmung; dadurch wird ein Zeiger gedreht, welcher die Temperatur auf einer Kreisteilung angiebt.

Zum Nachweise sehr geringer Temperaturveränderungen läßt sich mit Vorteil ein **Differentialthermometer** anwenden (Fig. 429, folg. Seite). Es besteht bei der hier angegebenen Einrichtung aus einer doppelt Uförmig gebogenen engen Glasröhre, deren Enden kugelig aufgeblasen sind, und welche eine

gefärbte Flüssigkeit (Alkohol) enthält. Eine der beiden Kugeln ist zur Anwendung bei Versuchen über strahlende Wärme (§ 125) mit Ruß geschwärzt.

Dafs die Veränderungen des Rauminhaltes, welche die Körper durch Erwärmung und Abkühlung erleiden, ein sehr brauchbares Mittel zu Temperaturbestimmungen sind, wurde zuerst von Galilei erkannt. Die ersten (noch sehr unvollkommenen) Thermometer bestanden aus einer am oberen Ende (A, Fig. 430) kugelig aufgeblasenen Glasröhre (B), welche in ihrem unteren Teile gefärbten Alkohol enthielt und in ein mit derselben Flüssigkeit gefülltes Gefäß (C) eingetaucht war. Über der Flüssigkeit enthielt die Röhre Luft. Die Einteilung dieser Thermometer war eine willkürliche. Später gab man dem Thermometer seine jetzige Gestalt. Es dauerte aber noch längere Zeit, bis man sichere und leicht bestimmbare Fundamentalpunkte einführte. Dies geschah erst, nachdem man erkannt hatte, dafs ein Thermometer in schmelzendem Schnee oder Eis, sowie in siedendem Wasser immer dieselbe Temperatur anzeigt. Nachdem schon Huyghens (1665) auf diese Thatsache aufmerksam gemacht hatte, wurde das erste mit festen Fundamentalpunkten versehene Thermometer von Fahrenheit in Danzig (1709) hergestellt.

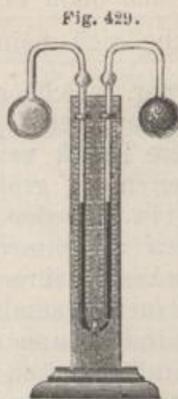


Fig. 429.

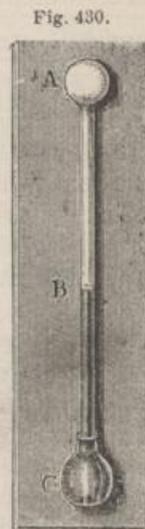


Fig. 430.

Bem. Da sehr hohe Temperaturen sich weder mit Qu.- noch mit Weingeist-Thermometern bestimmen lassen, so wendet man zu diesem Zwecke besondere Instrumente an, welche **Pyrometer**<sup>1)</sup> genannt werden. Die Einrichtung derselben ist sehr verschieden (vergl. § 115) und beruht im wesentlichen auf der Ausdehnung schwer schmelzbarer Stoffe oder einer in einem Platingefässe enthaltenen Luftmenge.

**Übungsstoff.** 1. Warum ist die Einrichtung des ältesten Therm. unvollkommen? (Einfluss des Luftdruckes!) — 2. Warum eignen sich die Temp. von schmelzendem Eis oder Schnee und von siedendem W. ganz besonders zu Fundamentalpunkten für Therm.? — 3. Den Gefrierpunkt des nach R und C eingerichteten Therm. pflegt man zum Unterschiede von demjenigen nach F als den natürlichen zu bezeichnen; w.? — 4. Wv. beträgt die Temp. der heißen Quellen in Wiesbaden (70° C) und Karlsbad (75° C) in Graden nach R und F? — 5. Beim Bohren nach Steinsalz fand man in Sperenberg bei Berlin in einer Tiefe von ungef. 600 m eine Temp. von +26,5° R, in einer Tiefe von ungef. 1080 m +37° R, in einer Tiefe von 1334 m nahezu 41° R. Wv. Grad C und F sind dies? — 6. In London beträgt die mittlere Temp. im Januar +37° F, im August +63,5°; in Jakutzk (Sibirien) sinkt die Temp. im Januar bisweilen bis gegen -80° F, die Sonnenwärme steigt im Juli durchschnittlich bis gegen +64° F. Wv. Grad R und C sind dies?

## § 118. Veränderlichkeit der Schmelz- und Siedepunkte.

**1. Schmelzpunkte.** Die Temperatur, bei welcher ein Körper schmilzt oder siedet, ist im allgemeinen durch den Stoff bestimmt (§ 32); es läßt sich jedoch durch Versuche nachweisen, dafs der Schmelzpunkt, namentlich aber der Siedepunkt nicht ausschliesslich von der Natur der Körper abhängig ist. Bei allen *festen Körpern* übt der äufsere Druck in folgender Weise einen Einfluss auf die Höhe des Schmelzpunktes aus:

<sup>1)</sup> πῦρ (pyr), Feuer.

Durch starken Druck wird der Schmelzpunkt bei denjenigen Körpern, welche sich beim Schmelzen ausdehnen, erhöht, bei denjenigen dagegen, welche sich beim Schmelzen zusammenziehen, erniedrigt.

Alle Körper, welche sich *beim Schmelzen ausdehnen*, haben, indem sie sich ausdehnen, den Druck der Luft zu überwinden. Wird nun der äufsere Druck vergrößert, so ist der Widerstand, welcher überwunden werden muß, gröfser als vorhin; solche Körper müssen daher stärker erhitzt werden, ehe sie schmelzen. Bei Körpern, welche sich *beim Schmelzen zusammenziehen*, wird die Wärme durch die Vergrößerung des Druckes in ihrer Wirkung unterstützt; Körper von dieser Beschaffenheit brauchen somit nicht so stark erhitzt zu werden. In beiden Fällen indes kann der Einfluss, welchen der äufsere Druck auf den Schmelzpunkt ausübt, nur sehr gering sein, da die Wirkung der Molekularkräfte hierbei bedeutend überwiegt.

Beim Wasser beträgt die Erniedrigung des Schmelzpunktes bei einer Zunahme des Druckes um 1 Atm. nahezu  $\frac{1}{111}^{\circ}$  C. Eis zeigt die eigentümliche Erscheinung, dafs Stücke desselben bei gegenseitiger Berührung unter Druck wieder zusammenfrieren. Wird z. B. um ein Stück Eis eine mit Gewichten belastete Drahtschlinge gehängt, so durchdringt diese das Eis zwar allmählich, das entstehende Schmelzwasser aber gefriert über dem Drahte wieder, sodafs das Eisstück ganz bleibt und beim Zerschlagen ebenso leicht in jeder anderen Richtung zerspringt, als in der, in welcher es vom Draht durchschnitten wurde. Bildet sich Eis aus Schnee unter starkem Druck (beim Pressen in Formen, Schneeball in der Hand), so wird es zähe und biegsam. Aus dieser Eigenschaft des Eises (*Regelation*) erklärt man die Erscheinungen der Gletscher, welche sich wie eine zähe Masse langsam thalabwärts bewegen und somit gleichsam im Fliefsen begriffene Eisströme sind; der am unteren Ende namentlich im Sommer durch Abschmelzen der Gletscherzunge eintretende Verlust wird durch steten Nachschub von oben wieder ausgeglichen.

Im Innern der Erde muß der Schmelzpunkt der festen Massen des Erdkörpers, da der Druck mit der Tiefe zunimmt, auch entsprechend höher sein als an der Erdoberfläche.

**Erstarrungsverzug oder Überschmelzung.** Während sich feste Körper nicht über ihren Schmelzpunkt erwärmen lassen, ohne zu schmelzen, können sich umgekehrt viele Flüssigkeiten, wenn ihre Temperatur langsam sinkt und Erschütterungen und Luftzutritt vermieden werden, ziemlich tief unter ihren Gefrierpunkt abkühlen, ehe sie erstarren.

Bei strenger Winterkälte kann man diesen als *Erstarrungsverzug, Überschmelzung* oder *Unterkühlung* bezeichneten Vorgang häufig an Wasser beobachten, welches im kalten Zimmer längere Zeit gestanden und sich langsam unter  $0^{\circ}$  abgekühlt hat. Sobald das Wasser erschüttert wird (z. B. durch Ausgiefsen), verwandelt es sich in einen Brei von Eisnadeln und die Temperatur desselben steigt auf  $0^{\circ}$ . Am leichtesten tritt der Erstarrungsverzug bei Wasser ein, welches man vorher durch Auskochen luftleer gemacht hat; hierauf beruht ein unter dem Namen *Wasserhammer* bekannter Apparat (Fig. 436), der luftfreies Wasser enthält, welches man leicht auf  $-6^{\circ}$  bis  $-8^{\circ}$  abkühlen kann, ohne dafs es erstarrt. — Der Erstarrungsverzug tritt auch häufig bei Wassertröpfchen ein, welche in der Luft frei schweben und erst durch Erschütterung (beim Herabfallen z. B.) erstarren (Wichtigkeit dieses Vorganges bei der Bildung von Glatteis, Rauhreif, Graupeln und Hagel).

In sehr anschaulicher Weise läfst sich der Erstarrungsverzug an *unterschwefligsaurem Natron* beobachten (vergl. § 119, Versuch c).

Eine eigentümliche Veränderung ihrer Schmelzpunkte zeigen Metalle beim Zusammenschmelzen (*Metallgemische oder Legierungen*). Bei diesen liegt näm-

lich der Schmelzpunkt gewöhnlich tiefer als das Mittel aus den Schmelzpunkten der Bestandteile.

Während z. B. Blei erst bei ungefähr 300°, Zinn bei 230° C schmilzt, liegt der Schmelzpunkt des sogen. Schnell- oder Weichlotes, einer Legierung aus beiden Metallen (1 Teil Blei und 2 Teile Zinn) bei 170°. — Schmilzt man 2 Teile Blei, 2 Teile Zinn, 7 bis 8 Teile Wismut (Schmelzpunkt 270° C) und 2 Teile Kadmium (Schmelzpunkt 320° C) zusammen, so erhält man eine Legierung, welche schon bei 65° bis 70° C (z. B. beim Eintauchen in nahezu kochendes Wasser) schmilzt (Woodsches Metallgemisch).

Zum Schmelzen der Eisenerze in Hochöfen wendet man, um die Erze leichter in Flufs zu bringen, als Zusatz gewisse Mineralien an (Flufsspat, Kalk, Quarz).

**2. Siedepunkte.** Eine Flüssigkeit kann in offenen Gefäßen erst dann sieden, wenn die Dampfspannung dem Luftdrucke gleich ist, da letzterer von den Dämpfen überwunden werden muß (§ 33). Hiernach läßt sich erwarten, daß eine Flüssigkeit stärker als gewöhnlich erhitzt werden muß, wenn der äußere Druck vergrößert wird, dagegen schon bei einer niedrigen Temperatur siedet, wenn man den äußeren Druck vermindert. Ersteres lehren die beim Gebrauch dicht verschlossener Kochgefäße (sogen. *Papinsche Töpfe*, Fig. 432) und namentlich bei Dampfmaschinen eintretenden Erscheinungen; letzteres läßt sich daraus schließen, daß auf hohen Bergen das Wasser in offenen Gefäßen bei weniger als 100° siedet, auf dem St. Bernhard (2500 m Höhe) z. B. bei 92°, auf dem Montblanc (4600 m Höhe) bei 85°.

**Versuch a.** Unter dem Recipienten einer Luftpumpe siedet Wasser von 50 bis 60° C. schon nach einigen Kolbenzügen (s. § 87, Versuch d.).

**\*Versuch b.** Läßt man W. in einer Kochflasche (Fig. 431) kurze Zeit kochen, verschließt darauf die Flasche möglichst dicht und kehrt sie um, so fängt das Wasser wieder an zu sieden, sobald man sie durch Übergießen mit kaltem Wasser oder durch Eis und Schnee von außen abkühlt (Erklärung!). Das Sieden erfolgt stofsweise.

Der **Siedepunkt** einer Flüssigkeit hängt nicht allein von der Natur der Flüssigkeit, sondern auch von der Größe des äußeren Druckes ab.

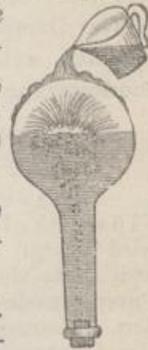
Unter dem *normalen Siedepunkt* versteht man diejenige Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit unter dem mittleren Luftdrucke von 760 mm siedet; die Spannkraft ihrer Dämpfe ist dann gleich diesem Drucke.

Folgende Tabelle zeigt für Wasser die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdrucke, der durch eine in mm angegebene Quecksilbersäule gemessen ist.

Siede- punkt ° C	Druck in mm Quecksilber	Siede- punkt ° C	Druck in mm Quecksilber
50	92,0	97	682,0
60	148,8	98	707,3
70	233,1	98,5	720,1
80	354,6	99	733,2
90	525,4	99,5	746,5
95	633,8	100	760,0
96	657,5	101	787,6

In einem offenen Gefäße läßt sich demnach eine Flüssigkeit nicht über den Siedepunkt erhitzen, welcher dem gleichzeitigen Luftdrucke entspricht; in einem geschlossenen Gefäße dagegen steigert sich die Dampfspannung und damit erhöht sich auch der Siedepunkt, der z. B. bei 2 Atmosphären Druck 121°, bei 3 Atm. 134° beträgt (vgl. § 122). Eine Anwendung hiervon wird bei dem sogen. Papinschen

Fig. 431.



Topf oder Dampfkochtopf gemacht (Fig. 432); warum ist derselbe an Orten, die eine beträchtliche Meereshöhe haben, für Haushaltzwecke sehr wichtig? — Das

Fig. 432.



Sieden bei geringem Drucke findet eine Anwendung bei der Zuckerfabrikation. Um aus den Zuckersäften der Rüben in kurzer Zeit möglichst viel krystallisierten Zucker zu gewinnen und eine Zersetzung der Säfte zu verhüten, läßt man dieselben in geschlossenen Pfannen, sogen. *Vakuumpfannen*, aus denen man zur Erniedrigung des Siedepunktes Luft und Dämpfe mittelst Luftpumpen entfernt, bei 60° bis 70° C kochen.

Der Siedepunkt von Flüssigkeiten kann auch dadurch erhöht werden, daß man *Salze* in denselben auflöst (eine gesättigte Lösung von Kochsalz z. B. siedet bei 108,5°). Ferner übt auf das Sieden das Vorhandensein oder Fehlen von *Gasen* in einer

Flüssigkeit einen Einfluss aus; das Sieden luftfreien (ausgekochten) Wassers z. B. tritt erst bei höherer Temperatur und dann stofsweise unter Bildung großer Dampfblasen ein, da die dem Sieden sonst vorausgehende Bildung von Luftbläschen, welche Dampfteilchen aufnehmen können, fehlt. Diese Erscheinung heißt *Siedeverzug* oder *Überhitzung*.

Manche Flüssigkeiten, z. B. Öl, kochen gewöhnlich stofsweise. Um dies zu verhüten, braucht man nur Thonscherben oder dergl. hineinzuwerfen. (Erkläre dies!)

Siedeverzüge können auch leicht eintreten, wenn nicht die Flüssigkeit erhitzt, sondern der äußere Druck stark vermindert wird (vergl. Versuch b. Fig. 431). Bleibt daher die Temperatur der Flüssigkeit weit über demjenigen Siedepunkte, welcher dem äußeren Drucke entspricht (bei Dampfkesseln z. B. während einer längeren Arbeitsruhe, wenn die Kesselwand über dem Wasserspiegel sich stärker abkühlt als das Wasser), so kann die plötzliche Dampfentwicklung eine Explosion zur Folge haben.

**Leidenfrostsche Tropfen.** Ein \*Versuch mit einigen Wassertropfen, die man auf eine bis nahe zum Rotglühen erhitzte, sehr flache Blechschale fallen läßt, zeigt, daß geringe Flüssigkeitsmengen auf einer sehr stark erhitzten metallischen Unterlage eine tropfenähnliche Gestalt annehmen und schließlic mit heftigem Zischen verdampfen.

**Erklärung:** Durch die starke Hitze des Metalles entsteht unter dem Tropfen eine Dampfschicht (Fig. 433), von welcher derselbe getragen und so vor

Fig. 433.



der unmittelbaren Einwirkung der Wärme geschützt wird. Da ferner dem Tropfen durch die fortgesetzte Dampfbildung Wärme entzogen wird, so liegt seine Temperatur immer noch mehrere Grade unter dem Siedepunkte. Kühlt sich die Unterlage bis nahe zum Siedepunkte der Flüssigkeit ab, so verschwindet die Dampfschicht und der Tropfen kommt mit dem Metalle in Berührung; dadurch steigt seine Temperatur so schnell, daß eine plötzliche Verdampfung stattfindet.

Eine ähnliche Erscheinung tritt auch ein, wenn sehr heißes Metall in Wasser getaucht wird (Ablöschen von glühendem Eisen), oder wenn Dampfkessel erst dann gespeist werden, nachdem die Kesselwand über dem Wasser sich bereits bis zum Glühen erhitzt hat (Ursache mancher Kesselexplosionen). — Die merkwürdige, schon seit alten Zeiten in Schmelzhütten bekannte Erscheinung, daß man die Hände kurze Zeit in geschmolzenes Metall eintauchen kann, ohne sich zu verbrennen, scheint sich ebenfalls aus der Bildung einer dünnen Dampfschicht zu

erklären, welche die feuchte Haut vor der Berührung mit dem glühenden Metall schützt. (Feuerproben des Mittelalters.)

**Übungsstoff.** 1. Warum lassen sich Gegenstände aus Blei oder Zinn mit einer Legierung aus Blei und Zinn löten? — 2. Die Deckel der Kochtöpfe werden bisweilen belastet. Welchen Einfluss hat dies auf die Temp. der Speisen und welche Vorsicht ist dabei anzuwenden? — 3. In einem Dampfkessel sei das W. über  $100^{\circ}$  erhitzt. Was wird eintreten, a. wenn man die Dämpfe abströmen lässt, b. wenn die obere Kesselwand sich schneller abkühlt als das W.? — 4. Angenommen, die  $\Omega$ förmige Röhre (Fig. 110) sei aus 2 durch einen kurzen Gummischlauch verbundenen Teilen zusammengesetzt; wie liefse sich dann nach dem Sieden des W. der Dampf leicht absperrern, und ohne Flamme ein Sieden bewirken? — 5. Warum muß hierzu, wie bei Versuch b (Fig. 431), der Dampf erst einige Zeit ausgeströmt sein, ehe man ihn absperrt? — 6. Wie groß würde nach der obigen Tabelle der Luftdruck an einem Orte sein, an dem W. in einem offenen Gefäße bei  $98, 95, 90^{\circ}$  siedet? — 7. Wie könnte man darnach die Höhe eines Ortes über dem Meere durch Beobachtung an einem Therm. bestimmen? — 8. Warum sind an den zu diesem Zwecke verwendeten Therm. (sogen. Hypsothermometern) nur wenige Grade der Skala (unterhalb des Siedepunktes) nötig, und warum müssen diese in sehr kleine Bruchteile geteilt sein? — 9. Ausgekochtes W. siedet in einem Gefäße, das längere Zeit leer gestanden hat, leichter, als wenn man es in ein Gefäß gießt, in welchem unmittelbar vorher W. gekocht wurde; w.? — 10. Wird Weingeist oder W. auf heißen Unterlagen länger einen Leidenfrostschen Tropfen bilden können?

**§ 119. Schmelz- und Erstarrungswärme.** Nach den bisherigen Betrachtungen über die Wirkungen der Wärme könnte es scheinen, als ob die Temperatur eines Körpers unter allen Umständen durch Aufnahme von Wärme steigen und durch Abgabe von Wärme sinken müßte, wie es thatsächlich auch der Fall ist, wenn der Körper seinen Aggregatzustand beibehält, wenn also z. B. der feste Körper fest, der flüssige flüssig bleibt. Sobald jedoch mit der Erwärmung oder Abkühlung eine Änderung des Aggregatzustandes verbunden ist, treten besondere Erscheinungen ein, wie folgende Versuche lehren.

**\*Versuch a.** Wird Schnee oder zerstoßenes Eis von  $0^{\circ}$  in einem Gefäße erwärmt, so bleibt die Temperatur (bei genügendem Umrühren der Masse) solange dieselbe, bis der Schnee oder das Eis vollständig geschmolzen ist. — Mischt man Schnee oder gestoßenes Eis mit ebensoviel kochendem Wasser, so kühlt sich letzteres dadurch viel stärker ab, als durch Zusatz von gleichviel kaltem Wasser.

Wird 1 kg Schnee oder Eis von  $0^{\circ}$  in ebensoviel Wasser von nahezu  $80^{\circ}$  geschmolzen, so erfolgt eine Abkühlung des Wassers bis  $0^{\circ}$ .

Beim Schmelzen oder Auflösen von anderen festen Körpern treten ähnliche Erscheinungen ein. Mischt man 1 Teil Schnee mit 2 Teilen Kochsalz, so schmelzen beide Körper und die Temperatur sinkt bis gegen  $-20^{\circ}$  C: Kältemischung.

Schnee und Kochsalz wird als Kältemischung namentlich bei physikalischen Versuchen angewandt. Durch Mischung von Schnee und Schwefelsäure läßt sich die Temperatur bis auf  $-60^{\circ}$  erniedrigen.

**\*Versuch b.** Schüttet man Glaubersalz, Soda, Salpeter, Salmiak oder dergl. unter Umrühren in Wasser von gewöhnlicher Temperatur, so sinkt die Temperatur des Wassers je nach der Natur der gelösten Körper, wie sich durch Anwendung eines Differentialthermometers oder Thermoskopes leicht nachweisen läßt.

\*Versuch c. In einem weithalsigen Kochfläschchen schmelze man unterschwefligsaures Natron (Schmelzpunkt  $57^{\circ}\text{C}$ ) und lasse die geschmolzene Masse, nachdem man ein Thermoskop (Fig. 434) hineingestellt hat, sich langsam auf  $+12^{\circ}$  bis  $15^{\circ}\text{C}$  abkühlen (Erstarrungsverzug). Wirft man dann einige Körnchen desselben Salzes in die Flüssigkeit, so krystallisiert diese ziemlich schnell, wobei das Thermoskop sehr deutlich eine Temperaturerhöhung anzeigt. Aus diesen Erscheinungen muß man schließen:



Alle festen Körper verbrauchen Wärme beim Schmelzen (Schmelzwärme); alle flüssigen Körper erzeugen Wärme beim Erstarren (Erstarrungswärme).

Genauere Untersuchungen lehren:

Die Erstarrungswärme eines Körpers ist der Schmelzwärme gleich.

Das Thermometer zeigt den Wärmezustand eines Körpers an, nicht aber die Wärmemengen, welche ein Körper zum Schmelzen verbraucht oder beim Erstarren erzeugt. Zur Vergleichung dieser Wärmemengen muß eine geeignete Wärmeeinheit festgesetzt werden.

*Unter einer Wärmeeinheit oder Kalorie<sup>1)</sup> versteht man diejenige Wärmemenge, welche 1 kg Wasser aufnimmt, wenn es von  $0^{\circ}$  bis  $1^{\circ}\text{C}$  erwärmt wird, also auch abgibt, wenn es von  $1^{\circ}$  bis  $0^{\circ}$  abgekühlt wird.*

Beim Verflüssigen eines festen Körpers gehen die Teilchen desselben aus dem festen Zusammenhange in den Zustand großer Beweglichkeit über; beim Erstarren verlieren sie diese Beweglichkeit wieder. Im ersteren Falle muß der Widerstand der Kohäsion (*innerer Widerstand*) nahezu ganz überwunden werden. Dehnt sich ein Körper beim Schmelzen aus, so ist außerdem noch der Widerstand des Luftdruckes (*äußerer Widerstand*) zu überwinden. Nach dem Verflüssigen des festen Körpers ist daher die von demselben aufgenommene Wärme als solche nicht mehr vorhanden. Nach den früheren Vorstellungen vom Wesen der Wärme, die man sich als einen Stoff vorstellte, konnte man nicht annehmen, daß ein Teil dieses Wärmestoffes beim Schmelzen verloren gehe; mithin dachte man sich denselben in einen besonderen Zustand übergeführt, in dem er keine Einwirkung auf das Thermometer äußern könne: *latente* oder *gebundene Wärme*. Die neuere Theorie, welche das Wesen der Wärme als einen Bewegungsvorgang erkannt hat, macht diese Annahme überflüssig, indem sie den Verbrauch von Wärme beim Schmelzen einfach dadurch erklärt, daß zur Trennung der Teilchen des festen Körpers eine gewisse Arbeit erforderlich ist, welche durch die Wärme geleistet wird. Erstarrt der geschmolzene Körper, so kommt diese innere Arbeit in der Form von Wärme wieder zum Vorschein, sie ist nun im Sinne der älteren Anschauungen wieder *freie Wärme* (vergl. auch § 147).

Beispiele: 1 kg Eis oder Schnee verbraucht beim Schmelzen nahezu 80 Wärmeeinheiten (genauer 79,25), 1 kg Wasser erzeugt, wenn es erstarrt, dieselbe

<sup>1)</sup> calor, Wärme.

Anzahl von Wärmeeinheiten. — Die Schmelz- und Erstarrungswärme beträgt für 1 kg Zink ungefähr 28, Zinn 14, Silber 11, Blei und Schwefel nur 5 Wärmeeinheiten. Eis hat von allen Körpern die größte Schmelzwärme.

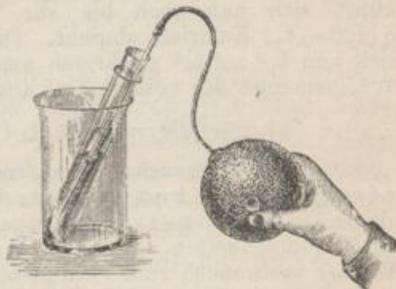
Dadurch, daß Eis und Schnee beim Schmelzen viel Wärme verbrauchen und Wasser beim Gefrieren viel Wärme erzeugt, werden die Temperaturübergänge während der kalten Jahreszeit etwas gemildert. Ohne die hohe Schmelzwärme würde auch das Auftauen des Eises und Schnees bedeutend schneller erfolgen.

**Übungsstoff.** 1. Welchen Einfluss muß es auf die Temp. einer Flgk. ausüben, wenn man Zucker oder einen anderen festen K. in derselben auflöst? — 2. Obst oder dergl. läßt sich in Kellern dadurch gegen das Gefrieren schützen, daß man flache Schalen mit W. daneben stellt. Zur Erklärung der Ersch. sagt man „das W. ziehe die Kälte an“. Welches ist der wahre Grund? — 3. Warum kann man heißes W. durch Schnee oder Eis stärker abkühlen als durch ebensoviel eiskaltes W.? (Anwendung der sogen. „Eisbeutel“.) — 4. Um wv. Grad kann 1 kg W. von 0° sich erwärmen, bis es ebensoviel Wärme aufgenommen hat als 1 kg Schnee oder Eis beim Schmelzen verbraucht? — 5. Wie kann man im warmen Zimmer W. auf einem Teller gefrieren lassen? — 6. Wie erklärt es sich, daß das W., welches durch die Einwirkung von Kochsalz auf Schnee entsteht, bei starkem Sinken der Temp. nicht wieder gefriert und warum streut man bei Schneefall Kochsalz auf die Schienen der Pferdeisenbahnen? — 7. Wv. kochendes W. ist erforderlich, um 50 kg Eis von 0° zu schmelzen? — 8. Wv. Eis von 0° kann durch 20 kg kochendes W. geschmolzen werden? — 9. Wv. W. könnte durch die Wärme, welche bei der Bildung von 1 kg Eis entsteht, um 1° C erwärmt werden? — 10. Warum ist von der beim Gefrieren der Gewässer entstehenden Wärme in der Natur wenig wahrzunehmen?

### § 120. Verdampfungs- und Kondensationswärme.

**Versuch a.** Wird die nicht geschwärzte Kugel des Differential-Thermometers (Fig. 429) nacheinander mit Äther, Weingeist und Wasser benetzt, so zeigt der Flüssigkeitsfaden des Thermometers beim Äther die stärkste, beim Wasser die geringste Temperaturerniedrigung an.

Fig. 435.



\***Versuch b.** Läßt man in einem Probierglase, das in ein mit kaltem Wasser gefülltes weiteres Glas gestellt ist (Fig. 435), reinen Äther dadurch verdunsten, daß man mittelst eines Blasebalges Luft hindurchtreibt, so sinkt die Temperatur des Äthers in kurzer Zeit unter 0° und es bildet sich eine Eisschicht zwischen den Gläsern.

Unter dem Recipienten der Luftpumpe verdampft Äther sehr schnell und bringt Wasser in einem Uhrschälchen leicht zum Gefrieren (vergl. § 87, Versuch d).

\***Versuch c.** Erwärmt man gleiche Mengen kalten Wassers (etwa 200 ccm) in 2 Glaszylindern, indem man in den einen Cylinder Dämpfe von kochendem Wasser leitet und in den andern ebensoviel kochendes Wasser gießt, so steigt die Temperatur im ersten Cylinder bedeutend höher als im zweiten, obgleich Dämpfe von kochendem Wasser nicht heißer sind als das Wasser selbst.

Während des Siedens von Wasser in einem offenen Gefäße bleibt das Thermometer bei 100° C stehen (§ 32, Versuch c); die zugeführte

Wärmemenge ist also zur Dampfbildung verbraucht worden. Umgekehrt wird beim Übergang des Dampfes in den flüssigen Zustand die vorher gebundene Wärme wieder frei.

Ähnliche Erscheinungen treten stets ein, wenn Flüssigkeiten dampfförmig oder wenn Dämpfe flüssig werden.

Alle Flüssigkeiten verbrauchen Wärme, wenn sie dampfförmig werden (Verdampfungswärme); alle Dämpfe erzeugen Wärme, wenn sie flüssig werden (Kondensationswärme).

Die Kondensationswärme eines Körpers ist gleich seiner Verdampfungswärme.

Die Verdampfungswärme wird wie die Schmelzwärme zur Überwindung eines *inneren* und eines *äußeren Widerstandes* (der Kohäsion und des Luftdruckes) verbraucht. Sie hat also eine Arbeit geleistet und ist nach der Verdampfung der Flüssigkeit als Wärme nicht mehr vorhanden; wenn der Dampf sich wieder zu Flüssigkeit kondensiert, so kommt die vorher verbrauchte Wärme als solche wieder zum Vorschein.

Auf diesem Vorgange beruht das Verfahren zur Ermittlung der Verdampfungswärme: Man leitet Dampf durch ein schlangenförmig gewundenes Metallrohr, welches in einem Kühlgefäße von einer bestimmten Menge kalten Wassers umgeben ist. An dieses giebt der Dampf, indem er sich im Schlangenrohr kondensiert, die Dampfwärme ab, welche mithin aus dem Gewicht und der Temperaturerhöhung des Kühlwassers berechnet werden kann. Sind z. B.  $q$  gr Wasserdampf von  $100^{\circ}$  zu Wasser von  $100^{\circ}$  verdichtet worden, so hat der Dampf  $qx$  Wärmeeinheiten abgegeben, wenn  $x$  die Verdampfungswärme bezeichnet. Dieses Kondensationswasser kühlt sich nun noch bis zur Temperatur des Kühlwassers ( $t_2$ ) ab, wobei es  $q(100 - t_2)$  Kalorien abgibt. Die Menge des Kühlwassers betrage  $q_1$  kg, welche sich von  $t_1^{\circ}$  auf  $t_2^{\circ}$  erwärmen und mithin  $q_1(t_2 - t_1)$  Kalorien aufnehmen. Da diese Wärmemenge der vom Dampf abgegebenen gleich ist, so gilt mithin die Gleichung

$$qx + q(100 - t_2) = q_1(t_2 - t_1), \quad \text{woraus sich } x \text{ leicht bestimmen läßt.}$$

Genauere Versuche haben ergeben, daß Wasser die größte Verdampfungswärme hat und zwar beträgt dieselbe 537 Wärmeeinheiten. 1 kg siedender Weingeist verbraucht ungefähr 210, 1 kg siedender Äther nur 90 Wärmeeinheiten. Zum Verdunsten ist noch mehr Wärme erforderlich; 1 kg Wasser verbraucht zum Verdunsten bei gewöhnlicher Temperatur gegen 600 Wärmeeinheiten. Dadurch, daß die zum Verdunsten nötige Wärme der Umgebung entzogen wird, entsteht Verdunstungskälte. Die Verdunstungskälte ist bei manchen Flüssigkeiten sehr bedeutend. So entsteht z. B. beim Verdunsten flüssiger Kohlensäure eine Kälte von ungefähr  $-60^{\circ}$ . Wird die dabei sich bildende schneeähnliche feste Kohlensäure mit Äther gemengt und unter den Recipienten der Luftpumpe gebracht, so läßt sich durch Verdünnung der Luft eine Kälte von  $-110^{\circ}$  erzeugen. (Anwendung der Verdunstungskälte zur Verdichtung von Gasen bei gleichzeitiger Erhöhung des Druckes, siehe Seite 119 und 310.)

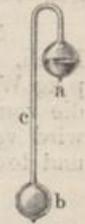
Die Eigenschaft des Wassers, beim Verdunsten sehr viel Wärme zu verbrauchen, sowie diejenige des Wasserdampfes, ebensoviel Wärme bei seiner Kondensation wieder zu erzeugen, ist im *Haushalte der Natur* für die Milderung klimatischer Gegensätze äußerst wichtig. Die erwärmten Luftmassen, welche über den Meeren heißer Gegenden täglich aufsteigen, sind sehr reich an Wasserdämpfen, von denen ein großer Teil durch Winde kälteren Ländern zugeführt wird. Sobald diese Dämpfe sich zu Wolken verdichten, geben sie die bei ihrer Entstehung aufgenommene Wärme wieder ab.

Von der Kondensationswärme des Wasserdampfes macht man bei der Dampfheizung eine wichtige Anwendung.

Durch den Wärmeverbrauch, welcher bei der Verwandlung einer Flüssigkeit in Dampf stattfindet, wird es möglich, Eis in größerer Menge künstlich herzustellen. Man verwendet hierzu Flüssigkeiten, welche einen niedrigen Siedepunkt haben, wie z. B. Äther oder Ammoniak, und bringt dieselben durch besondere Vorrichtungen zum schnellen Verdunsten (Eismaschinen).

**Übungsstoff.** 1. Zinnerne Gefäße schmelzen beim Erhitzen leicht, wenn sie leer sind, nicht aber, wenn sie mit W. gefüllt sind. Erkl. und Anwendung auf Kochgefäße, deren Boden angelötet ist. — 2. Warum ist es verschwenderisch, unter Kochtöpfen noch stark nachzuheizen, wenn das W. bereits siedet? — 3. Wird beim Kochen in offenen oder in geschlossenen Gefäßen mehr Feuerung verbraucht? — 4. Warum läßt sich W. durch Dämpfe bis zum Sieden erhitzen, nicht aber durch Hinzugießen von kochendem W.? — 5. Erkläre die Abkühlung durch Besprengen des Fußbodens, desgl. die des Trinkwassers in locker gebrannten, unglasierten Thonflaschen, das Kältegefühl nach dem Baden und nach Durchnässung der Kleidung. — 6. In manchen Gegenden gräbt man an heißen Sommertagen Flaschen, deren Inhalt man abkühlen will, in den feuchten Boden und zündet auf kurze Zeit Feuer darüber an. Erkl.! — 7. Wird die untere der beiden Glaskugeln eines luftleeren Kryophors (Eisträger, Fig. 436) in eine Kältemischung gestellt, so gefriert das in der oberen Kugel enthaltene W. leicht. Erkl.! — 8. Bei vorigem Versuche bildet sich eine Eiskecke; kühlt man den Apparat ganz allmählich (etwa im Freien) stark ab, ohne ihn zu erschüttern, so entsteht beim kräftigen Schütteln ein Eisbrei (§ 118). Erkl.! — 9. Tropfen von W., Weingeist und Äther lassen sich auf der Hand leicht durch das Gefühl voneinander unterscheiden. Erkl.! — 10. Warum muß es bedeutend länger dauern, bei derselben Wärmezufuhr kochendes W. in Dampf zu verwandeln, als ebensoviel W. von 0° bis zum Sieden zu erhitzen? — 11. Wv. kg eiskaltes W. kann man mit derjenigen Wärmemenge, welche zum völligen Verdampfen von 1 kg kochendem W. nötig ist, bis zum Sieden erhitzen? — 12. Wievielmals soviel Wärme verbraucht 1 kg W. beim Verdampfen als 1 kg Eis beim Schmelzen?

Fig. 436.

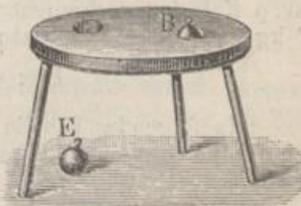


**§ 121. Specifische Wärme.** Die in den beiden vorigen Paragraphen angeführte Thatsache, daß zum Schmelzen wie zum Verdampfen gleicher Gewichtsmengen verschiedener Körper ungleiche Wärmemengen erforderlich sind, legt uns die Frage nahe, ob die Körper ähnliche Verschiedenheiten auch bei gleicher Temperaturzunahme zeigen werden. Gewisse Beobachtungen scheinen dies zu bestätigen. So erwärmt sich z. B. bei gleicher Bestrahlung durch die Sonne das Wasser bedeutend langsamer als der feste Boden und die Luft, wie es sich andererseits unter sonst gleichen Verhältnissen auch langsamer wieder abkühlt. (Bekannte Erfahrung beim Baden in offenen Gewässern.) Wasser scheint somit zu gleicher Temperaturerhöhung mehr Wärme zu erfordern als andere Körper.

Die Vermutung, ob gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper zu gleicher Temperaturerhöhung ungleicher Wärmemengen bedürfen, läßt sich durch folgenden Versuch prüfen.

**Versuch.** 1. Legt man gleichschwere Kugeln aus verschiedenen Metallen (z. B. Eisen und Blei), die in kochendem Wasser erhitzt werden, auf eine Scheibe von Wachs (Fig. 437), so schmelzen dieselben verschieden tief ein.

Fig. 437.



2. Wenn man gleiche Gewichtsmengen bis zu gleicher Temperatur erhitze Eisenfeilspäne und Bleischnitzel nacheinander mit einer bestimmten Menge kalten Wassers mischt, so wird dasselbe ungleichstark erwärmt.

Da gleiche Gewichtsmengen der betreffenden Metalle bei gleicher Temperaturabnahme ungleiche Wärmemengen abgeben, so müssen sie umgekehrt bei gleicher Temperaturzunahme auch verschiedene Wärmemengen aufgenommen haben. Diese Folgerung führt zum Begriff der „spezifischen Wärme“.

*Unter der spezifischen Wärme oder Wärmekapazität<sup>1)</sup> eines Körpers versteht man die Wärmemenge, welche 1 kg desselben zu einer Temperaturerhöhung von 1° C bedarf.*

Zur genauen Bestimmung der spec Wärme fester und flüssiger Körper dienen folgende Methoden:

1) **Die Mischungsmethode.** Der gewogene und bis zu einer bestimmten Temperatur erhitze Körper wird zur Abkühlung in eine bestimmte Menge Wasser getaucht. Hierauf berechnet man aus dem Gewichte und der Temperaturerhöhung des Wassers die vom Körper abgegebene Wärmemenge, wonach sich seine spec. Wärme bestimmen läßt.

Man bedient sich hierbei eines Kalorimeters, d. h. eines Gefäßes aus Blech, welches mit schlechten Wärmeleitern umgeben ist. Werden in demselben  $p$  kg Wasser durch den hineingebrachten Körper von  $t_1^{\circ}$  auf  $t_2^{\circ}$  erwärmt, so beträgt die vom Wasser aufgenommene Wärme  $p(t_2 - t_1)$  Kalorien. Diese Wärmemenge wird vom Körper abgegeben, dessen Gewicht  $P$  kg, dessen Anfangstemperatur  $T^{\circ}$  und dessen gesuchte spec. Wärme  $x$  genannt werden soll. Mithin besteht die Gleichung:

$$P(T - t_2)x = p(t_2 - t_1), \quad \text{woraus sich } x = \frac{p(t_2 - t_1)}{P(T - t_2)} \text{ ergibt.}$$

Bei genauen Bestimmungen muß berücksichtigt werden, daß auch das Kalorimeter selbst und das eingetauchte Thermometer Wärme aufnehmen.

Mischt man Wasser mit Wasser, so vereinfacht sich die vorige Gleichung (da  $x = 1$  ist), und es ergibt sich die sogen. Richmannsche Regel, welche zur Berechnung der Mischungstemperatur dient.

$$P(T - t_2) = p(t_2 - t_1), \quad \text{woraus folgt: } t_2 = \frac{PT + pt_1}{P + p}.$$

2) **Die Methode des Eisschmelzens.** Man läßt den Körper in Eis bis auf  $0^{\circ}$  erkalten und berechnet aus dem Gewichte des abfließenden Schmelzwassers, wieviel Wärmeeinheiten zum Schmelzen verbraucht worden sind.

Hierzu bedient man sich entweder besonderer Apparate, der sogen. Eiskalorimeter, oder man bringt den erhitzten Körper in eine in einem Eisblock hergestellte Höhlung, die man mit einem Stück Eis verschließt. Sind durch die vom Körper abgegebene Wärme  $p$  kg Schmelzwasser entstanden, so werden hierzu  $80 \cdot p$  Kalorien verbraucht. Es ergibt sich mithin, wenn das Gewicht des Körpers  $P$  kg und seine Temperatur  $t^{\circ}$  beträgt, die Gleichung:

$$Ptx = 80p, \quad \text{woraus folgt: } x = \frac{80p}{P \cdot t}.$$

In folgender Tabelle sind in abgerundeten Zahlen einige Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen über die spec. Wärme verschiedener Körper zusammengestellt.

1) *capacitas*, Geräumigkeit (Fassungsvermögen).

Wasser . . . . .	1,00	Kochsalz . . . . .	0,21	Äther . . . . .	0,52
Eis . . . . .	0,50	Erdboden . . . . .	0,22	Sauerstoff . . . . .	0,22
Blei, Gold, Platin, Qu. . . . .	0,03	Gips . . . . .	0,26	Atm. Luft . . . . .	0,24
Zinn und Silber . . . . .	0,06	Terpentinöl . . . . .	0,42	Stickstoff . . . . .	0,24
Zink und Kupfer . . . . .	0,10	Alkohol . . . . .	0,60	Wasserdampf . . . . .	0,48
Eisen und Nickel . . . . .	0,11	(Dichte 0,81)		Wasserstoff . . . . .	3,41
Quarz und Glas . . . . .	0,20	Schwefelkohlenstoff . . . . .	0,22		

Im allgemeinen hat ein Körper im flüssigen Zustande zu gleicher Temperaturerhöhung mehr Wärme nötig als im festen Zustande. Dies ist namentlich der Fall bei Eis und Wasser.

Da sich bei den Gasen weit mehr als bei den flüssigen und festen Körpern der Rauminhalt durch äusseren Druck ändert, so hat man bei der Bestimmung der spec. Wärme der Gase zwei Fälle zu unterscheiden: 1) Das Gas kann sich durch Erwärmung bei gleichbleibendem äusseren Drucke ausdehnen; 2) das Gas ist so eingeschlossen, dass es sich durch die Erwärmung nicht ausdehnen kann, sein Rauminhalt also derselbe bleibt. Im ersteren Falle ist zu gleicher Temperaturerhöhung mehr Wärme nötig, da dann die Wärme bei der Ausdehnung des Gases einen äusseren Widerstand zu überwinden hat. Auf jenen Fall beziehen sich auch die in obiger Tabelle für Gase angegebenen Zahlen.

Durch die hohe spezifische Wärme des Wassers üben die Meere einen mildernden Einfluss auf das Klima aus. Da nämlich das Wasser zu seiner Erwärmung sehr viel Wärme erfordert, so steigt die Temperatur des Meeres unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen sehr langsam und ebenso langsam erfolgt auch die Abkühlung. Der feste Boden hat eine geringe spezifische Wärme und ein grosses Ausstrahlungsvermögen. Die Temperaturveränderungen des Meeres müssen daher bedeutend geringer ausfallen, als diejenigen des Festlandes. Durch die Nähe des Meeres werden somit die Länder gegen starken Temperaturwechsel geschützt. Diese ausgleichende Wirkung, welche das Meer auf das Klima ausübt, macht sich namentlich auf den Inseln bemerklich (vergl. § 128).

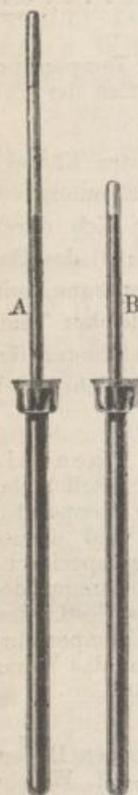
**Übungsstoff.** 1. Landwirte bezeichnen nassen Boden als kalten Boden. Suche Gründe für die geringere Erwärmungsfähigkeit desselben auf! — 2. Welche Flgk. lässt sich schneller erwärmen: W. oder Qu., u. w.? — 3. Wv. Wärmeeinheiten sind ausreichend, um eine Mischung von 1 kg W. und 1 kg Qu. um 10° zu erwärmen? — 4. Eine rotglühende eiserne Kugel von 1 kg Gew. wird in 10 kg W. von 10° abgekühlt. Um wv. erhöht sich die Temp. des W., wenn die Temp. der Rotglut zu 500° angenommen wird? — 5. Wv. kg Luft können durch die von 1 kg W. abgegebene Wärme, wenn sich dasselbe um 5° abkühlt, um 5° erwärmt werden? — 6. Wv. cbm Luft können durch die Wärme, welche aus 1 kg kondensiertem Wasserdampf frei wird, um 1° C wärmer werden? (Luft ist ungefähr 770 mal so leicht als W.) — 7. Um giebt man eine bis zu 100° C erhitzte kupferne Kugel von 1 kg ganz mit Eis, so wird 0,12 kg Eis dadurch geschmolzen. a. Wv. Wärmeeinheiten hat die Kugel abgegeben? b. Wie gross ist hiernach die spec. Wärme des Kupfers? — 8. Wv. kg Eisen, Zink und Blei von 100° würden zum Schmelzen jener Menge Eis erforderlich sein? — 9. Um wv. Grad können diese Metalle mit derselben Wärmemenge erwärmt werden, durch welche die Temp. eines gleichen Gew. W. um 10° C erwärmt wird?

### § 122. Spannung der Dämpfe. Dämpfe und Gase.

Die Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten besitzen eine Spannung (§ 33), vermöge welcher sie sich auszudehnen suchen und sich also wie Gase verhalten. Es bleibt nun festzustellen, ob die Spannung der Dämpfe in gleicher Weise von Temperatur und Druck abhängt, wie es bei Gasen nach dem Mariotte-Gay-Lussacschen Gesetz der Fall ist (vgl. § 85).

Zu diesem Zwecke läßt man die Dampfbildung im luftleeren Raume vor sich gehen, wozu sich am besten die Torricellische Leere eignet; in der beweglichen Quecksilbersäule hat man ein Mittel, die Spannkraft der eingeschlossenen Dämpfe zu messen.

Fig. 438.



**Versuch.** Läßt man in den luftleeren Raum einer Torricellischen Röhre einige Tropfen Äther hinaufsteigen, so wird das Qu. durch die entstehenden Ätherdämpfe bis zu einer bestimmten Tiefe hinabgedrückt (A, Fig. 438). Je nachdem nun aller Äther sich in Dampf verwandelt, oder ein Teil desselben als Flüssigkeit zurückbleibt, ergeben sich ganz verschiedene Erscheinungen.

1. Ist der Äther vollständig verdampft, so ändert sich die Spannung des Dampfes mit der Vergrößerung und Verkleinerung des Raumes im allgemeinen wie bei den Gasen. Zieht man die Röhre aus dem mit Qu. gefüllten Gefäße heraus, so steigt die Qu.-Säule A, es findet also eine Abnahme der Dampfspannung statt; taucht man die Röhre tiefer ein, so sinkt die Qu.-Säule, woraus man auf Zunahme der Dampfspannung schließen muß. Erwärmung der Röhre bewirkt ebenfalls eine Zunahme, Abkühlung eine Abnahme der Dampfspannung.

2. Ist ein Teil des Äthers als Flüssigkeit auf dem Qu zurückgeblieben, so behalten die beiden Qu.-Oberflächen beim Herausziehen der Röhre denselben Abstand von einander; auch beim tieferen Eintauchen der Röhre tritt eine Änderung des Qu.-Standes nicht ein (B, Fig. 438). Die Dampfspannung bleibt somit dieselbe. Erwärmung des Dampfes dagegen hat ein Sinken des Quecksilbers, also eine Zunahme der Dampfspannung. Abkühlung ein Steigen desselben, mithin eine Abnahme der Dampfspannung zur Folge. Zugleich zeigt sich, daß bei der Vergrößerung des Dampfraumes und bei der Erwärmung noch etwas Flüssigkeit verdampft, bei der Verkleinerung und bei der Abkühlung dagegen ein Teil des Dampfes sich wieder zu Flüssigkeit verdichtet. Hieraus ergibt sich zunächst, daß ein abgeschlossener Raum bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge von Dampf aufnehmen kann.

Ein Raum, der die seiner Temperatur entsprechende Dampfmenge aufgenommen hat, ist mit Dampf gesättigt; der Dampf heißt in diesem Falle gesättigter Dampf.

Wird gesättigter Dampf auf einen kleineren Raum zusammengedrückt, so muß sich (nach der vorübergehenden Erklärung) ein Teil desselben zu Flüssigkeit verdichten. Dadurch unterscheiden sich die gesättigten Dämpfe von den Gasen, welche bei Verkleinerung des Volumens eine erhöhte Spannkraft erhalten. Man kann demnach auch sagen, daß gesättigte Dämpfe solche sind, welche für die betreffende Temperatur das Maximum ihrer Spannkraft und Dichtigkeit besitzen.

Das Anwachsen der Spannkraft gesättigten Wasserdampfes mit der Temperaturzunahme ist aus Tabelle I (folg. Seite) ersichtlich.

Wie sich durch Druck die Spannkraft gesättigter Dämpfe nicht vergrößern läßt, so läßt sie sich auch durch Ausdehnung nicht verkleinern, da in diesem Falle noch ein Teil der Flüssigkeit verdampft, bis der Raum wieder mit Dampf gesättigt ist. Enthält jedoch der Dampf-raum keine Flüssigkeit mehr, so muß jede Vergrößerung desselben den Zustand der Sättigung aufheben, weil die zu derselben notwendige Dampfmenge jetzt nicht mehr vorhanden ist. Der Dampf heißt dann ungesättigt. Gesättigter Dampf läßt sich auch dadurch in den ungesättigten Zustand überführen, daß man ihn getrennt von seiner Flüssigkeit erwärmt; weil die Temperatur des erwärmten Dampfes höher ist als die des gesättigten Dampfes von gleicher Spannkraft, so wird ersterer auch als überhitzter Dampf bezeichnet.

*Ungesättigter (überhitzter) Dampf läßt sich dementsprechend sowohl durch Verkleinerung des Raumes, den er einnimmt, wie auch durch Abkühlung in gesättigten Dampf verwandeln.*

Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten zeigen im wesentlichen dieselben Erscheinungen; die Größe ihrer Spannkraft bei derselben Temperatur ist von der Höhe des Siedepunktes ihrer Flüssigkeit abhängig (vergl. II. Tabelle). In einem mit Luft oder einem anderen Gase erfüllten Raume geht die Verdampfung langsamer von statten; die Dämpfe zeigen aber dieselben Eigenschaften wie im luftleeren Raume. Es gelten demnach die Gesetze:

Überhitzte Dämpfe verhalten sich hinsichtlich ihrer Spannung wie Gase, sie folgen also (im allgemeinen) dem Mariotteschen Gesetz (§ 85).

Die Spannung gesättigten Dampfes hängt nur von seiner Temperatur ab. Bei derselben Temperatur haben Dämpfe von verschiedenen Flüssigkeiten eine um so größere Spannung, je niedriger der Siedepunkt ihrer Flüssigkeit ist.

### I. Temperatur, Spannung und Raum-inhalt gesättigter Wasserdämpfe.

(Der Rauminhalt bezieht sich auf den Dampf von 1 Liter Wasser.)

Temperatur	Spannung	Raum-inhalt	Temperatur	Spannung	Raum-inhalt
Grade nach C	Atmosphären	Kubik-decimtr.	Grade nach C	Atmosphären	Kubik-decimtr.
50	$\frac{1}{8}$	11800	144	4	477
65	$\frac{1}{4}$	6198	152	5	388
82	$\frac{1}{2}$	3229	159	6	326
100	1	1700	165	7	282
121	2	900	171	8	248
134	3	620	180	10	200

### II. Spannungstabelle für Wasser, Alkohol und Äther.

Temp. °C	Spannung in mm Quecksilber.		
	Wasser	Alkohol	Äther
- 10	2,1	6,5	113,2
0	4,6	12,7	182,3
+ 10	9,2	24,1	286,5
20	17,4	44,0	434,8
50	92,0	220,3	1268,0
100	760,0	1685,0	4920,4

**Dämpfe und Gase.** Die Gase, welche man früher den Dämpfen gegenüberstellte, sind als überhitzte und von ihrem Sättigungspunkt sehr weit entfernte Dämpfe anzusehen, denn sie können durch Abkühlung und Zusammenpressen in gesättigte Dämpfe und schließlich in Flüssigkeiten übergeführt werden (§ 52). Bei einigen Gasen gelingt die Kondensation schon bei einer Temperatur von 0° und einem Druck von einigen Atmosphären (schweflige Säure bei 3, Chlor bei 4 Atm.); bei anderen ist bedeutende Abkühlung und starker Druck erforderlich. Durch letz-

teren allein ist die Verflüssigung nicht zu erreichen (die permanenten Gase werden bei 3000 Atm. Druck noch nicht flüssig), da es für jeden Dampf eine sogen. „kritische Temperatur“ giebt, oberhalb welcher er bei noch so großem Druck dampfförmig bleibt. Die Kondensation des Dampfes ist mithin nur dann möglich, wenn seine Temperatur unter der kritischen liegt; erst nachdem man die permanenten Gase unter ihre kritische Temperatur abkühlte (Sauerstoff z. B. bis unter  $-118^{\circ}$ ), gelang auch die Verflüssigung derselben. Man kann demnach jeden luftförmigen Körper bei einer Temperatur unterhalb der kritischen als Dampf und oberhalb derselben als Gas bezeichnen.

**Übungsstoff.** 1. Welchen Einfluss übt eine Temp.-Veränderung a. auf Gase, b. auf gesättigte Dämpfe aus, wenn der Raum derselbe bleibt, und welchen Einfluss übt eine Verkleinerung des Raumes aus, wenn die Temp. dieselbe bleibt? — 2. Sind die Dämpfe in einem Dampfkessel gesättigt oder ungesättigt? — 3. Wie werden sich die von einem luftgefüllten und einem ebenso großen luftverdünnten Raume a. in sehr kurzer Zeit, b. in längerer Zeit aufgenommenen Dampfmenngen zu einander verhalten? — 4. Inwiefern ist es für die Verwendung des Qu. in Barometern sehr günstig, daß Qu.-Dämpfe bei gewöhnlicher Temp. eine äußerst geringe Spannung haben? (Bisweilen sieht man in der Torricellischen Leere Qu.-Tropfen am Glase hängen; Einfluss auf den Barometerstand?) — 5. Der kurze Schenkel der Manometerröhre, Fig. 289, sei etwas erweitert und in seinem oberen Teile ganz mit W. gefüllt. Wie liefse sich dann die Spannung der Dämpfe für Temperaturen über  $100^{\circ}$  bestimmen? (Dampfbarometer.) — 6. Wievielmals so leicht ist gesättigter Wasserdampf von  $100^{\circ}$  als atm. Luft von  $0^{\circ}$  bei einem Drucke von 760 mm? (§ 88.) — 7. 1 cbm Luft von  $0^{\circ}$  werde bei unverändertem äußeren Drucke (760 mm) auf  $100^{\circ}$  und auf  $121^{\circ}$  erwärmt. Welchen Raum nimmt die Luft bei diesen Temperaturen ein, und wie verhalten sich die Spannungen zu der Spannung gesättigter Wasserdämpfe von  $100^{\circ}$  und  $121^{\circ}$ ? — 8. Vergl. die Spannungen gesättigter Wasserdämpfe und Luft von  $180^{\circ}$ . Was folgt hieraus für die Verwendbarkeit von Luft und Wasserdämpfen zu Kraftmaschinen? — 9. Wv. W. muß verdampft werden, damit 1 cbm gesättigter Wasserdampf von 2, 6 und 10 Atm. Spannung entsteht?

## § 123. Die Dampfmaschine.

1. **Geschichtliche Entwicklung.** Die ersten Versuche, die Spannkraft des Wasserdampfes als bewegende Kraft zu verwenden, wurden schon im Altertum gemacht: *Heron von Alexandrien* (wahrscheinlich im 2. Jahrh. v. Chr.) erfand einen Apparat, bei dem durch den Rückstoß ausströmenden Dampfes eine Hohlkugel von Metall in Umdrehung versetzt wurde (vergl. das Segnersche Wasserrad, Fig. 53). Es vergingen jedoch noch mehr als 1½ Tausend Jahre, ehe sich die Erkenntnis Bahn brach, daß man die im erhitzten Wasserdampf verborgene Kraft zum Ersatz menschlicher und tierischer Arbeitskraft verwenden könne und ehe man Vorrichtungen zur zweckmäßigen Ausnutzung der Dampfkraft konstruieren lernte. Von den verschiedenen Erfindungen, welche zu diesem Zwecke gemacht wurden, hat nur diejenige eine hervorragende Bedeutung erlangt, bei welcher durch die abwechselnde Wirkung von Wasserdampf und atmosphärischer Luft und später durch Wasserdämpfe allein eine *Kolbenbewegung* zustande gebracht wurde.

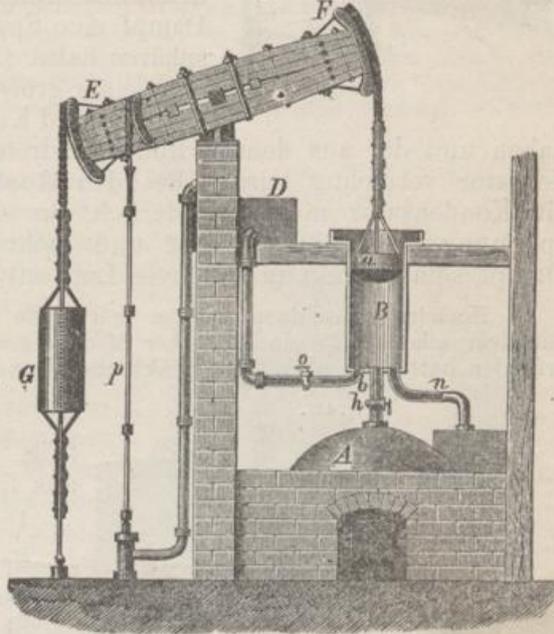
Gegen Ende des 17. Jahrhunderts (1690) gelang es *Papin* in Marburg, in einem oben offenen Cylinder einen Kolben dadurch auf- und abzubewegen, daß er abwechselnd Wasser unter dem Kolben erhitzte und den Cylinder darauf von außen wieder abkühlte (vergl. Fig. 111). Der Kolben wurde darauf zunächst durch die Dämpfe gehoben und dann durch die atm. Luft wieder niedergedrückt.

Von der praktischen Ausführung seiner Maschine wurde Papin durch ungünstige äußere Verhältnisse abgehalten.

Die ersten Versuche, die Dampfmaschine in das praktische Leben einzuführen, waren schon einige Zeit vorher in England gemacht worden; aber erst durch *New-*

comen (spr. Njukö'men) erhielt dieselbe die für einen derartigen Zweck geeignete Form (1705). Die Maschine von Newcomen war eine sogen. atmosphärische Maschine, durch welche das Papinsche Verfahren im großen angewandt wurde. Die Erzeugung der Dämpfe geschah in einem besonderen Kessel (A, Fig. 439), die Abkühlung derselben im Cylinder B durch Einspritzen von kaltem Wasser, nachdem der Kolben durch die Dämpfe und ein Gegengewicht (G) gehoben war. Das rechtzeitige Einströmen des Dampfes und des Kühlwassers wurde durch das abwechselnde Öffnen und Schließen zweier Hähne (h und o) vermittelt. Eine Wippe (EF) diente dazu, die Kolbenbewegung auf die Last zu übertragen, und setzte gleichzeitig eine Pumpe in Bewegung, durch welche das zum Abkühlen erforderliche Wasser in einen hoch gestellten Behälter (D) gehoben wurde, von wo es durch eine Röhre in den Cylinder gelangte. Durch die Röhre n wurde das Wasser aus dem Cylinder entfernt. Auf dem Kolben befand sich eine Schicht Wasser, um gegen die Cylinderwandung einen dampfdichten Verschluss herzustellen. — Die Newcomenschen Maschinen wurden namentlich in England zur Hebung des Wassers in den dortigen Steinkohlengruben angewandt. Eine wesentliche Verbesserung derselben war die Selbststeuerung, welche darin bestand, daß das Öffnen und Schließen der Hähne von der Maschine selbst besorgt wurde. (Die Selbststeuerung wurde von Potter 1713 erfunden.)

Fig. 439.



Durch die Umgestaltung, welche die atmosphärische Maschine späterhin durch Watt erfuhr, ist aus derselben die Dampfmaschine der Gegenwart entstanden. Die wichtigsten der von Watt in den Jahren 1765—1785 erfundenen Verbesserungen sind folgende:

1. Um den mit der Abkühlung des Cylinders verbundenen Wärmeverlust zu vermeiden, leitete Watt die Dämpfe zur Abkühlung in einen mit kaltem Wasser gefüllten Behälter, Kondensator, in welchem das erwärmte Wasser fortwährend durch kaltes Wasser ersetzt wurde (1765).

2. Watt stellte Cylinder her, die an beiden Enden geschlossen waren, in denen also nur der Dampfdruck auf den Kolben einwirken konnte. Dadurch wurde der Luftdruck ausgeschlossen und die atmosphärische Maschine somit in eine einfach wirkende Dampfmaschine verwandelt (1769).

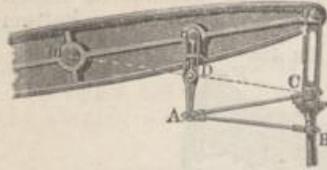
3. Um die Nutzleistung der Maschine zu erhöhen, liefs Watt die Dämpfe auf beide Seiten des Kolbens abwechselnd mit gleicher Kraft einwirken und erfand so die doppeltwirkende Maschine (1782).

4. Ferner verwandelte er die geradlinige Bewegung des Kolbens dadurch in eine drehende, daß er das vom Cylinder abgewandte Ende der Wippe durch eine Kurbel zur Umdrehung einer mit Schwungrad versehenen Welle benutzte, mit welcher die in Thätigkeit zu setzenden Arbeitsmaschinen in geeigneter Weise verbunden wurden. So entstand eine Maschine, welche eine vielseitigere Verwendung gestattete.

5. Um auch eine bessere Geradföhrung der mit der Wippe verbundenen Kolbenstange zu bewirken, schaltete Watt zwischen beiden eine sinnreiche Stangenverbindung ein von der Form eines Parallelogrammes, dessen Ecken Gelenke bildeten (Fig. 440, folg. Seite): *Wattsches Parallelogramm* (1784).

Durch diese wichtigen Erfindungen, zu denen noch der Centrifugalregulator und später (etwa 1790) die Schiebersteuerung hinzukam, gab Watt der Dampfmaschine eine Gestalt, die sie im wesentlichen jetzt noch hat.

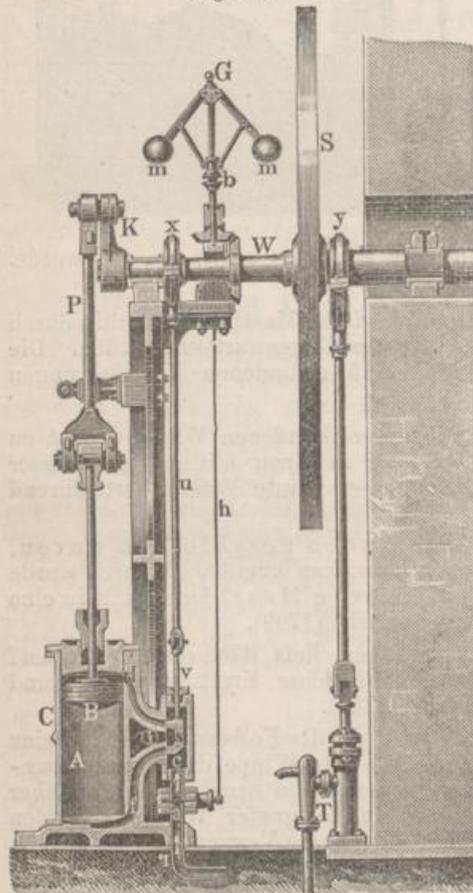
Fig. 440.



Die Watt'schen Maschinen waren **Niederdruckmaschinen**, d. h. solche, bei denen der Dampf eine Spannung von höchstens  $1\frac{1}{2}$  Atmosphären hatte. Niederdruckmaschinen sind nur dann einer größeren Arbeitsleistung fähig, wenn Cylinder und Kolben einen großen Durchmesser haben und der aus dem Cylinder austretende Dampf durch einen Kondensator verdichtet wird. Bei den **Hochdruckmaschinen** dagegen ist ein Kondensator nicht erforderlich, da sie mit einer höheren Dampfspannung (neuerdings bis 12 und mehr Atmosph.) arbeiten und der Dampf somit direkt in die freie Luft entweichen kann.

Hochdruckmaschinen werden seit Ende des vorigen Jahrhunderts gebaut, nachdem schon 1725 ein deutscher Mechaniker *Leupold* eine Hochdruckmaschine erfunden hatte, die aber keine praktische Verwendung fand.

Fig. 441.



2. Eine **Hochdruckmaschine** (Fig. 441) besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen:

- 1) aus dem *Dampfkessel*;
- 2) aus dem *Cylinder* (C) mit *Kolben* (B);
- 3) aus der *Kurbel* (K), welche durch die *Pleuelstange* (P) mit der *Kolbenstange* gelenkartig verbunden ist;
- 4) aus der *Steuerung*, welche das abwechselnde Ein- und Austreten des Dampfes zur Bewegung des Kolbens vermittelt. Hauptteile derselben: der *Schieber* (s) und die auf der *Kurbelwelle* befestigte *excentrische Scheibe* (x);
- 5) aus dem auf der *Kurbelwelle* befestigten *Schwungrade* (S), das den Zweck hat, einen gleichförmigen Gang der Maschine zu bewirken;
- 6) aus dem *Regulator* (G), welcher das Schwungrad in seiner Wirkung dadurch unterstützt, dafs er bei seiner Abnahme der Bewegung etwas mehr, bei einer Zunahme der Bewegung dagegen weniger Dampf in den Cylinder eintreten läfst.

Der *Dampfkessel* besteht aus zusammengenieteten Platten von Schmiedeeisen. Die Heizfläche wird möglichst groß hergestellt, damit die Dampfbildung

schnell erfolgt; bei Lokomotiven z. B. läßt man die Feuerluft durch sogen. *Rauchrohre* (eiserne Röhren) streichen, welche den Wasserraum des Kessels seiner ganzen Länge nach durchziehen.

Zur Speisung des Kessels dient gewöhnlich eine *Druckpumpe*, welche durch die Maschine selbst in Bewegung gesetzt wird (T, Fig. 441). Der *Wasserstandsanzeiger* des Kessels ist entweder ein einfaches Wasserstandsglas (§ 15), oder ein Schwimmer, welcher durch eine luftdicht in den Kessel hinabreichende Stange auf einen über demselben befestigten Hebel einwirkt. — Zum Messen des Dampfdruckes dienen *Manometer* (Seite 207). Um einem übermäßigen Dampfdrucke vorzubeugen, ist jeder Dampfkessel mit einem *Sicherheitsventile* versehen (Kesselprobe: Seite 191).

Der *Cylinder* und die *Steuerung* (Fig. 442 und 443). Der im Kessel erzeugte Dampf wird durch ein Rohr zunächst in den *Schieberkasten* geleitet, dessen Innenraum (c) die *Dampfkammer* heißt. Der vom Schieberkasten überdeckte Teil der Cylinderwand enthält zwei Kanäle (d und f), durch welche je nach der Stellung des *Schiebers* der Dampf abwechselnd in den Cylinder einströmen und aus demselben wieder ausströmen kann. Hat der Schieber die in Fig. 442 angegebene Stellung, so kann durch den unteren Kanal frischer Dampf in den Cylinder eintreten, durch den oberen Kanal (d) dagegen der gebrauchte Dampf aus dem Cylinder wieder austreten und durch ein in den Hohlraum des Schiebers mündendes Rohr (i) nach außen gelangen. (Erkläre Fig. 443).

Die *Schiebersteuerung* ist die gebräuchlichste. Bei den meisten Maschinen läßt man den Schieber bei seiner Bewegung dem Kolben etwas voraneilen, sodass beide Dampfkanäle schon ein wenig geöffnet sind, wenn der Kolben seine Hin- oder Rückbewegung beginnt. Der Dampf kann dann beim Steigen des Kolbens sofort seine volle Wirkung auf denselben ausüben und zugleich wird das Anschlagen des Kolbens an den Cylinder verhütet, da der schon eingeströmte Gegendampf wie ein elastisches Kissen wirkt. Wird der Dampfzufluß schon abgesperrt, wenn der Kolben erst einen Teil seines Weges zurückgelegt hat, so kommt noch die *Expansionsfähigkeit* des abgesperrten Dampfes zur Wirkung; Maschinen mit dieser Einrichtung heißen deshalb *Expansionsmaschinen*. Eine neuerdings angewendete Verbesserung derselben besteht darin, daß man den Dampf aus dem Hochdruckcylinder nicht ins Freie entweichen, sondern in einem größeren Niederdruckcylinder nochmals durch *Expansion* wirken läßt (Compound- oder Verbundsystem).

Die *Kurbel* und die *excentrische Scheibe*. Beide sind an der Schwungradwelle befestigt. Die Kurbel dient dazu, die geradlinige Bewegung des Kolbens in eine drehende zu verwandeln; die excentrische Scheibe dagegen (Fig. 444) macht mittelst des sie umschließenden Ringes (x und x<sub>1</sub>) aus der drehenden eine hin- und hergehende Bewegung und überträgt diese durch die Stange (u) auf den Schieber (s).

Fig. 442.

Fig. 443.

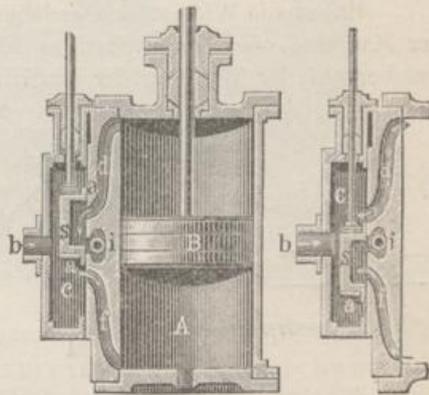
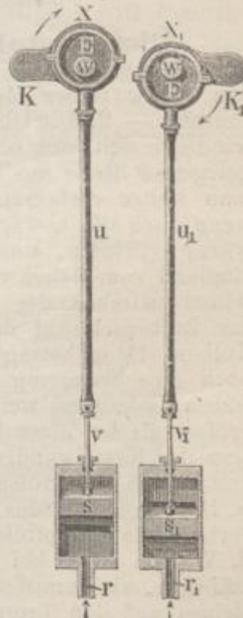


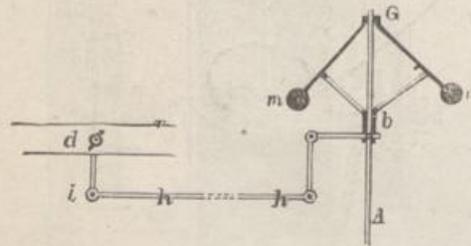
Fig. 444.



Das **Schwungrad**. Bei demselben kommt die Trägheit der Masse (§ 78) praktisch zur Verwendung, indem es, einmal in Umlauf gebracht, die Maschinenteile ohne Dampfkraft noch eine Zeitlang in ihrer Bewegung zu erhalten vermag. Es dient daher 1. zur Überwindung der toten Punkte, d. h. derjenigen Kurbelstellungen, bei denen Kurbel und Pleuelstange eine einzige gerade Linie bilden; 2. zur Aufhebung der Ungleichheiten der Bewegung, die sich bei jedem Kolbenspiel aus den verschiedenen Richtungen ergeben, welche die Pleuelstange gegen die Kurbel einnimmt (§ 65, Übungsstoff 11); 3. zur Beseitigung der Unregelmäßigkeiten, welche durch die Zu- und Abnahme der Widerstände hervorgerufen werden. Letzteres kann durch das Schwungrad allerdings nur insofern bewirkt werden, als es eine plötzliche Vergrößerung oder Verkleinerung der Geschwindigkeit verhindert.

Haben die Widerstände andauernd das Übergewicht über die bewegende Kraft der Maschine oder umgekehrt, so tritt der **Centrifugalregulator** in Thätigkeit, welcher auf der Wirkung der Centrifugalkraft (§ 76) beruht. Die Achse desselben

Fig. 445.



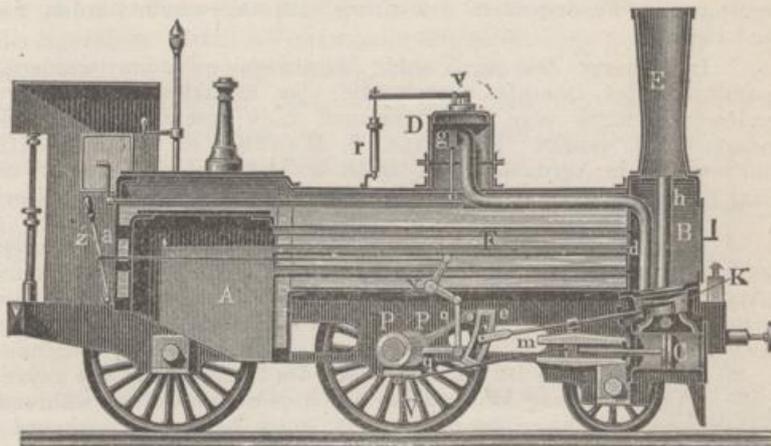
(AG, Fig. 445) ist mit der Welle des Schwungrades so in Verbindung gebracht, daß sie an allen Bewegungen desselben teilnimmt. Geht die Maschine zu schnell, so ziehen die Arme (m) eine Hülse (b) an der Achse hinauf, wodurch ein Winkelhebel in Bewegung gesetzt wird, welcher mittelst einer Verbindungsstange (h) die im Dampfleitungsrohre befindliche *Drosselklappe* (d) so dreht, daß das Rohr weniger Dampf hindurchläßt, und umgekehrt. Der Centrifugalregulator reguliert also den Dampfzutritt.

**Übungsstoff.** 1. Zum Heben von W. soll aus einer Kochflasche, einer Glasröhre und einem Korke ein Apparat hergestellt werden, mit welchem W. durch den Druck seiner eigenen Dämpfe gehoben werden kann. Wie ist dies auszuführen? — 2. Die Glasröhre sei durch einen Hahn über dem Gefäße verschließbar; wie liefse sich dann mittelst einer zweiten Glasröhre die leere Flasche von einer tiefer gelegenen Stelle aus durch den Luftdruck wieder mit W. füllen? — 3. Wie könnte man weiter verfahren, um das in der Flasche enthaltene W. abermals zu heben, wenn auch die abwärts führende Röhre nahe am Gefäße mit einem Hahn versehen wäre? (Princip, welches (vor der Erfindung der atm. Maschine) von *Savery* in England zum Heben von Grubenwasser angewandt wurde.) — 4. Wesentlicher Unterschied zwischen der atm. Maschine und der Dampfmaschine? — 5. Wie groß ist der Luftdruck auf den Kolben einer atm. Maschine, wenn der Durchmesser des Kolbens 1,2 m beträgt und wie groß der Überdruck, wenn die abgekühlten Dämpfe noch eine Spannung von 0,1 Atm. haben? — 6. Die Cylinder der atm. Maschinen waren bedeutend weiter (bis über 1,5 m), der Durchmesser des Kolbens also viel größer als bei einer Dampfmaschine. Zweck? — 7. Welchen Druck erleidet jedes qcm der Kesselwand, wenn das W. a. 144°, b. 180° C heiß ist und welchen Vorteil gewährt die Vergrößerung der Heizfläche? — 8. Durch das Öffnen des Dampfraumes (z. B. beim Heben des Sicherheitsventils) tritt eine um so lebhaftere und mit Stößen verbundene Dampfbildung ein, je höher die Spannung der Dämpfe ist. Erkl.! — 9. Warum ist es bei zu niedrigem Wasserstande mehr zu empfehlen, das Feuer zu mätsigen, als Dampf abströmen zu lassen? (Siedeverzug.) — 10. Einfluß des Kesselsteines auf den Temperatenausgleich zwischen Kesselwand und W. und Nachteile, welche daraus hervorgehen? — 11. Der Dampfzylinder wird mit einem Blechmantel umgeben, der Zwischenraum mit Asche, Kieselguhr u. dgl. ausgefüllt; oder man läßt

den Kesseldampf, ehe er in den Cylinder eintritt, hindurchströmen; w.? — 12. Damit der Schieber dem Excenter voraneilen kann, muß letzterer mit der Kurbel einen Winkel bilden, welcher etwas größer ist als  $90^\circ$ . Erkl.!

**§ 124. Die Dampfmaschine. (Fortsetzung.)** Eine besonders wichtige Hochdruckmaschine ist die Lokomotive (Fig. 446). Dieselbe hat 2 Cylindern mit je einem Schieberkasten und 2 oder mehr großen Tribräder, auf deren Welle sich die Arbeit des Dampfes zunächst überträgt. Auf dem Dampfessel ist, um zu verhindern, daß durch die Erschütterung während der Fahrt Wasser in das Dampfrohr eindringe, ein *Dampfdom* (D) angebracht, d. h. ein erhöhter Dampfraum, in welchen das Dampfrohr einmündet. Die hoch über dem Wasserspiegel gelegene Mündung (g) des Dampfrohres kann durch den Maschinisten von außen verschlossen werden. Ein Sicherheitsventil (v) dient dazu, bei zu hoher Dampfspannung dem Dampfe einen Ausweg zu verschaffen. Ein eigentliches Schwungrad fehlt den Lokomotiven. Dasselbe wird durch die Tribräder ersetzt, und außerdem trägt das Beharrungsvermögen der ganzen sich fortbewegenden Masse wesentlich dazu bei, die Bewegung gleichförmig zu machen. In der Überwindung der beiden toten Punkte unterstützen sich die beiden rechtwinklig zu einander gerichteten Tribradkurbeln gegenseitig.

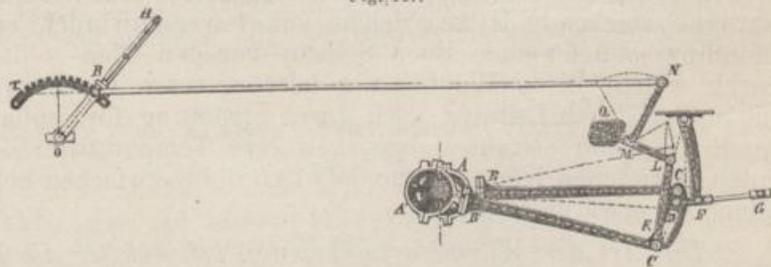
Fig. 446.



Zur Umsteuerung der Maschine befinden sich auf der Achse der beiden großen Tribräder zwei excentrische Scheiben (A und A<sub>1</sub>, Fig. 447) in entgegengesetzten Stellungen, deren Stangen an ihren äußeren Enden mit einem Steuer-

rahmen (sogen. *Coulisse*) gelenkartig verbunden sind (CC<sub>1</sub>). In letzterem gleitet ein an der Lenkstange befestigter Zapfen, sodafs die eine oder andere der beiden excentrischen Scheiben je nach Erfordernis auf die Steuerung einwirken kann. Dies

Fig. 447.



selbe hat 2 Cylindern mit je einem Schieberkasten und 2 oder mehr großen Tribräder, auf deren Welle sich die Arbeit des Dampfes zunächst überträgt. Auf dem Dampfessel ist, um zu verhindern, daß durch die Erschütterung während der Fahrt Wasser in das Dampfrohr eindringe, ein *Dampfdom* (D) angebracht, d. h. ein erhöhter Dampfraum, in welchen das Dampfrohr einmündet. Die hoch über dem Wasserspiegel gelegene Mündung (g) des Dampfrohres kann durch den Maschinisten von außen verschlossen werden. Ein Sicherheitsventil (v) dient dazu, bei zu hoher Dampfspannung dem Dampfe einen Ausweg zu verschaffen. Ein eigentliches Schwungrad fehlt den Lokomotiven. Dasselbe wird durch die Tribräder ersetzt, und außerdem trägt das Beharrungsvermögen der ganzen sich fortbewegenden Masse wesentlich dazu bei, die Bewegung gleichförmig zu machen. In der Überwindung der beiden toten Punkte unterstützen sich die beiden rechtwinklig zu einander gerichteten Tribradkurbeln gegenseitig.

wird vom Maschinisten durch ein *Gestänge* bewerkstelligt, dessen eines Ende mit dem Steuerrahmen so verbunden ist, daß derselbe sich mit den beiden Stangen der excentrischen Scheiben heben und senken läßt. Diese Art der Umsteuerung wird als *Coulissensteuerung* bezeichnet.

Die Lokomotive wurde 1826 von *Stephenson* in England erfunden. Das erste Dampfschiff baute *Fulton* in Amerika (1807).

Kleine Hochdruckmaschinen, welche zum Betriebe von Dreschmaschinen, Centrifugalpumpen, Feuerspritzen u. s. w. vielfach angewandt werden, nennt man *Lokomobilen*.

In neuerer Zeit sind auch Maschinen erfunden worden, bei denen die Spannkraft des Dampfes durch die der erhitzten Luft oder eines explodierenden Gemenges von Leuchtgas und Luft ersetzt wird. Die Maschinen der ersteren Art (sogen. kalorische Maschinen oder Heißluftmotoren) sind weniger in Aufnahme gekommen als die letzteren, welche unter dem Namen *Gaskraftmaschinen* oder *Gasmotoren* im Kleingewerbe vielfach benutzt werden.

**Übungsstoff.** 1. Warum sind bei Lokomotiven Sicherheitsventile mit Federbelastung denen mit Gewichtsbelastung (siehe Fig. 432) vorzuziehen? — 2. Wie läßt sich durch den Steuerhebel HO, Fig. 447, die Umsteuerung bewirken? Erkl.! — 3. Bei einer Hochdruckmaschine ohne Kondensation habe der Dampf während der ganzen Kolbenbewegung eine Spannung von 6 Atm., der Durchmesser des Kolbens sei 30 cm. Wie groß ist der Überdruck des Dampfes auf die ganze Kolbenfläche? — 4. Wv. Arbeit vermag eine solche Maschine zu leisten a. während einer einfachen Kolbenbewegung, wenn der Kolbenhub 70 cm beträgt, b. während 1 Sek., wenn der Kolben sich in 1 Minute 40mal hin- und herbewegt? (in Pferdekraften?) — 5. Wv. Nutzarbeit verrichtet die Maschine, wenn 0,6 der berechneten Arbeit nutzbar gemacht werden kann? — 6. Weshalb kann man behaupten, daß die Verwandlung von Wärme in Arbeit durch die Dampfmaschine nur in sehr unvollkommener Weise stattfindet (bei den besten Dampfmaschinen wird etwa  $\frac{1}{4}$  der an den Kessel abgegebenen Wärme in Arbeit umgesetzt) und welche Dampfmaschine würde die vollkommenste sein? (Vergl. auch § 146.)

## B. Fortpflanzung der Wärme.

(Siehe §§ 34 und 35.)

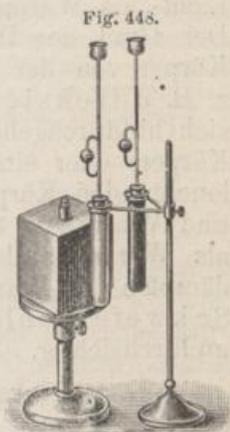
**§ 125. Wärmestrahlung.** Gewisse Erscheinungen lassen darauf schließen, daß es außer der Wärmeleitung und der Verbreitung der Wärme durch Strömung noch eine andere Art der Wärme-*fortpflanzung* geben muß. Wenn man z. B. in die Glut eines Ofens sieht, so empfindet man, selbst wenn der Luftzug stark nach innen gerichtet ist, eine stechende Hitze, welche sofort verschwindet, sobald man die Ofenthür schließt oder einen Schirm vor den Ofen stellt. Die Wärme, durch welche diese Empfindung hervorgerufen wird, kann vom Feuer aus weder durch Leitung, noch durch Strömung fortgepflanzt werden. — Auch die Sonnenstrahlen bewirken eine Temperaturerhöhung der von ihnen getroffenen Körper, ohne daß sich die dazwischen befindlichen Luftschichten erwärmen.

*Die Art der Wärme-*fortpflanzung*, bei welcher die Temperatur der zwischen der Wärmequelle und dem erwärmten Körper befindlichen Körper nicht steigt, heißt Wärmestrahlung.*

Der Körper, auf welchen Wärme durch Strahlung übergeht, absorbiert oder verschluckt die strahlende Wärme.

Die tägliche Erfahrung lehrt, daß die strahlende Ofenwärme durch Blechschirme, die Zimmerwärme durch die Fensterscheiben zurückgehalten werden kann, während sie durch die Luft hindurchgeht, ferner daß die geschwärzten Eisenplatten geheizter Öfen viel mehr Wärme ausstrahlen als glänzende Kacheln, daß wir in dunklen Kleidern die strahlende Wärme der Sonne mehr empfinden als in hellen Kleidern u. s. w.

\* **Versuch.** Eine dunkle Wärmequelle, etwa die berufste Seite eines mit kochendem Wasser gefüllten, verschlossenen Blechgefäßes wird 2 Thermoskopen (Fig. 448) gegenüber gestellt; es ist keine merkliche Temp.-Erhöhung wahrzunehmen, wenn man eine durchsichtige Glasscheibe einschaltet. — Entfernt man aber die Scheibe, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre des geschwärzten Thermoskopes bedeutend schneller als in dem anderen. Das Steigen der Flüssigkeit in beiden Thermoskopen hört fast ganz auf, wenn man ihnen die blanke Seite des Gefäßes zuwendet.



Der Versuch zeigt, daß Glas Wärmestrahlen nicht hindurchgehen läßt, und daß sowohl die Wärmestrahlung, als auch die Absorption strahlender Wärme von der Oberflächenbeschaffenheit der Körper abhängt. (Inwiefern?) — Untersuchungen, welche sich mittelst großer Hohlspiegel und geeigneter Linsen unter Benutzung äußerst empfindlicher Thermoskope (Thermomultiplikator, § 144) ausführen lassen, ergeben:

Wärmestrahlen verbreiten sich nach denselben Gesetzen wie Lichtstrahlen\*); dieselben sind aber zum Teil nicht leuchtend und an sich nicht warm.

Ein warmer Körper sendet wie ein leuchtender Körper nach allen Seiten geradlinig Strahlen aus, welche ebenso wie Lichtstrahlen zurückgeworfen, gebrochen oder absorbiert werden können.

Das Vermögen der Körper, Wärme auszustrahlen, hängt bei gleicher Temperatur namentlich von der Beschaffenheit der Oberfläche ab. — Glatte metallische Flächen strahlen am wenigsten Wärme aus, mit Ruß bedeckte Flächen am meisten, dunkle und raube im allgemeinen mehr als helle und glatte.

Das Vermögen der Körper, strahlende Wärme zu absorbieren, ist um so größer, je größer ihr Austrahlungsvermögen ist.

Das Strahlungs- und Absorptionsvermögen von Ruß ist ungefähr 10mal so groß als das von polierten Metallen. Werden kalte Metallflächen mit Lack, Firnis oder dergl. überstrichen, so nimmt ihr Vermögen, Wärme auszustrahlen und zu absorbieren, stark zu. — Daß Wasser bei starker Strahlung weit langsamer erkaltet als der feste Boden, hat seinen Grund wesentlich in der hohen spezifischen

\*) Vergl. § 146.

Wärme des Wassers. Zur Erwärmung wie zur Abkühlung des Wassers ist daher unter sonst gleichen Bedingungen mehr Zeit erforderlich.

Genauere Untersuchungen über die Durchlässigkeit der Körper für Wärmestrahlen haben zu dem Ergebnis geführt, daß manche durchsichtige Körper für dunkle Wärmestrahlen mehr oder weniger undurchlässig sind und umgekehrt manche undurchsichtige Körper Wärmestrahlen durchlassen. Es giebt aber auch Körper, welche sowohl Licht- als Wärmestrahlen durchlassen oder für beide undurchlässig sind. Der Grad der Durchlässigkeit kann ferner bei einem und demselben Körper von der Beschaffenheit der Wärmequelle abhängig sein. So läßt z. B. durchsichtiges Glas die Sonnenwärme ziemlich leicht durch sich hindurchgehen, viel weniger gut aber die Wärme eines glühenden Körpers oder einer Flamme und noch weniger die Wärme eines nicht leuchtenden Körpers. Ähnlich verhält sich z. B. Gips, Alaun, Eis und Wasser. Steinsalz und trockene Luft lassen sowohl Licht- als Wärmestrahlen durch. Luft wird durch Aufnahme von Wasserdämpfen für Wärmestrahlen undurchlässiger. Eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff läßt die Wärmestrahlen hindurch, ist aber undurchsichtig. Metalle lassen weder Licht noch Wärmestrahlen durch.

*Körper, welche die Wärmestrahlen hindurchlassen, nennt man diatherman oder durchwärmig; diejenigen, welche die Wärmestrahlen absorbieren, werden atherman oder undurchwärmig genannt.*

Eine eigenthümliche mechanische Wirkung der Wärmestrahlen zeigt die sogen. Lichtmühle (Radiometer), ein kleiner luftleerer Glasballon, in welchem 4 auf Kreuzarmen befestigte Aluminiumblättchen, die auf einer Seite mit Ruß geschwärzt sind, bei genügender Bestrahlung sich um eine senkrechte Achse drehen. Die Drehung erfolgt umgekehrt, wenn die Blättchen Wärme ausstrahlen.

Aus der Wärmestrahlung erklärt sich die starke nächtliche Abkühlung, welche der Bildung des *Taus* und *Reifes* vorhergeht (§ 36). Die Erde strahlt Tag und Nacht Wärme gegen den Himmelsraum aus. Da sie nun durch die Sonnenstrahlen nur am Tage Wärme empfängt, so muß während der Nacht eine Abkühlung ihrer Oberfläche stattfinden. Kurz vor Sonnenaufgang muß daher die Temperatur am niedrigsten sein. Je klarer und trockener die Luft ist, desto besser läßt sie die Wärmestrahlen durch sich hindurch. Dies hat zur Folge, daß der feste Boden sich oft um mehrere Grad unter die Lufttemperatur abkühlt. Stehen Wolken am Himmel, so bilden diese einen schützenden Schirm. (Anwendung von Rauchfeuern in Weinbergen.)

Auf dem verschiedenen Verhalten des Glases gegen Licht- und Wärmestrahlen beruhen vielfache Anwendungen im praktischen Leben. Während das Licht ungehindert durch die Fenster in unsere Zimmer eindringt, wird die Ofenwärme durch das Glas zurückgehalten. In ähnlicher Weise erklärt sich die Wirkung der Gewächshäuser und Mistbeete, die Anwendbarkeit gläserner Schirme bei Kaminheizung, der Schutz des Glases gegen die Glut geschmolzener Massen, z. B. in Glashütten, in denen die Mauer des Schmelzofens Glasscheiben enthält, durch welche die Arbeiter in die Glut hineinsehen können, ohne sie nachtheilig zu empfinden u. s. w.

**Übungsstoff.** 1. Warum schwärzt man metallene Heizröhren an der dem Zimmer zugewandten Seite? — 2. Polierte oder vernickelte eiserne Öfen verhalten sich ähnlich wie Kachelöfen; inwiefern? — 3. An welchen Stellen der Kochgefäße ist das Vorhandensein von Ruß vorteilhaft, und an welchen nachtheilig? — 4. Vorteil, metallene Thee- und Kaffeekessel, Cylinder der Dampfmaschinen u. s. w. blank zu erhalten? — 5. An Wänden reifen Trauben, Pflirsche u. dgl. eher als im Freien; w.? — 6. Äcker und besonders Wiesen kühlen sich in kalten Nächten viel

stärker ab als Wege. Erkl.! — 7. Wenn man die Kugel eines Therm. mit Ruß schwärzt, so steigt und fällt das Qu. rascher als sonst. Erkl.! — 8. Blankes Stanniol ist im Brennpunkte einer Linse schwer zu schmelzen. Durch welche Veränderung der Oberfläche wird es leichter schmelzbar? — 9. Vergl. Fensterglas, W. und Luft hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Licht- und dunkle Wärmestrahlen miteinander. — 10. Eis an den Fenstern unserer Wohnzimmer taut in direktem Sonnenlichte oft schon auf, wenn die Temp. der Umgebung noch unter Null ist. Erkl.! — 11. Wie erklärt es sich, daß Eis und Schnee leichter taut, wenn es mit Asche bestreut wird, ferner: daß dunkle Blätter im Sonnenscheine in das Eis einschmelzen? — 12. Auf hohen Bergen empfindet man im Sonnenscheine eine stechende Wärme, während die Luft eisig kalt ist. Grund! — 13. Durch eine Linse von klarem Eise lassen sich brennbare K. im direkten Sonnenlichte entzünden. (Versuch von *Mariotte*.) Erkl.! — 14. Durch 2 große Hohlspiegel soll bewirkt werden, daß Schießpulver durch die Wärme einer glühenden Kugel in Abständen von einigen m entzündet wird. Wie ist dies auszuführen?

### C. Quellen der Wärme.

§ 126. Die wichtigste Wärmequelle im täglichen Leben ist die *Verbrennung*. Wenn ein Körper in der atm. Luft verbrennt, so vereinigen sich die Grundstoffe desselben mit dem Sauerstoffe der Luft. Eine solche Vereinigung (Oxydation) ist stets von Wärmeentwicklung begleitet. Letztere ist um so bedeutender, je mehr Sauerstoff dabei verbraucht wird. Da dies ein chemischer Vorgang ist, so pflegt man die Verbrennung als eine **chemische Wärmequelle** zu bezeichnen. Damit der Verbrennungsvorgang eintreten kann, müssen die Körper gewöhnlich erst bis zu einer bestimmten Temperatur (*Verbrennungstemperatur*) erhitzt werden.

Außer den kohlenstoffhaltigen Körpern, welche für die Erzeugung größerer Wärmemengen allein von Bedeutung sind, vermögen auch andere Stoffe, z. B. Phosphor, Schwefel, die Metalle, durch ihre Vereinigung mit Sauerstoff Wärme zu erzeugen, wie überhaupt bei jeder Vereinigung von Grundstoffen zu chemischen Verbindungen Wärme erzeugt wird. Die Verbrennung in der Luft erfolgt um so rascher, je mehr Sauerstoff dem verbrennenden Körper zugeführt wird (Anwendung von Gebläsen, Schornsteinen, Lampencylindern u. dgl.). Ist der verbrennende Körper gasförmig oder geht er beim Verbrennen in den gasförmigen Zustand über, so entsteht zugleich eine Flamme, welche an denjenigen Stellen die meiste Wärme entwickelt, an denen sie mit Luft in Berührung steht.

Um Brennmaterialien nach ihrem Heizwerte miteinander vergleichen zu können, hat man durch genaue Versuche ermittelt, wieviel Wasser durch die von 1 kg jener Körper bei vollständiger Verbrennung erzeugte Wärme in Dampf verwandelt werden kann. Derartige Versuche lehren:

Jeder Körper entwickelt beim Verbrennen eine seinem Gewichte entsprechende bestimmte Wärmemenge. — Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper liefern ungleiche Wärmemengen.

#### Zahl der Wärmeeinheiten,

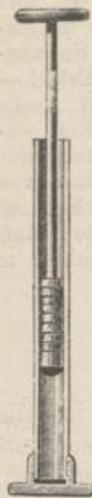
welche durch das Verbrennen von 1 kg folgender Körper entstehen (ungef.):

Holz, lufttrocken . . . . .	3000	Coaks . . . . .	6600	Rüböl, gereinigt . . . . .	9000
Torf, trocken . . . . .	4800	Holz- u. beste Steinkohle	7000	Petrol. u. Leuchtgas	12000
Steinkohle, geringe. . . . .	6000	Weingeist . . . . .	7000	Wasserstoff . . . . .	34000

**Mechanische Wärmequellen.** Auch die *mechanische Arbeit* ist ein Mittel zur Erzeugung von Wärme. Im praktischen Leben bedienen

wir uns dieses Mittels, um die Verbrennung zunächst einzuleiten, z. B. beim Anzünden von Streichhölzern durch Reibung, beim Feuer-

Fig. 449. schlagen mittelst Stahl und Feuerstein. Auch in zahlreichen anderen Fällen hat die mechanische Einwirkung eine Temperaturerhöhung der Körper zur Folge. Werkzeuge erhitzen sich beim Gebrauche, die Achsen der Räder und die Wellen der Maschinen beim Umlaufen in ihren Lagern, Metalle, wenn sie gehämmert, gewalzt und geprefst werden, die Kugeln der Geschütze beim Anprallen an feste Gegenstände u. s. w., überhaupt alle Körper, wenn sie Reibung, Druck, Stofs oder dergl. erleiden, mögen sie fest, flüssig oder luftförmig sein. Wird z. B. Qu. aus kaum  $\frac{1}{2}$  m Höhe einigemal aus einem Gefäße in ein anderes gegossen, so ist noch eine Wärmeentwicklung nachweisbar. — Luft läßt sich durch Zusammenpressen so stark erwärmen, daß leicht brennbare Stoffe (Zündschwamm) sich darin entzünden (pneumatisches Feuerzeug, Fig. 449).



Alle angeführten Beispiele stimmen darin überein, daß die Bewegung eines Körpers durch Bewegungshindernisse verlangsamt oder gar aufgehoben, also mechanische Arbeit verbraucht wurde, an deren Stelle Wärme entstand. Dies führt zu dem Satze:

Überall, wo durch Bewegungshindernisse mechanische Arbeit verbraucht wird, entsteht Wärme.

**Sonnen- und Erdwärme.** Die vorzüglichste Wärmequelle für die Oberfläche der Erde ist die Sonne. Zwar läßt sich aus gewissen Erscheinungen (Vulkane, heiße Quellen, Zunahme der Temperatur mit der Tiefe in Bergwerken und Bohrlöchern) schließen, daß die Erde eine Eigenwärme besitzt; für die Vorgänge jedoch, welche an der Oberfläche der Erde stattfinden, ist diese bedeutungslos. Dasselbe gilt in noch höherem Maße von der Wärme, welche andere Gestirne gegen die Erde ausstrahlen. Aus früheren Paragraphen (§§ 97 und 111) geht hervor:

Ein Körper wird durch die Sonnenstrahlen um so stärker erwärmt, je mehr der Einfallswinkel der Strahlen sich einem rechten nähert und je größer das Absorptionsvermögen des Körpers ist.

Auf Grund genauer Beobachtungen hat man berechnet, daß die gesamte Wärmemenge, welche der Erde in einem Jahre von der Sonne zugeführt wird, ausreichen würde, eine die ganze Erde umgebende Eisdecke von ungefähr 30 m Höhe zu schmelzen, gleichmäßige Verteilung der Wärme vorausgesetzt. — Die Zunahme der Temperatur im Erdinnern beträgt bis zu einer Tiefe von etwa 1300 m durchschnittlich  $1^{\circ}$  C für 30 m; in größeren Tiefen ist die Zunahme geringer (im Bohrloch zu Schladebach in der Provinz Sachsen, das mit über 1700 m Tiefe gegenwärtig das tiefste Bohrloch der Erde ist, wurde eine Temperaturzunahme von  $1^{\circ}$  C auf je 35,7 m Tiefe beobachtet). Heiße Quellen kommen an verschiedenen Stellen der Erde vor (§ 117, Übungsstoff).

**Übungsstoff.** 1. Steinkohlen liefern bei bester Heizvorrichtung höchstens  $\frac{2}{3}$  ihres Wärmeverrates als Nutzwärme. Wv. kg Wasser von  $100^{\circ}$  können hiernach durch 1 kg der besten Steinkohle ganz in Dampf verwandelt werden? (§ 120.) —

2. Wv. kg W. von  $0^{\circ}$  könnten durch die Wärmemenge, welche a. 1 kg Kohlenstoff, b. 1 kg Leuchtgas zu erzeugen vermag, bis zur Siedetemp. erhitzt werden, wenn alle Wärme nutzbar gemacht werden könnte? — 3. Wird eine Glasröhre in eine leuchtende Flamme gehalten, so schwärzt sie sich zunächst; je heifser sie aber wird, desto mehr verschwindet der schwarze Überzug wieder. Erkl.! — 4. Warum ist bei den Streichhölzern eine sehr geringe mechanische Arbeit ausreichend, um eine Entzündung zu bewirken? — 5. Es ist möglich, Eis durch bloße Reibung (ohne Zuführung von Wärme) flüssig zu machen (Versuch von *Davy*). Wofür ist dies ein Beweis? — 6. Warum muß sich eine Geschützkugel auf dem Wege durch die Luft erwärmen? (Sternschnuppen und Feuerkugeln.) — 7. Mittelst eines mit Kienrufs geschwärzten Gefäßes, das ganz mit W. gefüllt und mit einem Therm. versehen ist (Pyrheliometer von *Pouillet*), läßt sich im direkten Sonnenlichte annähernd bestimmen, wv. Wärmeinheiten einer bestimmten Fläche in bestimmter Zeit zugeführt werden. Erkl.! (Die Strahlen müssen senkrecht gegen die ebene Fläche fallen.)

## D. Wärmeerscheinungen in der Atmosphäre.

### Meteorologie.

(Siehe § 36.)

**§ 127. Temperatur der Luft und des Bodens.** Man beobachtet oft, daß ein im Sonnenschein aufgehängtes Thermometer eine bedeutend höhere Temperatur anzeigt als ein im Schatten hängendes. Gewöhnlich schließt man daraus, daß die Luft im Sonnenschein wärmer sein müsse als im Schatten, da man der Meinung ist, daß Thermometer zeige die Temperatur der dasselbe umgebenden Luft an. Dieser Schluss ist falsch, denn bringt man ein Thermometer durch Hin- und Herbewegen schnell mit immer neuen Luftschichten in Berührung (Schleuderthermometer), so zeigt sich, daß die Luft im Sonnenschein nur sehr wenig wärmer ist als im Schatten.

Bem. Die gebräuchliche Aufhängung der Thermometer ist nicht dazu geeignet, die wirkliche Temperatur der Luft zu ergeben. Will man diese erhalten, so muß das aufgehängte Thermometer stets im Schatten bleiben (Nordseite des Gebäudes) und vom Boden, sowie von allen Wärme ausstrahlenden Gegenständen weit genug entfernt sein (wenigstens 2 cm über dem Boden und 30 cm von der Wand).

Zahlreiche Beobachtungen lehren, daß die Temperatur der untersten Luftschichten im allgemeinen mit derjenigen der Bodenoberfläche übereinstimmt, daß aber die Temperatur der übrigen Luftschichten mit der Höhe abnimmt und zwar um so schneller, je trockener die Luft ist und je wärmer die unteren Schichten derselben sind. Diese Temperaturabnahme beträgt daher im Sommer mehr als im Winter und bei geringerer Erhebung vom Erdboden mehr als in größeren Höhen (durchschnittlich  $1^{\circ}\text{C}$  für ungefähr 200 m Steigung).

Die Temperatur der Atmosphäre nimmt mit der Höhe ab. Die Atmosphäre erhält ihre Wärme von der Erdoberfläche, welche ihrerseits durch Bestrahlung von der Sonne erwärmt wird.

Die Sonnenstrahlen werden von den höheren Schichten der Atmosphäre ganz, von den unteren, mit Staub und Dunst erfüllten Schichten größtenteils durchgelassen; die Erdoberfläche dagegen absorbiert die Sonnenstrahlen, erwärmt sich dadurch und strahlt wie ein geheizter Ofen dunkle Wärme wieder aus. Da nun die

Atmosphäre dunkle Wärmestrahlen nicht so leicht durchläßt als Sonnenstrahlen, so muß ihre Temperatur infolge der Ausstrahlung des Bodens mehr steigen als durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen. Dies gilt wiederum hauptsächlich von den untersten Schichten der Atmosphäre. Diesen Schichten (nicht den höheren, da Luft ein sehr schlechter Wärmeleiter ist) teilt sich die Wärme der Erdoberfläche außerdem durch Leitung mit. In der Höhe kann daher nur dadurch eine Erwärmung der Luft eintreten, daß die unteren erwärmten Luftschichten aufsteigen. Letzteres aber ist mit einem Wärmeverlust verbunden, denn indem die Luft sich in der Höhe ausbreitet, leistet sie eine Arbeit; trockene Luftmassen kühlen sich bei je 100 m Emporsteigen um  $1^{\circ}\text{C}$  ab.

Bei starker Wärmeausstrahlung des Bodens kommt es bisweilen vor, daß die Temperatur nach oben nicht ab-, sondern zunimmt. Diese Erscheinung zeigt sich besonders im Winter in abgeschlossenen Gebirgstälern, in welchen kalte und schwere Luft, von den Höhen herabsinkend, abwärts fließt, während darüber wärmere Luftschichten sich ausbreiten (ein ausgezeichnetes Beispiel bietet das Innthal und der Brennerpafs). Auch in klaren Sommernächten ist die Luft über Wiesengründen infolge starker Strahlung oft bedeutend kälter, als über benachbarten Anhöhen.

Im Laufe des Tages wie des Jahres macht sich eine gewisse Regelmäßigkeit in den Veränderungen der Lufttemperatur bemerklich. Diese besteht darin, daß die Temperatur bis zu einer gewissen Höhe steigt und dann wieder fällt, sowie daß sie diesen höchsten und tiefsten Punkt zu bestimmten Zeiten erreicht. Die Zeit des Eintrittes der höchsten wie der niedrigsten Temperatur hängt außer vom Sonnenstande auch von der Beschaffenheit der Erdoberfläche (ob Meer oder Land) ab. Tagsüber ist im allgemeinen die Luft etwa gegen 2 Uhr nachmittags am wärmsten und kurze Zeit vor Sonnenaufgang am kältesten. Der wärmste Monat ist in unseren Gegenden im allgemeinen der Juli, während der Januar der kälteste ist (für Inseln und Küstenländer tritt sowohl die höchste als auch die niedrigste Jahrestemperatur etwas später ein).

Die höchste Tagestemperatur tritt bald nach dem höchsten Sonnenstande, die niedrigste kurz vor Sonnenaufgang ein. Die höchste und die niedrigste Jahrestemperatur treten bald nach dem höchsten und niedrigsten Sonnenstande ein.

Da die Luft ihre Wärme von der Erdoberfläche erhält, so müssen die periodischen Temperaturveränderungen der Luft wesentlich von dem Verhältnis abhängen, in welchen die Ausstrahlung zur Einstrahlung steht. Während der *Nacht* findet nur eine Ausstrahlung statt, die Temperatur muß daher nachts sinken. Am *Tage* überwiegt mit wachsender Sonnenhöhe die Einstrahlung, mit abnehmender Sonnenhöhe die Ausstrahlung. Tagsüber muß daher die Temperatur so lange steigen, bis Aus- und Einstrahlung gleich sind, was erst kurz nach dem höchsten Sonnenstande der Fall sein kann. — Ähnliches gilt auch von den *jährlichen Temperaturschwankungen*. Stände die Sonne das ganze Jahr hindurch im Äquator, so würde ihre Wärmewirkung für eine bestimmte geographische Breite während des ganzen Jahres dieselbe sein. Da nun aber die Sonnenhöhe und damit auch die Tageslänge zu- und abnimmt, so muß auch die Temperatur innerhalb eines Jahres zu- und abnehmen, und zwar muß dieselbe

nach dem höchsten Sonnenstande noch eine Zeitlang steigen, nach dem niedrigsten Sonnenstande hingegen noch eine Zeitlang sinken, denn bis zum Eintritt dieser Wendepunkte (21. Juni und 21. Dezember) hat die Erde beim Wachsen der Sonnenhöhe monatelang mehr Wärme erhalten, als sie wieder auszustrahlen vermag, bei der Abnahme der Sonnenhöhe hingegen monatelang mehr Wärme ausstrahlt, als sie erhielt. Diese Verzögerung des Eintrittes der Zeit, in welcher die Ausstrahlung der Einstrahlung gleich ist, wird noch dadurch begünstigt, daß die Sonnenhöhe sich um die Zeit der Sonnenwende nur wenig ändert.

Die periodischen Temperaturschwankungen zeigen nach der geographischen Breite folgende Unterschiede: In der *heissen Zone* sind die jährlichen Schwankungen sehr gering, während die täglichen (besonders im Binnenlande) stark hervortreten. Mit der Annäherung an die gemäßigten Zonen nehmen die jährlichen Schwankungen zu, die täglichen ab. In den *gemäßigten* und namentlich in den *kalten Zonen* sind die jährlichen Schwankungen bedeutend grösser als die täglichen. In allen Zonen werden die Temperaturschwankungen durch die Nähe des Meeres gemildert (siehe § 121).

Die täglichen Temperaturschwankungen des Bodens sind schon in 1 m Tiefe unmerklich, die jährlichen Schwankungen in etwa 30 m (in den Tropen schon in 6 m) Tiefe.

**Übungsstoff.** 1. Wenn die Erde keine Atm. hätte, so würden die Temp.-Schwankungen der Erdoberfläche grösser sein und regelmässiger erfolgen; w.? — 2. Inwiefern übt die zufällige Beschaffenheit der Atm., insbesondere ihr Wasserdampfgehalt, einen Einfluss auf dieselben aus? — 3. Welchen Einfluss muß es auf die Temp. bewegter Luft ausüben, a. wenn die Luft in Thalengen hineingetrieben wird, b. wenn sie aufsteigt? — 4. Im nördlichen Sibirien (z. B. in der Gegend von Jakutzk) ist der Boden in einiger Tiefe beständig gefroren; trotzdem läßt sich dort in der kurzen Sommerszeit Ackerbau treiben. Wie läßt sich dies erklären? — 5. Wie erklärt es sich, daß das Verhältnis der täglichen und jährlichen Temp.-Schwankungen in den Äquatorgegenden ein anderes ist als in unseren Gegenden? — 6. Der Gang der Temp. eines Tages soll in einem Quadratnetze durch eine gebrochene Linie dargestellt werden (sogen. graphische Darstellung). Zu diesem Zwecke sind die Temp.-Grade neben einer senkrechten, die Tagesstunden unter einer wagerechten Linie in der Weise einzutragen, daß jeder höhere Schnittpunkt eine um  $1^{\circ}$  höhere Temp., jeder weiter nach rechts gelegene Schnittpunkt einen um 1 Stunde vorgerückten Zeitpunkt bedeutet. Die Temperaturen seien von Mitternacht zu Mitternacht  $+12^{\circ}$ ,  $11\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $11^{\circ}$ ,  $10\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $10\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $11^{\circ}$ ,  $11\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $12\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $14^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $16^{\circ}$ ,  $16\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $17\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $18\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $18\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $18\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $18\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $18\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $17\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $16\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $15\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $14^{\circ}$ ,  $13^{\circ}$ ,  $12\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $12^{\circ}$ . — 7. Desgl. der Gang der Jahrestemp. nach den Mitteltemperaturen der Monate:  $-5\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $4^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$ ,  $+3^{\circ}$ ,  $8^{\circ}$ ,  $12^{\circ}$ ,  $13\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $12\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $7\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$ ,  $-1^{\circ}$ ,  $3\frac{1}{2}^{\circ}$ ,  $5\frac{1}{2}^{\circ}$ .

### § 128. Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Um der Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche genau kennen zu lernen, hat man für zahlreiche Orte die *mittleren Temperaturen* der einzelnen Tage, Monate und Jahre dadurch bestimmt, daß man die Lufttemperaturen regelmässig (z. B. von Stunde zu Stunde) beobachtete, hieraus zunächst das arithmetische Mittel für die einzelnen Tage und aus diesen Tagesmitteln die mittleren Temperaturen der einzelnen Monate und des ganzen Jahres berechnete. Indem man die Beobachtungen jahrelang fortsetzte, erhielt man die *allgemeinen Mitteltemperaturen* der betreffenden Orte. Der leichteren Übersicht wegen hat man sämtliche Mitteltemperaturen in geographische Karten eingetragen und die Orte von gleicher Mitteltemperatur durch Linien miteinander verbunden



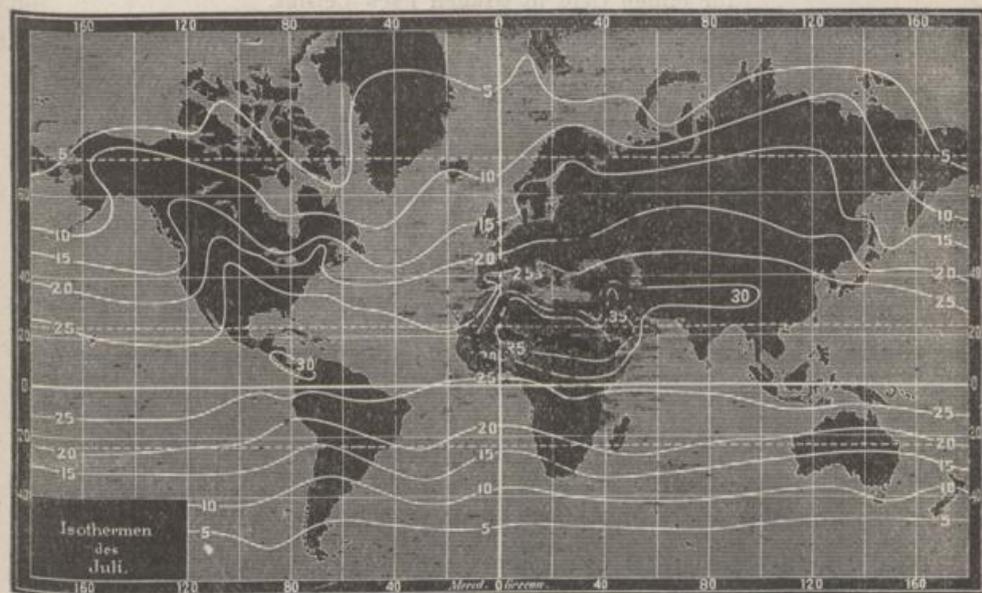
Die höhere Temperatur der Westküsten auf der nördlichen Erdhälfte erklärt sich namentlich aus der Wirkung der Meeresströmungen, welche jene Küsten berühren. Während die Westküsten größtenteils von warmen aus der Äquatorgegend kommenden Strömen gespült werden, fließen an den Ostküsten vorwiegend kalte Ströme vom Eismeere her. Auf die Temperatur Europas, besonders der Nordwestküste dieses Erdteils, übt der Golfstrom einen wesentlichen Einfluss aus. Durch diese Strömung gelangen vom mexikanischen Meerbusen her große Massen erwärmten Wassers in nordöstlicher Richtung bis an die Küste von Norwegen (vergl. den Verlauf der Jahres-Isotherme von 0°).

Die Erfahrung hat ergeben, daß zur Bestimmung der mittleren Tagestemperatur 2 oder 3 Beobachtungen ausreichen. Die Zeitpunkte, welche sich für Mitteleuropa dazu eignen, sind z. B. 8 Uhr morgens und 8 Uhr abends oder (genauer) 6 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 10 Uhr abends.

### b. Monats-Isothermen.

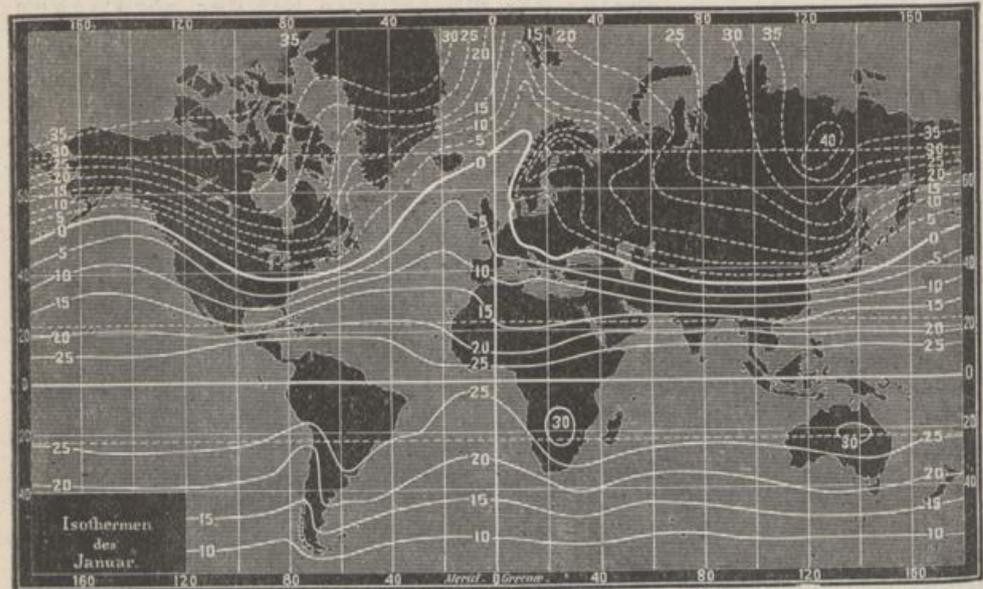
Die gegenseitige Lage dieser Isothermen muß sich offenbar mit der Jahreszeit ändern und zwar in der Weise, daß die Isothermen sich im Sommer weiter vom Äquator entfernen, im Winter hingegen sich demselben nähern (vergl. Fig. 451 und 452). Diese Verschiebung muß

Fig. 451.



wegen der stärkeren Erwärmung und der ebenfalls stärkeren Abkühlung des festen Bodens über den Erdteilen weit mehr betragen als über dem Meere, also namentlich auf der nördlichen Halbkugel sich bemerklich machen. Im Winter giebt es (nach Fig. 452, folg. Seite) auf der nördlichen Erdhälfte 2 Kältepole, von denen der eine in Amerika, der andere in Asien liegt. Die Monats-Isothermen geben wichtige Aufschlüsse über die klimatischen Verhältnisse der einzelnen Länder, wie folgende Beispiele beweisen.

Fig. 452.



Mitteltemperaturen  
für einige Orte in Graden nach Celsius.

Ort	Geographische Lage	Temperatur		Temperatur- Unterschied
		im kältesten Monat	im wärmsten Monat	
St. Helena	ungef. 16° südl. Breite	+ 13,9	+ 19,0	5,1
Rom	} „ 42° nördl. „	+ 7,3	+ 25,0	17,7
Newyork		- 1,0	+ 23,7	24,7
Berlin	„ 52 $\frac{1}{2}$ ° „ „	- 0,9	+ 18,5	19,4
Dublin	„ 53° „ „	+ 5,1	+ 15,8	10,7
land(südl.Küste)	} „ 63° „ „	- 1,0	+ 11,0	12,0
Jakutzk		- 42,1	+ 16,7	58,8

Orte, welche mitten in einem großen Erdteile liegen, haben heiße Sommer und strenge Winter: **Kontinental- oder Landklima**; Orte, welche auf Inseln oder wenigstens nahe am Meere liegen, haben kühle Sommer und milde Winter: **Seeklima**.

Die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche wurde zuerst von Alexander v. Humboldt (1817) durch Isothermenkarten veranschaulicht.

**Übungsstoff.** 1. Welchen Einfluss muß a. die Größe des Einfallswinkels der Sonnenstrahlen, b. die Länge des Weges, welchen sie in der Atm. zurücklegen, auf ihre erwärmende Kraft ausüben? — 2. Wende dies auf verschiedene geogr. Breiten an. — 3. Gibt es nach Fig. 450 und 451 in der gemäßigten Zone Orte, an denen die Sommertemp., die mittlere Jahrestemp. der Äquatorgegend erreicht oder übertrifft? — 4. a. In welchem Erdteile sind die Unterschiede der mittleren Jahrestemp. am geringsten, b. in welchem am größten? — 5. Der Verlauf der Jahresisothermen zeigt, daß in der heißen Zone die Landmassen wärmer sind als die Meere, während es sich in den höheren Breiten umgekehrt verhält. Erkläre diese Ersch.! — 6. Erkläre den sehr auffälligen Verlauf der Januar-Isothermen von 0°! — 7. In welchem Lande Europas sind die Temp.-Unterschiede im Winter in der Richtung von O. nach W. am größten? Erkl.! — 8. An welchem von den in der obigen

Tabelle angeführten Orten sind die jährlichen Temp.-Schwankungen am geringsten und an welchen am größten? Erklärung!

**§ 129 a. Luftströmungen.** Die ungleiche Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche muß einen Einfluß auf den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre ausüben. Dies läßt sich schon aus den Strömungen schließen, welche eintreten, wenn die Luft eines erwärmten Zimmers mit der eines benachbarten kälteren Raumes in Verbindung gebracht wird (§ 35). In ähnlicher Weise wird jede stärkere Erwärmung eines Teiles der Erdoberfläche ein Aufsteigen der erwärmten Luft und ein Abfließen derselben in den oberen Schichten, in den unteren hingegen ein Zufließen kälterer Luft zur Folge haben. Strömungen dieser Art kommen in größtem Maßstabe in der Lufthülle beider Erdhälften vor.

### Passatwinde.

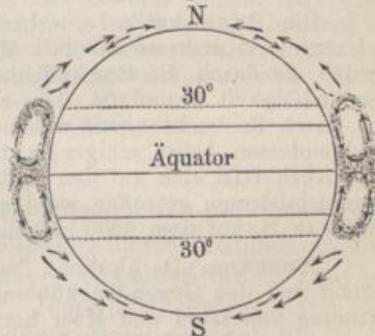
In der Äquatorgegend findet das ganze Jahr hindurch eine starke Erwärmung der unteren Luftschichten statt, welche dadurch ausgedehnt werden und in die Höhe steigen. Dieses Aufsteigen der Luft hat zunächst zur Folge, daß der Luftdruck in den höheren Schichten zunimmt; die Schichten gleichen Druckes, welche sonst mit der Erdoberfläche gleiche (konzentrische) Lage haben würden, müssen sich demnach heben. Dadurch entsteht in der Höhe ein nach beiden Polen hin gerichtetes Gefälle, infolgedessen die obere Luft polwärts abfließt, während unten von Norden und Süden her kältere Luft in den entstandenen luftverdünnten Raum einströmt.

Auf diese Luftdruckverhältnisse übt nun die Gestalt der Erde einen Einfluß aus. Der Raum für die polwärts abfließende Luft wird infolge der Krümmung der Erde immer enger; es muß sich daher zu beiden Seiten des Gürtels stärkster Erwärmung Luft anhäufen und diese Anhäufung der Luft nimmt bis zu der Gegend zwischen dem 30. und 40. Breitengrade zu. Hier ist der Luftdruck an der Erdoberfläche dauernd am größten. Zwischen diesem Breitengrade und der Äquatorgegend findet beständig ein geschlossener Kreislauf der Luft statt (Fig. 453). Die nicht in diesen Kreislauf hineingezogene Luft der oberen Strömung scheint ihren Weg polwärts fortzusetzen.

Der Luftdruck beträgt in der Äquatorgegend in Meereshöhe fast immer 760 mm; von da bis zu der Zone zwischen dem 30. und 40. Grade nördl. und südl. Breite nimmt er durchschnittlich bis ungefähr 765 mm zu und dann wieder ab nach den Polen hin.

*Der Erdgürtel, in welchem das Aufsteigen großer Luftmassen täglich erfolgt, wird Region der Kalmen oder Windstillen genannt. Die nach dem Kalmengürtel gerichteten unteren Luftströmungen heißen*

Fig. 453.



**Passatwinde (Polarströme), die nach den Polen gerichteten oberen Strömungen Gegenpassate (Äquatorialströme).**

Der Kalmengürtel hat nicht überall die gleiche Breite und auch nicht immer dieselbe Lage. Er entspricht im allgemeinen den Gegenden der Erdoberfläche, welche sich am stärksten erwärmen; seine Grenzen verschieben sich daher nach dem Sonnenstande und zwar am meisten auf der nördlichen Halbkugel, wo er in unserem Sommer ungefähr den 10. Grad erreicht (im atlant. Ocean), während er an seiner Südseite sich etwa bis zum Äquator erstreckt. Innerhalb des Kalmengürtels herrscht meistens Windstille, welche nur zeitweise durch stürmische Winde unterbrochen wird.

**Richtung der Passatwinde.** Die Richtungen der oberen und unteren Passatströmungen würden genau nördliche und südliche sein, wenn die Erde in Ruhe wäre und die Erdoberfläche überall gleiche Beschaffenheit hätte. Nun aber dreht sich die Erde mit ihrer ganzen Luftkugel um ihre Achse. Die vom Äquator abfließende Luft hat daher schon bei Beginn ihrer polwärts gerichteten Bewegung eine Geschwindigkeit nach O. (etwa 460 m in 1 Sek.), welche aber am Äquator selbst nicht bemerkbar ist, da hier alle Punkte der Erdoberfläche die gleiche östliche Geschwindigkeit haben; je mehr sich indes die Luft vom Äquator entfernt, um so mehr fließt sie über Orte der Erdoberfläche hinweg, welche sich langsamer von W. nach O. bewegen, denen sie mithin vorausseilen muß. Der Äquatorialstrom eilt daher den Orten desjenigen Meridians, welcher sonst seine Bahn bezeichnen würde, nach O. voraus: *auf der nördlichen Erdhälfte wird aus dem S.-Winde ein SW.-Wind.* Mit dem Polarstrom verhält es sich umgekehrt, da die Luft desselben ursprünglich eine um so geringere Geschwindigkeit nach O. hat, je näher ihr Ausgangspunkt dem Pole liegt. Der Polarstrom bleibt daher zurück hinter den Orten des Meridians, welcher seine Bahn sonst bestimmen würde: *aus dem N.-Winde wird auf der nördlichen Erdhälfte ein NO.-Wind.* Nord- und Südwinde werden somit durch die Achsendrehung der Erde auf der nördlichen Halbkugel nach rechts abgelenkt; auf der südlichen Halbkugel findet eine Ablenkung beider Winde nach links statt. (Vergl. auch § 77, *Foucaults Pendelversuch.*)

Die Passatwinde wehen in größter Regelmäßigkeit nur auf dem Meere und zwar erst mehrere hundert Meilen von der Küste entfernt. Auf dem Festlande werden sie durch die Beschaffenheit der Erdoberfläche (Gebirge u. s. w.) in ihrer Regelmäßigkeit beeinflusst. Das regelmäßige Wehen der Äquatorialströme bestätigt sich durch Beobachtungen, welche man an der Rauchsäule und der hoch emporgeschleuderten Achse einiger in der Äquatorialgegend gelegenen Vulkane gemacht hat. Auch läßt sich auf den Spitzen hoher Berge, welche von den herabsinkenden Äquatorialströme getroffen werden, die Regelmäßigkeit der oberen Strömung nachweisen (z. B. auf dem 3600 m hohen Pik von Teneriffa).

**Monsune.** Da ähnliche Temperaturgegensätze, wie sie zwischen der Äquatorgegend und den Gegenden höherer Breiten bestehen, auch durch die ungleiche Erwärmung von Land und Meer hervorgerufen werden, so können die beschriebenen regelmäßigen Luftströmungen durch große Erdteile erhebliche Abänderungen erleiden. Das großartigste Beispiel dieser Art zeigt Asien. Die über Mittelasien im Sommer eintretende starke Erwärmung und Auflockerung der Luft (der Barometerstand ist z. B. in Peking im Juli 20 mm niedriger als im Januar), wie die starke Erkaltung und Verdichtung derselben im Winter bewirken, daß im indischen Ocean, nördlich vom Äquator, regelmäßig im Sommer ein SW.-Wind, im Winter ein NO.-Wind weht. Derartige Winde heißen Monsune, d. h. soviel wie Jahreszeitenwinde.

**Küstenwinde. Gebirgswinde.** An den Küsten, namentlich in der heißen Zone, kann auch durch den regelmäßigen täglichen Temperaturwechsel ein täg-

licher Wechsel in der Windrichtung hervorgerufen werden (Fig. 454). Tagsüber steigt hier die vom Boden aus erwärmte Luft in die Höhe, und kältere, dichtere Luft vom Meere her tritt an ihre Stelle; des Nachts dagegen strömt umgekehrt die über dem Boden lagernde, abgekühlte Luft nach dem Meere hin. Am Tage weht somit ein Seewind, in der Nacht ein Landwind. Ersterer wird in der Regel erst mehrere Stunden nach Sonnenaufgang bemerklich, nimmt noch 2–3 Stunden lang nach Mittag an Stärke zu und legt sich gegen Abend; letzterer beginnt etwa gegen Mitternacht und weht am stärksten gegen Sonnenaufgang. Die Land- und Seewinde sind im allgemeinen nur schwach; sie sind überhaupt nicht bemerklich, wenn ein anderer, stärkerer Wind vorherrscht.

Auch im Gebirge kann ein täglicher Windwechsel vorkommen. Ist die Luft sonst ruhig, so weht bei genügender Erwärmung der Bergabhänge durch Sonnenstrahlung am Tage ein Wind thalaufwärts, nachts infolge der stärkeren Abkühlung der Hänge thalabwärts. Auch diese Winde treten um so deutlicher hervor, je weniger allgemeinere Luftströmungen vorherrschen und gelten daher besonders im Hochgebirge als ein Zeichen gleichmäßiger guten Sommerwetters (Unterwind und Oberwind).



**Übungsstoff.** 1. Als mittlerer Luftdruck in Meereshöhe ergab sich in Südamerika (unter dem Äquator) 759 mm, in Nordamerika (39° nördl. Br.) 767 mm; dagegen in einer Höhe von 4066 m über dem Meere in Südamerika 471 mm, in Nordamerika 458 mm. Welche Schlüsse lassen sich aus der Vergleichung dieser Zahlen ziehen? — 2. Auf der Spitze des Peks von Teneriffa (28° nördl. Br.) weht beständig SW.-Wind, auf dem Meere hingegen (wenigstens im Sommer) NO.-Wind. Erkl.! — 3. Die Asche des Vulkans Coseguina in Central-Amerika fiel auf Jamaika nieder, obwohl diese Insel über 160 geogr. Meilen nordöstlich vom Vulkan entfernt ist und auf der Insel wie auf dem Meere der Wind entgegengesetzte Richtung hatte. Erkl.! (Der Vulkan liegt etwa auf dem 13., die Insel unter dem 18. Grade nördl. Br.) — 4. Die Stärke von Luftströmungen wächst im allgemeinen mit den Temperaturgegensätzen benachbarter Teile der Erdoberfläche; w.? — 5. Welcher Unterschied ergibt sich hieraus hinsichtlich der Stärke der atm. Äquatorialströmungen der nördl. Erdhälfte für unsern Sommer und Winter? Grund! — 6. Wie läßt sich aus der Verteilung von Land und Meer der Schlufs ziehen, daß diese Strömungen auf der nördlichen Erdhälfte im allgemeinen stärker sein müssen als auf der südlichen? — 7. Im Januar sind die Winde Australiens vorherrschend vom Meere nach dem Innern des Festlandes, im Juli entgegengesetzt gerichtet. Erkl.! (Australien liegt zwischen dem 15. und 40. Grade südl. Br.) — 8. Warum nimmt die Deutlichkeit der Küstenwinde mit der geogr. Breite ab?

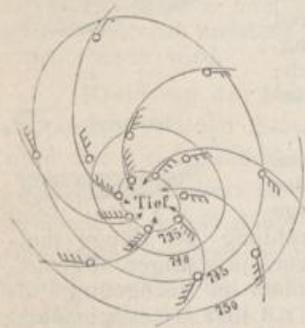
**§ 129 b. Luftströmungen. (Fortsetzung.)** Ob ungleiche Erwärmung als die einzige Ursache der Gleichgewichtsstörungen in der Atmosphäre anzusehen ist, oder ob noch andere Ursachen mitwirken, ist nicht mit genügender Sicherheit bekannt. Jedenfalls ergibt sich als sicherer Ausgangspunkt für die Erklärung der Luftströmungen die tatsächliche Abhängigkeit dieser Strömungen von der Verteilung des Luftdruckes. Offenbar kann die Atmosphäre nur dann im Gleichgewichte sein, wenn überall in gleichen Höhen derselbe Druck herrscht, und es müssen Strömungen entstehen, wenn dies nicht der Fall ist, da dann die Luft nach den Orten niederen Druckes ein Gefälle hat. Durch die genauere Erforschung dieser Verhältnisse hat sich über den Zusammenhang zwischen der Verteilung des Luftdruckes und der herrschenden Windrichtung eine Gesetzmäßigkeit erkennen lassen, welche auch über

die veränderlichen und scheinbar ganz regellosen Winde außerhalb des Gebietes der Passate wichtige Aufschlüsse giebt.

### Region der veränderlichen Winde. Das Windgesetz von Buys Ballot.

Trägt man die Barometerstände zahlreicher Orte an jedem Tage in

Fig. 455.



Karten ein und verbindet die Orte gleichen Luftdruckes durch Linien miteinander, so ergibt sich, daß die niedrigsten Barometerstände in der Regel auf einem kleineren Gebiete des Meeres oder Festlandes zusammenliegen, und um diese herum sich Orte höheren Druckes derart gruppieren, daß der Druck mit der Entfernung von jenem Gebiete zunimmt (Fig. 455). Die Linien gleichen Druckes selbst verlaufen unregelmäßig und lassen deutlich erkennen, daß die Luft ein nach innen gerichtetes Gefälle hat, welches da am größten ist, wo sie

einander am nächsten liegen.

*Linien, welche die Orte gleichen Barometerstandes miteinander verbinden, werden Isobaren genannt.*

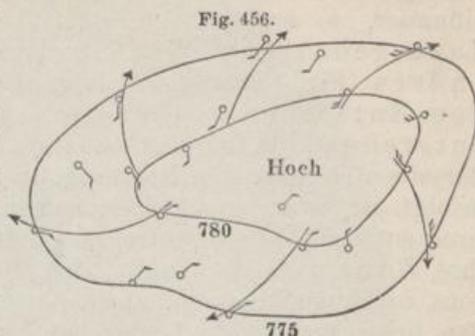
*Das Gebiet niedrigsten Luftdruckes wird barometrisches Minimum (Depressionsgebiet) genannt; die Luftdruckdifferenz für die Entfernung von einer geographischen Meile wird als barometrischer Gradient bezeichnet.*

Die Größe des Gradienten wird in der Weise ausgedrückt, daß man angiebt, um wieviel Millimeter der (auf Meereshöhe und 0° berechnete) Luftdruck abnimmt, wenn man sich senkrecht zu den Isobaren, also in der Richtung des größten Gefälles, um 1 geogr. Meile fortbewegt. Bei den heftigsten Stürmen beträgt in unseren Breiten der Gradient 0,2 bis 0,3 mm für die geogr. Meile, bei den Orkanen in Tropengegenden steigt er bis zu 1 mm.

Werden in eine Karte außer den isobarischen Linien auch die *Windrichtungen* eingetragen (siehe Fig. 455), so zeigt sich die auffällige Erscheinung, daß dieselben nicht mit den Richtungen des stärksten Gefälles übereinstimmen, sondern in spiralförmigen Linien das Gebiet des geringsten Druckes umkreisen. Dies erklärt sich wiederum aus der Achsendrehung der Erde. Ohne dieselbe würde die Luft nur der Schwere folgen und auf dem kürzesten Wege (senkrecht zu den Isobaren) von den Orten höheren Druckes nach denen niedrigeren Druckes fließen. Durch die Achsendrehung der Erde aber wird sie von dieser Richtung abgelenkt und zwar auf der nördlichen Erdhälfte nach rechts, auf der südlichen nach links. Dadurch entsteht eine drehende Bewegung der Luftmasse, welche das Minimum von rechts nach links (entgegengesetzt dem Zeiger einer Uhr) umkreisen muß: **Luftwirbel** oder **Cyclone**. Diese Bewegung ist um so stärker, je enger die Isobaren aneinander liegen (die Befiederung an den Pfeilen in Fig. 455 bezeichnet die Windstärke).

Die Verteilung des Luftdruckes kann indes auch eine derartige sein, daß sich um ein Gebiet höchsten Druckes (**Luftdruckmaximum**)

Orte niedrigeren Druckes gruppieren (Fig. 456). In diesem Falle fließt die Luft nach außen ab, wobei sie ebenfalls durch die Rotation der Erde abgelenkt wird. Infolgedessen weht der Wind in spiraligen Bahnen, deren Drehungsrichtung mit der eines Uhrzeigers übereinstimmt. Die Abnahme des Druckes, sowie die Abweichung von der Richtung des größten Gefälles ist bei dieser Druckverteilung gewöhnlich viel schwächer, also auch die Krümmung der Windbahnen und die Windstärke eine geringere (Befiederung der Pfeile in Fig. 456).



Über den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Windrichtung gelten demnach folgende Gesetze:

1. Der Wind weht stets von den Orten, welche einen höheren Luftdruck haben, nach den Orten niedrigeren Luftdruckes hin.
2. Alle Winde werden auf ihrem Wege abgelenkt, und zwar auf der nördlichen Erdhälfte nach rechts, auf der südlichen nach links.

Für die Auffindung der Luftdruck-Minima und -Maxima ergibt sich demnach für die nördliche Erdhälfte die einfache Regel:

*Wendet man dem Winde den Rücken zu, so liegt das Minimum etwas nach vorn links, das Maximum etwas nach hinten rechts.*

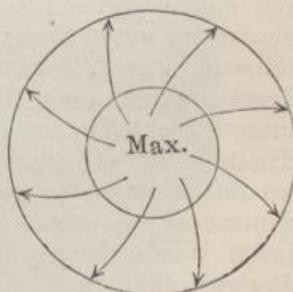
Das angeführte Gesetz, welches den Zusammenhang zwischen Luftdruck und Windrichtung ausspricht und die Vorausbestimmung der letzteren ermöglicht, muß als die wichtigste Errungenschaft der neueren Witterungskunde bezeichnet werden. Man nennt dasselbe nach dem holländischen Meteorologen Buys Ballot (spr. Beis Ballo), der es 1857 zuerst anwendete, das **Buys Ballotsche Windgesetz**.

In Fig. 457 und 458 sind zwei Windsysteme schematisch so dargestellt, als ob die Linien gleichen Druckes konzentrische Kreise bildeten, die Richtungen des größten Gefälles also mit den Halbmessern der Kreise zusammenfielen und alle Windbahnen gleiche Krümmung hätten. Eine solche Luftdruckverteilung kommt in Wirklichkeit kaum vor. Beide Windsysteme erleiden vielmehr, besonders auf dem Festlande, durch verschiedene örtliche Einflüsse die mannigfaltigsten Abweichungen, sodafs sie oft sehr unregelmäßig erscheinen. — Die Gebiete des höchsten Druckes haben gewöhnlich eine weit größere Ausdehnung als die des niedrigsten Druckes (bisweilen mehrere hundert Meilen im Durchmesser); die Windsysteme selbst erstrecken sich nicht selten über ganze Erdteile.

Fig. 457.



Fig. 458.



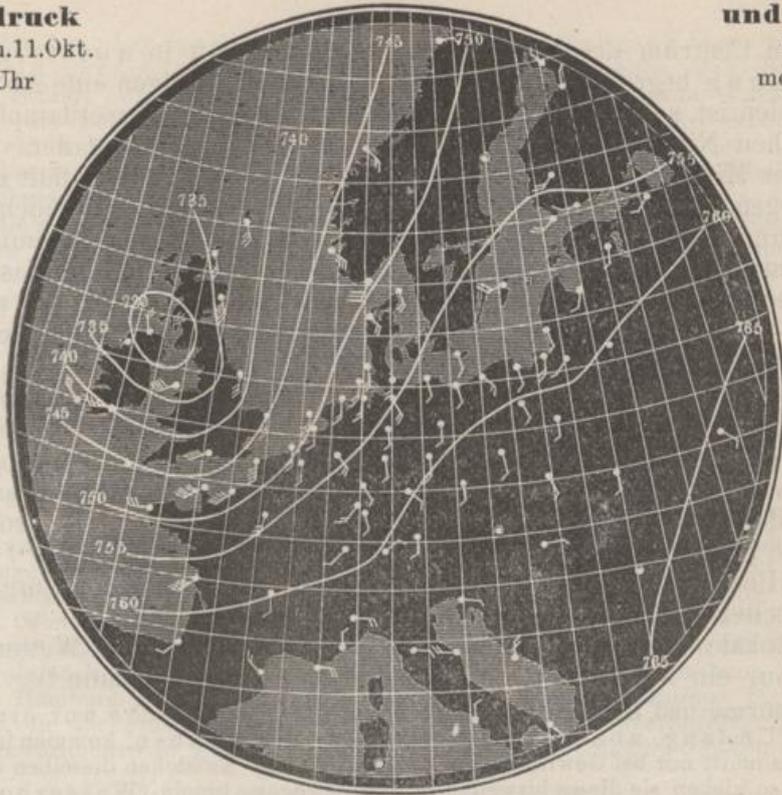
**Fortbewegung der Luftdruckminima.** Vergleicht man die Verteilung des Luftdruckes an mehreren aufeinander folgenden Tagen miteinander, so ergibt sich, daß die Luftdruckminima mit den dazu gehörigen Windsystemen ihre Lage meist schnell ändern (Fig. 459 und 460, folg. Seite) und gewöhnlich bald nach dem Entstehen wieder verschwinden, während andere neu entstehen. Die Luftdruckmaxima dagegen lagern meist längere Zeit über derselben Gegend. Die Richtung, in welcher die Verschiebung der Minima erfolgt, ist zwar verschieden, jedoch hat man durch fortgesetzte Beobachtung entdeckt, daß sie im allgemeinen gewisse Wege einhalten, welche man ihre Zugstraßen nennt. Die Minima, welche für das nördliche Europa in Frage kommen, machen sich in der Regel zuerst westlich von den britischen Inseln bemerkbar und ziehen in östlicher oder nordöstlicher Richtung weiter mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 100 km für den Tag, wobei jedoch sowohl in Bezug auf die Geschwindigkeit als auf die eingehaltenen Zugstraßen sehr erhebliche Abweichungen vorkommen, die zum Teil von der Jahreszeit abhängen (im Winter nehmen z. B. die Minima oft eine südöstliche Richtung durch Frankreich nach dem Mittelmeer), zum Teil ganz regellos sind (manche Minima haben auch eine nördliche oder westliche Bewegungsrichtung).

Für die in Deutschland vorherrschenden Luftströmungen ist die Tatsache entscheidend, daß bei weitem die meisten Minima nördlich an uns vorbeiziehen. Wie aus Fig. 457 hervorgeht, dreht sich nun der Wind für alle Orte, welche auf der Südseite eines fortschreitenden Minimums liegen, in folgender Weise: von Südost über Süd nach West und über Nordwest nach Nord (an der Rückseite des Minimums); der Wind dreht sich somit mit der Sonne, eine Erfahrungsthatfache, die man als das *Dovesche Winddrehungsgesetz* schon länger kannte (§ 84), die aber erst durch das *Buys Ballotsche Gesetz* ihre Erklärung findet. Wenn das Minimum südlich an einem Orte vorbeigeht, so muß die Drehung des Windes von Südost über Ost, Nordost und Nord nach Nordwest erfolgen, also abweichend vom Doveschen Gesetz, welches mithin eine allgemeinere Giltigkeit überhaupt nicht haben kann.

**Wind und Wetter.** Das Wetter wird wesentlich von dem Verlauf der Minima bestimmt, wie eine genaue Beobachtung des Barometers und eine Vergleichung der von der deutschen Seewarte täglich herausgegebenen *synoptischen Karten* (Fig. 459 und Fig. 460) zeigt. Bei Annäherung des Luftwirbels fängt das Barometer an zu sinken und in der Regel deutet auch die Wolkenbildung (zuerst sehr hochschwebende, langgestreckte Federwolken, dann eine dickere Wolkenschicht am westlichen Himmel) auf die bald folgenden Niederschläge hin. Allmähliches Steigen des Barometers dagegen kündigt an, daß das im Vorbeiziehen begriffene Minimum von einem Gebiet höheren Druckes abgelöst wird, welches sich durch Wiedereintritt hellen, trockenen Wetters (oft unter Bildung von Haufenwolken) und Umspringen des Windes nach Nord kennzeichnet. Diesen Charakter behält nun die Witterung bis zum Herannahen eines neuen Luftwirbels. Der Verlauf der Witterungserscheinungen, wie er sich beim Vorübergang eines Luftdruckminimums im allgemeinen abspielt, läßt sich durch Folgendes erklären:

Fig. 459.

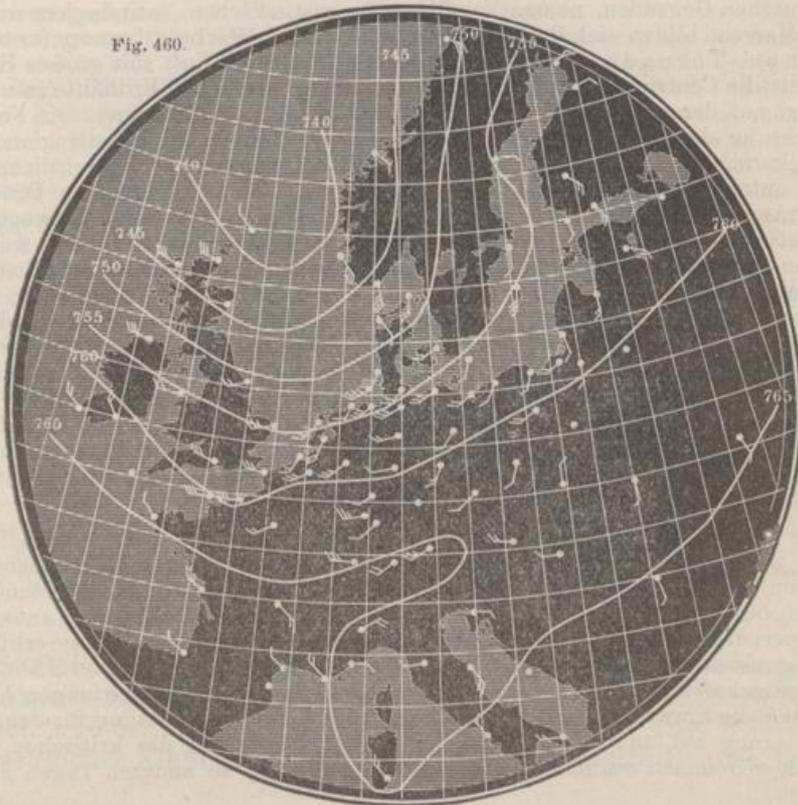
**Luftdruck**  
vom 10. u. 11. Okt.  
8 Uhr



333

**und Wind**  
1878  
morgens.

Fig. 460.



Im Centrum des Minimums muß die Luft in aufsteigender Bewegung begriffen sein und da mit diesem Aufsteigen eine Abkühlung verbunden ist, so muß dasselbe zur Verdichtung von Wasserdampf und zu reichlichen Niederschlägen Veranlassung geben. Auch auf der vorderen Seite des Minimums, wo Südost- und Süd-Winde herrschen, fällt gewöhnlich Regen, und ebenso auf der Südseite, wo warme und feuchte Südwest- und West-Winde wehen. Auf der Rückseite des Minimums dagegen muß sich mit dem Übergange des Windes nach Nord das Wetter aufhellen (im Winter zu trockenem Froste) und während des nun folgenden Luftdruckmaximums klar bleiben, da ein Maximum immer durch eine absteigende Luftbewegung charakterisiert ist, womit stets eine Erwärmung der Luft und somit trockenes Wetter zusammenhängt.

Auf diesen allgemeinen Gesetzen beruht die Möglichkeit einer Vorausbestimmung der Witterung auf kürzere Zeit (höchstens einige Tage), wie sie von der deutschen Seewarte und vielen Wetterwarten auf Grund der täglich entworfenen Wetterkarten versucht wird. So groß indes auch die Bedeutung einer sicheren Wettervorhersage („Prognose“) in vielfacher Hinsicht ist, so sind doch andererseits die Witterungsvorgänge so verwickelter Art, und werden (namentlich im Binnenlande) so vielfach durch lokale Verhältnisse beeinflusst, daß bis jetzt den Wettervorhersagen nur ein beschränkter Wert zugestanden werden kann.<sup>1)</sup>

**Stürme und Sturmwarnungen.** Luftwirbel, welche nur einen geringen Umfang, aber eine heftige Bewegung haben, kommen in unseren Gegenden meist nur bei Gewittern vor (Windhosen). Entstehen dieselben über dem Wasser, so ziehen sie dieses bisweilen in ihre Bewegung hinein (Wasserhosen). In den tropischen Gegenden, namentlich über den westindischen, ostindischen und chinesischen Meeren, bilden sich derartige Wirbel leicht zu Wirbelstürmen (tropische Cyklonen, Tornados, Teifune) aus, bei denen die Luft mit großer Heftigkeit das windstille Centrum umkreist, und zwar auf der nördlichen Erdhälfte in entgegengesetzter, auf der südlichen in gleicher Richtung mit dem Uhrzeiger. Die Fortschreitungsrichtung der Cyklone ändert sich beim Überschreiten der Passatregion. Da die Luftdruckerniedrigung im Centrum des Wirbelsturmes eine sehr beträchtliche ist (bis 60 mm unter den mittleren Barometerstand) und da außerdem der Druck nach außen rasch zunimmt, so ist auch die Heftigkeit der drehenden Bewegung eine ganz außerordentliche und dementsprechend sind die Verwüstungen, welche die Cyklonen anrichten, ganz gewaltige. Als eine sehr charakteristische Erscheinung wird die Windstille im Centrum des Sturmes geschildert, auf welche ein erneuter Ausbruch desselben in entgegengesetzter Richtung folgt. Die Kenntnis des Verlaufes der Cyklonen ist für die Schifffahrt von großer Bedeutung und deshalb werden dieselben möglichst genau verfolgt. Der Seefahrer weiß, daß sie im allgemeinen dem Laufe der warmen Meeresströmungen folgen (der Golfstrom wird deshalb „Sturmkönig“ genannt) und kann aus Änderungen des Luftdruckes und der Windrichtung die Lage des Wirbelcentrums bestimmen. Über die eigentliche Ursache ihrer Entstehung weiß man nur sehr wenig und vermutet, daß starke Kondensation von Wasserdämpfen eine wesentliche Rolle dabei spielt.

<sup>1)</sup> Der uralte und weit verbreitete Glaube von einem Einfluß des Mondes auf das Wetter muß, als auf ungenauen (zum Teil sogen. „unwillkürlichen“) Beobachtungen beruhend, zurückgewiesen werden; dasselbe gilt von der anscheinend wissenschaftlich begründeten Theorie, welche aus dem Einfluß des Mondes (und anderer Himmelskörper) das Auftreten besonders bedeutungsvoller Witterungsvorgänge erklären und deren Vorausbestimmung ermöglichen will (sogen. „kritische Tage“). Die genauesten wissenschaftlichen Untersuchungen und die praktischen Beobachtungen haben ergeben, daß die Einwirkung des Mondes keine nachweisbare Bedeutung für den Wechsel der Witterung hat und daß die Erscheinungen, welche für die kritischen Tage in Anspruch genommen werden, mindestens ebenso häufig an anderen Tagen eintreten.

Winde, deren Eigenschaften sich auf besondere örtliche Einflüsse zurückführen lassen, sind z. B. der *Föhn*, die *Bora*, der *Scirocco*, *Solano*, *Samum* u. a. Der *Föhn* ist ein trockener, warmer Wind, welcher besonders im nordöstlichen Teile der Schweiz mit stürmischer Gewalt auftritt. Er entsteht, wenn sich nördlich von den Alpen ein Gebiet niedrigsten Luftdruckes bildet, in welches die über die Alpenkette strömenden Südwinde gleichsam herabgesaugt werden. Diese haben ihren Wasserdampfgehalt beim Aufsteigen an der Gebirgskette abgegeben und stürzen nun als trockene Luftströme in die nördlichen Thäler hinab, dem Lauf derselben folgend und durch Zusammenpressen sich noch mehr erwärmend. Föhnartige Winde entstehen überall da, wo höhere Gebirgsketten von starken und wasserdampfreichen Luftströmungen überschritten werden (z. B. in Grönland, Norwegen, im kleineren Maßstabe auch in den Thälern am nördlichen Harzrande). — Die *Bora* ist ein kalter Sturm, der vom Karstplateau in der Richtung nach dem adriatischen Meere weht, wenn im Süden desselben ein Luftdruckminimum liegt bei hoher Temperatur des Küstengebietes und starker Abkühlung des kahlen Plateaulandes.

Die genaue Erforschung der Gesetze, welche der Luftdruckverteilung und den Bewegungen der Atmosphäre zu Grunde liegen, ist für die Schifffahrt von größter Wichtigkeit, da diese Gesetze die einzig sichere Grundlage bilden für die Erteilung von Sturmwarnungen, welche den bedrohten Küsten von einer Centralstelle telegraphisch zugehen. Diese Sturmwarnungen werden an den betreffenden Küstenorten (in Deutschland etwa 80) durch optische Signale den Schiffern mitgeteilt, eine Einrichtung, die sich als sehr segensreich erweist, da man auf Grund der an der Centralstelle täglich eingehenden telegraphischen Nachrichten sowohl die Windrichtungen, als auch die Windstärken ziemlich sicher vorausbestimmen kann (die Seewarte in Hamburg erhält von etwa 100 Stationen aus ganz Europa täglich Depeschen). In der großartigsten Weise ist das System der Wettertelegraphie und der Sturmwarnungen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika ausgebildet.

**Übungstoff.** 1. Wie ändert sich die Geschw. des W. eines Flusses mit der Entfernung vom Ufer und mit der Tiefe? Welche Anwendung auf die Bewegungen im Luftmeer läßt sich von dieser Beobachtung machen? (Wichtigkeit der Hochwetterwarten.) — 2. Unterschied des Einflusses, welchen Land und Meer auf die Geschw. der Winde ausüben? — 3. Bei ruhiger Luft erwärmt sich oft eine verhältnismäßig kleine Bodenfläche bedeutend stärker als ihre Umgebung. Welcher Vorgang wird dadurch in der Atm. eintreten und welche Ersch. wird entstehen, wenn das (labile) Glgew. der Luft plötzlich gestört wird? — 4. Man denke sich durch das Centrum der Fig. 457 eine wagerechte Linie gelegt, welche die Zugstrafse des Luftwirbels andeute. Wie würde sich dann die Windrichtung an einem in der Geraden links an der Grenze des Wirbels gelegenen Orte ändern, wenn der Wirbel sich von links nach rechts fortbewegte? — 5. Desgl. an einem Orte, welcher nahe am Centrum und zwar a. nördlich, b. südlich, c. westlich, d. östlich von demselben liegt? (Man denke sich für jeden dieser Fälle etwa an den inneren Kreis in der Zugrichtung eine Tangente gezogen.) — 6. Wie ändert sich nach den beiden Wetterkarten, Fig. 459 und 460, die Windrichtung a. in Deutschland, b. der französischen Küste, c. an der Süd- und Ostküste von England und Schottland, d. an der Nordspitze von Schottland und auf den Shetlands-Inseln? — 7. Auf welcher von jenen Karten hat die Luft nach der gegenseitigen Lage der Isobaren im allgemeinen das größte Gefälle? Erkl.! — 8. Ein absteigender Luftstrom erwärmt sich bei je 100 m Abnahme der Höhe ungefähr um  $1^{\circ}$  C, ein aufsteigender Luftstrom kühlt sich ab. Wende dies auf den *Föhn* an. — 9. Inwiefern wird durch die Wolkenbildung das Aufsteigen der Luft befördert? (Erwärmung bei Kondensation von Wasserdampf, § 120.)

**§ 130. Feuchtigkeit der Luft. (Hygroskop und Hygrometer.) Niederschläge.** Von den Beimischungen der aus Sauerstoff und Stickstoff bestehenden atm. Luft ist nur dem Wasserdampf ein wesentlicher Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse der Erde zu-

zuschreiben. Während jene beiden Gase in der Atmosphäre in unveränderlichem Verhältnis vorkommen, ist die Menge des Wasserdampfes sowohl von der Beschaffenheit der Erdoberfläche, als auch von der Temperatur und den Strömungen der Luft abhängig. Die Verdunstung an der Oberfläche der auf der Erde vorhandenen Wassermassen und die Ausscheidung von Wasserdampf durch die Pflanzenwelt sind die Hauptquellen der Luftfeuchtigkeit.

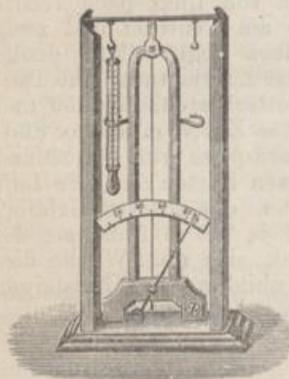
Nach unserer Empfindung bezeichnen wir als trockene Luft solche, welche von ihrem Sättigungspunkte weit entfernt ist, während feuchte Luft ihrem Sättigungspunkte sehr nahe ist. Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft kann entweder durch die Gewichtsmenge des in einer Raumeinheit (cbm) enthaltenen Wasserdampfes ausgedrückt werden (*absolute Feuchtigkeit*), oder dadurch, daß man angiebt, wieviel Prozent die in der Luft vorhandene Dampfmenge von derjenigen beträgt, welche mit Dampf gesättigte Luft von derselben Temperatur enthält (*relative Feuchtigkeit*).

Wird mit Dampf gesättigte Luft abgekühlt, so verdichtet sich ein Teil des Dampfes und scheidet sich in Form feiner Wassertröpfchen aus. Die Temperatur, bei welcher diese Ausscheidung beginnt, (bei welcher also die vorhandenen Dämpfe gesättigt sein würden) heißt **Taupunkt**.

Instrumente, welche die Zu- und Abnahme der Luftfeuchtigkeit anzeigen, ohne eine genaue Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes zu gestatten, werden **Hygroskope**<sup>1)</sup> genannt. Der wesentlichste Teil derselben ist ein organischer Körper, welcher leicht Feuchtigkeit aufsaugt und sich dadurch verlängert oder verkürzt, je nachdem er ungedreht oder gedreht ist, z. B. entfettetes Menschenhaar, Darmsaiten (in den sogen. Wetterhäuschen), Fruchtgrannen vom Geranium u. s. w. — Instrumente zur genauen Bestimmung des Wasserdampfgehaltes der Luft heißen **Hygrometer**.

1. Das **Haarhygrometer**, erfunden von *Saussure*. (Fig. 461 zeigt die verbesserte Einrichtung von *Koppe*.) Bei demselben dient die Verlängerung oder Verkürzung eines entfetteten ausgespannten Menschenhaares zur Bewegung eines Zeigers, der auf einem getheilten Kreisbogen die relative Feuchtigkeit in Prozenten anzeigt.

Fig. 461.



zogenen Metallspirale

Aus der am Instrumente abgelesenen relativen Feuchtigkeit und der Temperatur der Luft läßt sich mittelst einer besonderen *Reduktionsscheibe* der Taupunkt leicht bestimmen. Die Einteilung der Skala wird durch einen Versuch erhalten und bedarf einer öfteren Prüfung.

Außer anderen Haarhygrometern von mehr oder weniger verschiedener Einrichtung werden neuerdings auch Hygrometer empfohlen, bei denen z. B. die Bewegung einer mit einer hygroskopischen Membran über-

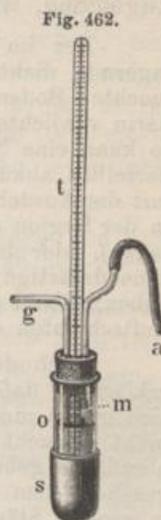
den Feuchtigkeitsgrad anzeigt.

<sup>1)</sup> ὑγρός (hygros), feucht.

2. Das **Kondensationshygrometer** beruht auf der Bestimmung des Taupunktes. Fig. 462 zeigt die Einrichtung, welche dem älteren Kondensationshygrometer von *Daniell* durch *Regnault* gegeben worden ist.

Ein aus poliertem Silber bestehendes Gefäß (s) verschließt eine bis zur Höhe o mit Äther gefüllte Glasröhre, in welche ein Thermometer (t) eingeführt ist. Durch den Kork, welcher die Glasröhre umschließt, ist noch eine mit ihrer Mündung in den Äther eintauchende offene Röhre (g) und eine mit einem Gummischlauch (a) verbundene Röhre geschoben, deren Mündung (m) sich oberhalb des Äthers befindet.

Wird durch eine mit dem Schlauche verbundene Saugvorrichtung Luft und Ätherdampf entfernt, so bringt die durch das Rohr (g) eindringende Luft den Äther zum raschen Verdunsten und kühlt das ganze Gefäß bis zum Taupunkt ab, sodafs sich auf dem Silber ein Niederschlag von Tau zeigt.



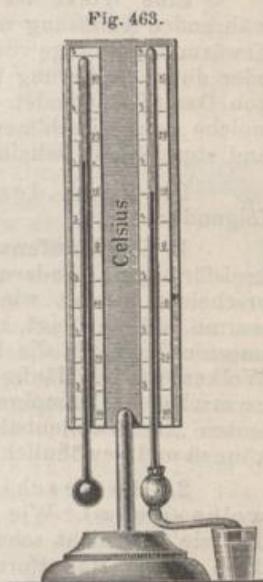
3. Das **Psychrometer**<sup>1)</sup> von *August* (Fig. 463) besteht aus 2 in Zehntel-Grade geteilten Thermometern; die Kugel des einen ist mit dünnem Zeuge überzogen, von welchem ein Docht in ein mit Wasser gefülltes Gefäß hinabreicht.

Ist die Luft mit Wasserdämpfen gesättigt, so zeigen beide Thermometer die gleiche Temperatur an. Ist die Luft nicht gesättigt, so verdunstet Wasser und zwar um so mehr, je trockener die Luft ist. Dadurch sinkt die Temperatur des befeuchteten Thermometers und aus dem Temperaturunterschied läst sich nach besonderen Tabellen der Feuchtigkeitsgehalt und Taupunkt der Luft finden.

**Atmosphärische Niederschläge.** Die Form der atmosphärischen Niederschläge ist nach der Art ihrer Entstehung verschieden. Sinkt die Temperatur der Erdoberfläche bis unter den Taupunkt der untersten Luftschicht herab, so entsteht, je nachdem der Taupunkt über oder unter dem Gefrierpunkte liegt, **Tau** oder **Reif**, und zwar um so mehr, je größer die Wärmestrahlung und je feuchter die Luft ist.

Eine starke Ausstrahlung bei grossem Dampfgehalte der Luft ist den Küstenländern der heißen Zone eigentümlich. Dort ist daher die Taubildung am bedeutendsten, während da, wo die Luft sehr trocken ist (in Wüsten und Steppen), der Tau fehlt. An der Westküste von Peru ersetzt der Tau den beinahe ganz fehlenden Regen. Da durch die Kondensation des Wasserdampfes Wärme erzeugt wird (§ 120), so wirkt die Taubildung der weiteren Abkühlung des Bodens entgegen. Hieraus ergibt sich die praktische Regel, dafs im allgemeinen kein Nachtfrost zu erwarten ist, wenn der Taupunkt abends über 0° liegt.

Findet die Kondensation des Wasserdampfes nicht an den Gegenständen der Erdoberfläche, sondern frei in der Luft (oder auch an



<sup>1)</sup> ψυχρός (psychrós), kalt.

den Staubteilchen derselben) statt, so entstehen sehr kleine Wasserkügelchen, welche sich zu **Nebel** oder zu **Wolken** anhäufen.

Der im Frühling und Herbst häufig über Gewässern und Wiesengründen lagernde dichte *Nebel* entsteht dadurch, daß von dem wärmeren Wasser oder feuchten Boden Wasserdämpfe in die darüber liegende kühlere Luft aufsteigen und darin verdichtet werden. Ist die Erdoberfläche durch Strahlung genügend erkaltet, so kann eine Nebelbildung dadurch eintreten, daß wärmere feuchte Luft sich über derselben abkühlt. — *Wolken* entstehen namentlich durch die Abkühlung, welche mit der Ausdehnung aufsteigender feuchter Luft verbunden ist (vorwiegend in der Region der Kalmen, aber auch in den gemäßigten Zonen an heißen Sommertagen), oder durch Mischung feuchter Luftmengen von verschiedener Temperatur. Eine derartige Mischung wird stets eine Kondensation von Wasserdampf zur Folge haben, sobald die Luft dem Sättigungszustande nahe ist, was häufiger in den höheren Luftschichten der Fall sein wird.

Nach dem über die Vorgänge bei der Wolkenbildung Angeführten ist es erklärlich, daß dieselbe vorzugsweise in den oberen Schichten der Atmosphäre vor sich gehen muß und daß ein eigentlicher Unterschied zwischen *Nebel* und *Wolken* nicht gemacht werden kann: Der *Nebel* ist nichts als eine unmittelbar an der Erdoberfläche gebildete Wolke, während eine *Wolke*, von unten auf einem Berggipfel gesehen, dem Bergsteiger oben als *Nebel* erscheint. Bei der *Nebelbildung*, wie sie in großen Städten besonders im Winter häufig ist („Londoner *Nebel*“), spielen die der Luft beigemischten Staub- und Rußteilchen eine wesentliche Rolle.

Eine *Wolke* ist kein fertiges Gebilde, sie unterliegt vielmehr einer fortwährenden Auflösung und Umbildung, indem die bereits verdichteten Dämpfe durch Erwärmung (infolge von Strahlung oder Zusammenpressung) wieder gasförmig werden oder durch Berührung mit einem kälteren Gegenstande eine beständige Ausscheidung von Dampf stattfindet. Ein ausgezeichnetes Beispiel dieser Art bieten die *Wolken*, welche sich bei schönem Sommerwetter tagsüber an freistehenden Berggipfeln bilden und stundenlang scheinbar unbeweglich an denselben haften.

Die Form der *Wolken* ist sehr verschieden. Einige Hauptformen sind folgende:

1. Die **Haufenwolken** (*cumuli*), d. h. *Wolken* mit scharf begrenzten halbkreisförmigen Rändern auf ziemlich breiter Grundfläche. Übereinander getürmt erscheinen sie oft wie ferne Schneegebirge. Sie entstehen dadurch, daß feuchtwarme Luft aufsteigt, und sind daher in den tropischen Gegenden die häufigsten, in unseren Gegenden die besonders an heißen Sommertagen gewöhnlich vorkommenden *Wolkenformen*. Häufig gehen dieselben auch in *Gewitterwolken* über (*Gewittercumulus*, „*Champignonform*“), während sie als eigentliche *cumuli* (von den Seeleuten „*Baumwollenballen*“ genannt) als Vorboten guten Wetters angesehen werden können und gewöhnlich an der Rückseite barometrischer Minima auftreten (Seite 332).

2. Die geschichtete *Haufenwolke* (*cumulo-stratus*) und die *Regenwolke* (*nimbus*). Wie überhaupt die *Wolkenformen* so viele Zwischenstufen zeigen, daß sie sich nicht scharf trennen lassen, so geht auch die *Haufenwolke* häufig in diese zweite Hauptform über. Die *Regenwolken* sind dunkle, blauschwarze, bisweilen bis zur Erdoberfläche herabsinkende *Wolkenmassen* mit unbestimmten, unregelmäßigen Umrissen und bedecken gewöhnlich große Teile des Himmels.

3. Als *Schichtwolke* (*stratus*) bezeichnet man niedrige, dunkelgraue *Wolkenbänder*, welche nahe über dem Horizonte lagern.

4. Die *Federwolken* (*cirri*) sind langgestreckte, Bändern oder Federn ähnliche *Wolken*, die in bedeutender Höhe (3000—3000 m) am Himmel schweben. (Vorboten regnerischen Wetters, Seite 332.) Am Horizonte erscheinen sie rot gefärbt. Oft zerteilen sie sich in kleine, rundliche Häufchen und bilden dann die sogen. *Schäfchen*. Es ist anzunehmen, daß die *Federwolken* aus feinen Eisnadeln bestehen.

Tritt in den *Wolken* eine rasch fortschreitende Abkühlung ein, so entsteht bei einer Temperatur über 0° **Regen**, unter 0° **Schnee**. Durch die Häufigkeit und Menge der dem Boden zugeführten atm. Niederschläge

wird die Fruchtbarkeit eines Landes und der klimatische Charakter desselben wesentlich bedingt. Die Häufigkeit des Regens pflegt man durch die Anzahl der Tage anzugeben, an denen es innerhalb eines Monats oder Jahres in einer bestimmten Gegend geregnet oder geschneit hat. Als **Regenhöhe** bezeichnet man die Höhe, welche das Regenwasser oder das durch Schmelzen des Schnees entstehende Wasser auf dem Boden einnehmen würde, wenn durch Abfluß oder Verdunsten nichts verloren ginge.

Über die selteneren Niederschläge, welche für die Meteorologie von untergeordneter Bedeutung sind, wie Hagel, Graupeln u. s. w., siehe §§ 36 und 118.

**Regenmesser** (Fig. 464). Zur Messung des Regens und Schnees dienen Regenmesser, Blechgefäße, welche nahe über dem Boden frei aufgestellt werden und aus 2 aufeinander befestigten Cylindern mit trichterförmigem Boden bestehen. Der obere Cylinder dient zum Auffangen, der untere, durch einen Hahn verschließbare Cylinder zur Ansammlung des Wassers (oder aufgetauten Schnees). Das Wasser läßt man in ein Maßglas abfließen, an welchem man die Regenhöhe (nach cm gemessen) unmittelbar ablesen kann.

Fig. 464.



Die größte Regenmenge auf der Erde kommt da vor, wo täglich warme, dampferfüllte Luftmassen aufsteigen und sich in der Höhe abkühlen, oder wo hohe Gebirgszüge von feuchtwarmen Winden getroffen werden, da Gebirge die Winde zum Emporsteigen zwingen, wobei letztere sich abkühlen und somit Wasserdampf ausscheiden müssen. Infolgedessen haben Gebirgsketten eine stärkere Bewölkung und größere Regenmenge als ihre Umgebung, und besonders gilt dies von der den feuchten Winden zugewandten Seite (der sogen. Luvseite). Im mittleren Europa ist dies die SW.-, W.- und NW.-Seite und deshalb zeigen auch die Gebirge (z. B. Harz, Thüringerwald, Schwarzwald, Riesengebirge) auf dieser Seite eine stärkere Bewölkung und größere Niederschlagsmenge als auf der vom Winde abgewandten Seite (der Leeseite). Durch sehr hohe Gebirgswälle kann den Winden ihre Feuchtigkeit so vollständig entzogen werden, daß dahinterliegende Landstrecken regenlos bleiben und dadurch zu Wüsten werden (Wüste Gobi, Kalahari), während andererseits auch das beständige Wehen trockener Passatwinde den Wüstencharakter bedingen kann (Wüstengürtel von der Sahara bis nach Persien).

Man teilt die Erdoberfläche in bestimmte Regenzone. In der Zone des beständigen Regens (**Kalmenzone**) finden fast ohne Ausnahme täglich, besonders nachmittags, heftige Regengüsse mit Gewitterbildung statt; nachts ist der Himmel wieder heiter.

In der Zone der Sommerregenzeiten (**tropische Zone**), die zu beiden Seiten des Kalmengürtels in den Gebieten der Passatwinde (ungefähr bis zum 15. Grade) liegt, giebt es zwei Regenzeiten, welche um so schneller aufeinander folgen, je weiter die Orte vom Äquator entfernt sind. Zu den Zeiten der beiden höchsten Sonnenstände weht nämlich der Passat nur sehr schwach, und es findet dann täglich morgens ein starkes Aufsteigen feuchtwarmer Luft statt, worauf ähnlich wie in der Kalmengegend Gewitterregen folgt. In der kurzen sommerlichen Zwischenzeit wird der Passat wieder etwas stärker und der Regen nimmt ab, während in der langen winterlichen Zwischenzeit der Passat ungeschwächt weht und keine Wolke am Himmel aufsteigt. Näher dem Wendekreis folgt eine einfache Sommerregenzzeit, da die Zenithstände der Sonne zeitlich näher zusammenliegen.

Die darauf folgende Zone des Winterregens (**subtropische Zone**, etwa bis zum 40. Grade) wird in ihrem südlichen Gebiete (z. B. Nordafrika, südlicher Teil von Portugal und Spanien, Unteritalien u. s. w.) im Winter von dem herabsinkenden

feuchten Äquatorialstrome beherrscht, sodass hier nur Winterregen entsteht. In den nördlichen Gebieten dieser Zone streift jener Wind die Länder zweimal, nämlich im Frühling und im Herbst. Infolgedessen bringen diese beiden Jahreszeiten dort den meisten Regen. Der Sommer ist in der ganzen subtropischen Zone trocken und der Himmel fast immer heiter, da dann nördliche Winde vorherrschen.

In der Zone der veränderlichen Niederschläge, in welcher wandernde Luftdruck-Minima und Maxima mit ihren Windsystemen das Wetter beherrschen, sind die Niederschläge gleichmäßiger auf das ganze Jahr verteilt. In Europa erhalten die westlichen Küstenländer die meisten Niederschläge (bis 300 cm jährlich, am meisten Schottland und Norwegen) und zwar besonders im Herbst durch westliche Winde, während in den östlichen Ländern Europas der meiste Regen im Sommer durch aufsteigende Luftströme entsteht (am Ural nur 40 cm). In Deutschland nehmen die Niederschläge von W. nach O. zunächst ab, mit der Annäherung an die Gebirge jedoch wieder zu und an der östlichen Seite derselben wiederum ab. Für die klimatischen Verhältnisse Deutschlands und der Alpenländer sind folgende Zahlen bemerkenswert: Münster 69 cm, Berlin 59 cm, Posen 51 cm; — Hannover 57 cm, Brockengipfel mindestens 190 cm, Quedlinburg 55 cm, Gegend der unteren Saale unter 50 cm; — Leipzig 54 cm; München 81 cm, Salzburg 116 cm, Tolmezzo in den Dolomiten 244 cm. — Die Regenhäufigkeit ist in Deutschland am größten im Harzgebirge und auf dem erzgebirgischen Plateau, am geringsten in einigen Gebieten des nördlichen Flachlandes (Gegend von Thorn, Riesa an der Elbe, Bernburg an der Saale).

In der kalten Zone wie auch in den Hochgebirgen wärmerer Klimate fällt anstatt des Regens vorwiegend Schnee, welcher sich im Gebirge zu größeren Massen ansammelt (Firn) und sich nach und nach in körniges Eis umwandelt (Gletscher, § 118).

Die Erfahrung hat gelehrt, dass auch die Wälder für die klimatischen Verhältnisse eines Landes von großer Bedeutung sind. Waldungen verlangsamen das Eindringen und Abfließen der atm. Niederschläge und erhöhen dadurch die relative Luftfeuchtigkeit einer Gegend. Da bewaldete Flächen sich langsamer erwärmen und abkühlen als der kahle Boden, so können in waldreichen Gegenden auch Temperaturgegensätze sich nicht in dem Maße entwickeln wie in waldlosen Gegenden. Man kann daher die Wälder wie die Meere als klimatische Regulatoren bezeichnen.

**Übungsstoff.** 1. Wodurch werden in der Natur im großartigsten Maße Temp.-Gegensätze gemildert? (Meer und Atm. zu berücksichtigen!) — 2. Wo sich Wolken bilden, muss die Lufttemp. steigen; wie kann dadurch die Vergrößerung der Wolke zunächst gehemmt und ein Aufsteigen von Luft und Wolke bewirkt werden? — 3. Warum entstehen bei SW.-Wind in Deutschland im allgemeinen im Winter leichter Wolken als im Sommer? — 4. Erkläre die Abnahme der Niederschläge in Deutschland von W. nach O. — 5. Wie erklärt sich der Regenreichtum von Schottland und Norwegen? — 6. Durch den Südostpassat wird das nach den Anden hin ansteigende Gebiet der südlichen Nebenflüsse des Amazonenstromes mit in den Regengürtel der Kalmen hineingezogen. Erkl.! — 7. Wie erklärt es sich, dass ganz Vorderindien a. nur eine Hauptregenzeit hat, obgleich es in niederen Breiten der Passatregion liegt, b. eine bedeutend größere Regenmenge hat, als sonst in jenen Breiten vorkommt? — 8. Im Himalaya wurde in etwa 1300 m Meereshöhe eine jährliche Regenmenge von 1420 cm gemessen. Erkläre die auffällige Größe dieser Niederschlagsmenge im Zusammenhange mit der Ersch., dass die nördlich vom Himalaya gelegene Wüste Gobi fast regenlos ist! — 9. Warum kann beim Regenmesser (Fig. 464) von dem angesammelten W. nur äußerst wenig durch Verdunstung verloren gehen? — 10. Die obere Öffnung eines Regenmessers betrage  $\frac{1}{50}$  qm, das darin an einem Tage angesammelte W. 20 ccm. a. Wv. mm beträgt dann die Regenhöhe? b. Wie muss die Teilung des Messglases eingerichtet sein (auf wv. ccm muss 1 Teilstrich kommen), wenn an demselben die wirkliche Regenmenge direkt abgelesen werden soll?