

1665. Der Italiener Grimaldi entdeckt die Beugung der Lichtstrahlen.
 1666. Newton weist die verschiedene Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen nach. Derselbe führt die Farbenercheinungen dünner Blättchen auf bestimmte Gesetze zurück und verbessert die Einrichtung des Spiegeltelescopes.
 1669. Bartolin in Kopenhagen entdeckt die doppelte Brechung des Lichtes im Kalkspathe.
 1675. Der dänische Astronom Rømer bestimmt die Geschwindigkeit des Lichtes.
 1690. Der Holländer Huyghens stellt die Vibrationshypothese auf und stellt Untersuchungen über die doppelte Brechung des Lichtes an.
 1738. Lieberkühn erfindet das Sonnenmikroskop.
 1757. Dollond in England verfertigt das erste achromatische Fernrohr.
 1773. Scheele in Schweden entdeckt die chemischen Wirkungen des Lichtes.
 1800. Young in England erklärt die Farbenercheinungen dünner Blättchen durch die Interferenz der Lichtwellen.
 1802. Wollaston und Ritter finden fast gleichzeitig, daß die chemischen Wirkungen des prismatischen Farbenbildes sich noch über das äußerste Violett hinaus erstrecken, und ohngefähr um dieselbe Zeit entdeckt Herschel, daß die thermischen Wirkungen noch über die äußerste Grenze des Rothes hinausreichen.
 1808. Malus in Frankreich entdeckt die Polarisation des Lichtes.
 1815. Fresnel in Frankreich vervollständigt die Theorie der Lichtwellen und gibt die befriedigende Erklärung der Beugungsphänomene.
 1820. Fraunhofer bringt die achromatischen Fernröhre zu ihrer gegenwärtigen Vollkommenheit. Derselbe entdeckt die dunklen Linien im prismatischen Farbenbilde und stellt, so wie Herschel in England, Untersuchungen über die Beugung an.
 1838. Daguerre in Frankreich und Talbot in England erfinden die Lichtbilder und Wheatstone in England das Stereoscop.
 1845. Faraday in England bewirkt durch Magnetismus eine Drehung der Polarisationsebene eines polarisirten Lichtstrahles.
 1852. Stokes in England untersucht die Erscheinungen der Fluorescenz.
 1860. Kirchhoff und Bunsen erfinden die Spectralanalyse.

Behnter Abschnitt.

Von der Wärme.

A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

§. 229. Von der Wärme im allgemeinen.

Von dem Wesen der Wärme wird weiter unten (§. 252) die Rede sein; wir handeln zunächst von den Wirkungen derselben. Die bekanntesten dieser Wirkungen sind die Einwirkung auf unser Gefühl, die Ausdehnung und die Veränderung des Aggregatzustandes der Körper.

Nach der verschiedenen Affection unseres Gefühls unterscheiden wir warme und kalte Körper. Wie wenig zuverlässig jedoch die auf die Zeugnisse des Gefühles gegründeten Urtheile sind, geht schon daraus hervor, daß wir den

nämlichen Körper, welchen wir unter gewissen Umständen warm nennen, unter anderen Verhältnissen für kalt erklären. Tauchen wir z. B. eine Zeitlang eine Hand in kaltes, die andere in warmes Wasser und hierauf beide Hände in lauwarmes Wasser, so haben wir an der einen Hand das Gefühl von Kälte, an der anderen von Wärme. — Uebrigens sollen die Benennungen kalt und warm keinen eigentlichen Gegensatz, wie positiv und negativ electrisch, sondern nur eine Verschiedenheit dem Grade nach, wie hell und dunkel, ausdrücken. Ob es einen absolut kalten Körper, d. h. einen solchen Körper, welchem alle Wärme abgeht, gibt oder geben kann, ist uns unbekannt.

X §. 230. Das Thermometer. *n*

Den Zustand der Wärme eines Körpers nennt man seine Temperatur. Unser Gefühl kann, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, uns keinen sichern Maßstab zur Beurtheilung der Temperatur eines Körpers gewähren. Man wendet daher zur Abmessung derselben besondere Instrumente an, welche man Thermometer nennt, und bei denen, wie verschieden auch übrigens ihre Einrichtung sein mag, die ungleiche Ausdehnung zweier Körper durch die Wärme, z. B. beim Quecksilberthermometer die verschiedene Ausdehnung des Quecksilbers und des Glases, als Maß der Temperatur angenommen wird.

Das Quecksilberthermometer, welches unter allen Thermometern das gebräuchlichste und zweckmäßigste ist, besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich unten in eine Kugel erweitert. Die Kugel und ein Theil der Röhre sind mit Quecksilber angefüllt, und neben der Röhre ist die in gleiche Theile eingetheilte Scale angebracht, auf welcher das Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre abgemessen wird.

Auf dieser Scale sind zunächst zwei feste Punkte verzeichnet, von denen der eine der Eispunkt, der andere der Siedepunkt genannt wird. Man bestimmt den ersteren, indem man die Kugel des Thermometers und den unteren Theil der Röhre, so weit das Quecksilber reicht, in schmelzendem Schnee oder schmelzendes Eis taucht und die Stelle auf der Röhre mit einem feinen Striche bezeichnet, bis zu welcher das Quecksilber in der Röhre reicht. Eben so findet man den Siedepunkt, indem man das Thermometer in siedendes Wasser oder besser in die Dämpfe von siedendem Wasser taucht und ebenfalls die Stelle auf der Röhre verzeichnet, bis zu welcher das Quecksilber steigt. Den Zwischenraum zwischen dem Eis- und Siedepunkte theilt man am zweckmäßigsten in hundert gleiche Theile und nennt diese Theile Grade. Eben solche Theile trägt man auch noch über dem Siedepunkte und unter dem Eispunkte auf.

Diese Eintheilung, bei welcher an den Eispunkt Null, an den Siedepunkt 100 geschrieben wird, heißt die Centesimaltheilung oder die Eintheilung nach Celsius, weil dieselbe von Celsius in Upsala zuerst (1742) eingeführt worden ist. Alle Temperaturangaben in diesem Buche beziehen sich auf diese Eintheilung. Weniger zweckmäßig ist die in Deutschland noch sehr gebräuchliche Eintheilung nach Réaumur, bei welcher an den Eispunkt ebenfalls Null, aber an den Siedepunkt 80 zu stehen kommt, desgleichen die vorzüglich in England verbreitete Eintheilung nach Fahrenheit, welcher an den Eispunkt die Zahl 32 und an den Siedepunkt 212 schreibt und also den Zwischenraum in 180 gleiche Theile theilt. Bei sämtlichen Eintheilun-

gen werden die Grade über Null mit plus (+), die Grade unter Null mit minus (—) bezeichnet.

Die Grade der einen Eintheilung können leicht in die der anderen umgewandelt werden, da 4° R. gleich 5° C. gleich 9° F. sind, wobei man jedoch nicht außer Acht zu lassen hat, daß Fahrenheit an den Eispunkt nicht Null, sondern 32 schreibt.

Hiernach sind also:

$$n^{\circ} \text{ nach C.} = \frac{4}{5}n \text{ nach R.} = \frac{9}{5}n + 32 \text{ nach F.}$$

$$n^{\circ} \text{ nach R.} = \frac{5}{4}n \text{ nach C.} = \frac{9}{4}n + 32 \text{ nach F.}$$

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

Durch das Thermometer werden wir in den Stand gesetzt, die Temperaturen zweier Körper oder des nämlichen Körpers für verschiedene Zeiten zu vergleichen. Ob aber das Steigen oder Fallen des Quecksilbers in der Röhre wirklich dem wahren Gang der Wärme proportionirt erfolgt, ob z. B. für eine Temperaturerhöhung von 20° eine doppelt so große Wärmemenge erforderlich ist, als für eine Temperaturerhöhung von 10°, ist eine Frage, auf deren Beantwortung wir weiter unten zurückkommen werden. Selbst wenn diese Frage nicht unbedingt zu bejahen sein sollte, so würde das Thermometer doch eine der wichtigsten und nützlichsten physikalischen Geräthschaften bleiben, vorausgesetzt, daß richtig construirte Thermometer auch allemal, wenn sie den nämlichen Bedingungen unterworfen werden, denselben Temperaturgrad anzeigen.

Damit dieses der Fall sei, sind bei der Anfertigung des Thermometers noch folgende Regeln zu beobachten:

1) Die Röhre muß überall gleiches Caliber, gleiche Weite, haben. Man untersucht dieses, indem man in die Röhre einen Tropfen Quecksilber bringt, welcher in derselben die Form eines kleinen Cylinders annimmt. Man überzeugt sich dann durch genaue Messungen, ob das Quecksilbersäulchen, wenn man es durch allmähliches Neigen in der Röhre von einem Ende nach dem andern gleiten läßt, beständig dieselbe Länge hat. Ist diese Länge für verschiedene Stellen der Röhre merklich verschieden, so ist die Röhre überhaupt als unbrauchbar zu verwerfen.

2) Von den beiden festen Punkten bietet die Bestimmung des Eispunktes keine Schwierigkeit dar. Wir erinnern nur noch, daß man denselben nicht im frierenden Wasser, sondern im schmelzenden Schnee oder Eise feststellt, weil Wasser, wie wir weiter unten noch ausführlicher zeigen werden, mehrere Grade unter Null abgekühlt werden kann, ohne zu frieren, während dagegen die Temperatur des schmelzenden Eises eine feste ist. Jedesmal, wenn man das Thermometer in schmelzenden Schnee oder Eis taucht, sinkt das Quecksilber wieder an die nämliche Stelle. — Dieses ist jedoch bei dem Siedepunkte nicht unbedingt der Fall, indem derselbe auch von dem Luftdrucke abhängt. Das Wasser siedet nämlich bei stärkerem Luftdrucke bei einer höheren Temperatur als bei niedrigerem Luftdrucke. Der Siedepunkt kommt daher bei einem hohen Barometerstand höher als bei niedrigem Barometerstande zu liegen. (Bei 29" Barometerstand ungefähr 1° höher, bei 27" aber 1° niedriger als bei 28".) Will man daher vergleichbare Thermometer herstellen, so muß der Siedepunkt entweder bei dem nämlichen normalen Barometerstande bestimmt sein, als welchen man gewöhnlich 28 Pariser Zoll annimmt; oder der Künstler bestimmt den Siedepunkt bei einem beliebigen

Barometerstände, und indem er diesen auf der Rückseite der Scale bemerkt, überläßt er dem Physiker, welcher sich dieses Thermometers bedient, an den unmittelbaren Angaben desselben die erforderlichen Correctionen anzubringen.

Gewöhnlich macht man die Thermometer luftleer, indem man durch Erwärmung das Quecksilber bis in die Spitze treibt und diese dann rasch zuschmilzt. Ohne dies würde man Gefahr laufen, daß beim Steigen des Quecksilbers in die Röhre durch den Gegendruck der comprimierten Luft das sehr dünne Glas der Kugel zersprengt werden würde. Auch wird ein Thermometer unrichtig, wenn bei einer Erschütterung Luft zwischen das Quecksilber kommt. — Besonders bei den luftleeren Thermometern geschieht es häufig, daß der Nullpunkt mit der Zeit etwas in die Höhe rückt. Man schreibt dieses dem Umstande zu, daß das sehr dünne Glas der Kugel durch den äußeren Luftdruck etwas zusammengedrückt wird. Man pflegt daher die mit Quecksilber gefüllte Röhre, nachdem man dieselbe luftleer gemacht und zugeschmolzen hat, einige Monate liegen zu lassen, ehe man den Eispunkt bestimmt. Ueberhaupt thut man wohl, an einem Thermometer von Zeit zu Zeit die beiden Normalpunkte zu controliren.

(Fig. 312.)



Das Thermometer soll ums Jahr 1605 von Cornelius Drebbel in Holland erfunden worden sein. Drebbel's Thermometer war jedoch von unseren gegenwärtigen Thermometern noch sehr verschieden. Es bestand nämlich aus einer im oberen Theile mit Luft, im unteren Theile mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllten Röhre B (Fig. 312), welche oben in eine ebenfalls mit Luft gefüllte Kugel A endete, mit dem unteren Ende aber in ein mit der nämlichen Flüssigkeit gefülltes Gefäß C tauchte. Neben der Röhre befand sich eine willkürlich getheilte Scale, an welcher das Fallen oder Steigen der Flüssigkeit in der Röhre, je nachdem bei vermehrter oder verminderter Wärme sich die Luft in der Kugel ausdehnte oder zusammenzog, gemessen wurde.

Diese sehr unvollkommene Vorrichtung, deren Gang nicht allein durch die Wärme, sondern auch durch andere Umstände, besonders den Luftdruck, bestimmt wurde, ließ gar keine vergleichbaren Resultate zu, da die festen Punkte noch gänzlich fehlten.

Die Mitglieder der Akademie zu Florenz gaben zuerst dem Thermometer die gegenwärtige Einrichtung, wendeten aber als flüssigen Körper nicht Quecksilber, sondern Weingeist an; auch gelang es ihnen, ziemlich übereinstimmende Thermometer herzustellen, indem sie als den einen festen Punkt die durch das ganze Jahr nahe gleiche Temperatur eines tiefen Kellers annahmen und im übrigen die Theilung nach einem Normalthermometer regulirten, wonach denn freilich nur aus Florenz übereinstimmende Thermometer hervorgehen konnten.

Erst später wurden besonders durch Fahrenheit in Danzig und Réaumur in Frankreich die jetzt gebräuchlichen festen Punkte eingeführt. Es wird erzählt, daß Fahrenheit nicht den Eispunkt, sondern die um 32 seiner Grade tiefer liegende Temperatur deshalb mit Null bezeichnet habe, weil er die in dem strengen Winter des Jahres 1709 erlebte Kälte, bei welcher das Thermometer um 32 seiner Grade ($17\frac{7}{9}$ Centesimalgrade) unter den Eispunkt herabging, als die möglich größte Kälte und den Nullpunkt der Scale als den eigentlichen Nullpunkt der Wärme angesehen habe. Réaumur theilte seine Scale in 80 gleiche Theile, weil er gefunden hatte, daß 1000 Theile des von ihm zur Füllung der Thermometer angewendeten Weingeistes bei einer Erwärmung vom Eis- bis zum Siedepunkte des Wassers sich um 80 Theile ausdehnten. — Man sieht indeß leicht ein, daß die Zahl der Grade, in welche man den Zwischenraum zwischen den beiden festen Punkten theilt, an sich durchaus willkürlich ist; man wählt daher am zweckmäßigsten die bequeme Zahl 100.

Fahrenheit füllte Thermometer mit Quecksilber, Réaumur dagegen mit Weingeist. Im folgenden Paragraphen werden wir sehen, daß das Quecksilber zur Füllung der Thermometer vor allen anderen Flüssigkeiten den Vorzug verdient.

Nach den von Thomson (1850) angestellten Untersuchungen ist auch der Nullpunkt (Eispunkt) des Thermometers von dem Luftdrucke nicht ganz unabhängig. Bei einem Drucke von 8 Atmosphären wird derselbe ohngefähr um $\frac{1}{19}^{\circ}$ erniedrigt.

*§. 231. Ausdehnung der luftförmigen, flüssigen und festen Körper durch die Wärme.

Daß bei zunehmender Wärme die Körper ihre Volumen vergrößern, bei abnehmender vermindern, ist ein durch eine Menge bekannter Erfahrungen bestätigter Satz. Eine metallene Kugel, welche bei der gewöhnlichen Temperatur durch einen Ring eben hindurchgeht, geht nicht mehr durch, wenn man dieselbe erhitzt; der um das hölzerne Rad gelegte glühende, eiserne Reifen zieht sich bei der Abkühlung so zusammen, daß er an das Holz fest anschließt; das Quecksilber steigt oder fällt in dem Thermometer bei zu- oder abnehmender Wärme; das nämliche thun alle anderen Flüssigkeiten, wenn man eine Thermometeröhre mit denselben füllt; eine mit Luft gefüllte, fest zugebundene Blase platzt, wenn man sie in die Nähe des geheizten Ofens bringt u. dgl. m.

Die Größe der Ausdehnung, welche verschiedene Körper bei gleichen Temperaturzuwachsen erfahren, ist sehr verschieden. Am stärksten dehnen sich die luftförmigen, weniger stark die flüssigen, am schwächsten die festen Körper aus. Während verschiedene feste oder flüssige Körper sich bei gleichen Zuwachsen der Temperatur weder gleich stark noch nach gleichen Verhältnissen ausdehnen, gilt in Hinsicht der luftförmigen Körper das von Gay-Lüffac aufgefundenen Gesetz, daß die Größe der Ausdehnung für alle Gase (nahe) dieselbe ist. Dies gilt jedoch nicht mehr, wenn bei verminderter Temperatur oder verstärktem Drucke ein gasförmiger Körper in den flüssigen Zustand übergeht, sondern nur so lange, als derselbe von diesem Uebergange noch weit entfernt ist. Für die atmosphärische Luft, welche auch in der größten Kälte und unter dem stärksten, bis jetzt angewendeten Drucke nicht flüssig wird, beträgt die Größe dieser Ausdehnung für eine Erwärmung von Null bis 100 Grad bei gleichbleibendem Drucke ohngefähr ein Drittel (genauer 0,3665) des ursprünglichen Volumens. Ein Volumen Luft dehnt sich daher ohngefähr in den doppelten Raum aus, wenn dasselbe um 300° (genauer 273°) erwärmt wird.

Zur Ermittlung dieser Größe kann das folgende von Gay-Lüffac angewendete Verfahren dienen. An eine überall gleichweite Thermometeröhre wird eine Kugel angeblasen und zunächst das Verhältniß zwischen dem Raumesinhalte der Kugel und dem Raumesinhalte der Röhre dadurch ermittelt, daß man die Kugel und die Röhre bis zu verschiedenen Höhen mit Quecksilber füllt und auf sorgfältigste abwägt, wobei man natürlich das Gewicht des Glases in Abrechnung bringt. Nach diesen Vorbereitungen läßt man die

(Fig. 313.)



(durch Chlorcalcium) von Wasserdämpfen möglichst befreite, trockene atmosphärische Luft oder eine andere Gasart in die Röhre und in die Kugel eintreten und sperrt dieselbe von der äußeren Luft durch ein kleines Quecksilberfäulchen a (Fig. 313) ab. Bringt man dann die Kugel und die Röhre in horizontaler Lage einmal in schmelzenden Schnee und das anderemal in die Dämpfe von siedendem Wasser und bemerkt in beiden Fällen den Stand des Quecksilberfäulchens in der Röhre, so ergibt sich hieraus und aus dem bekannten Verhältnisse zwischen dem Raumesinhalte der Röhre und der Kugel die Ausdehnung der Luft zwischen 0° und 100°. Will man dieselbe für andere Temperaturen finden, so taucht man Kugel und Röhre in Wasser, welches man bis zu den fraglichen Temperaturen erwärmt hat,

die man durch ein in das Wasser eingetauchtes Quecksilberthermometer mißt. Die so erhaltenen Resultate bedürfen eigentlich noch einer Correction wegen der Ausdehnung des Glases; diese Correction ist jedoch sehr klein, da die Ausdehnung des Glases, verglichen mit der der Luft, nur unbedeutend ist.

Die so eben beschriebene und in Fig. 313 abgebildete Vorrichtung kann den Namen eines Luftthermometers erhalten. Dieses Thermometer hat die Unbequemlichkeit, daß seine Angaben eine vom Barometerstande abhängende Correction bedürfen, indem der Stand des Quecksilbersäulchens in der Röhre nicht bloß durch die Temperatur der eingeschlossenen Luft, sondern auch durch die Größe des Druckes der äußeren Luft bestimmt wird.

Wie wir gesehen haben, dehnen sich alle Gase, so lange sie von dem Uebergange in den flüssigen Zustand sehr entfernt sind, für gleiche Temperaturzuwächse (fast) gleich stark aus. Dies hat zu der Annahme geführt, daß die Ausdehnung der Gase dem wahren Gange der Wärme proportional erfolge. Diese Ansicht gewinnt noch an Wahrscheinlichkeit dadurch, daß auch die festen und flüssigen Körper für Temperaturen, welche von dem Schmelz- oder Siedepunkte derselben weit abstehen, sich, wenn auch weniger stark, doch nach demselben Verhältnisse wie die Gase ausdehnen, während diese Ausdehnungen mehrentheils ganz unregelmäßig erfolgen, wenn die Temperatur eines Körpers sich dem Punkte nähert, wo die Aenderung des Aggregatzustandes eintritt. Da nun bei den permanenten Gasen dieser Grund der Unregelmäßigkeit (Aenderungen des Aggregatzustandes) ganz wegfällt, so gewinnt die Ansicht die größte Wahrscheinlichkeit, daß die für alle Gase (fast) gleiche Ausdehnung dem wahren Gange der Wärme entspricht. Dem zufolge sieht man das Luftthermometer als das eigentliche Normalthermometer an und läßt die Angabe aller anderen Thermometer nur in so weit als richtig gelten, als sie mit dem Luftthermometer übereinstimmen.

Vergleicht man zunächst das Quecksilberthermometer mit dem Luftthermometer, so findet man, daß diese Uebereinstimmung für Temperaturen zwischen dem Eis- und Siedepunkte und auch noch einige (etwa 20) Grad jenseit dieser Punkte fast vollkommen vorhanden ist.

Füllt man Thermometer mit anderen Flüssigkeiten als Quecksilber, so stimmen dieselben im allgemeinen weder unter sich noch mit dem Luftthermometer überein. Dies ist der Grund, warum man dem Quecksilber vor allen anderen Flüssigkeiten zur Füllung der Thermometer den Vorzug gibt. Für sehr hohe Kältegrade jedoch wird das Quecksilberthermometer unbrauchbar, da die Ausdehnungen des Quecksilbers in der Nähe seines Schmelzpunktes (-39°) unregelmäßig werden. Man bedient sich für dergleichen niedrige Temperaturen des Weingeistthermometers, indem der wasserfreie Weingeist, absoluter Alkohol, auch bei den höchsten Graden künstlicher Kälte nicht fest wird.

Eben so weicht für Temperaturen, welche den Siedepunkt erheblich übersteigen, das Quecksilberthermometer vom Luftthermometer ab; man muß daher bei genauen Beobachtungen hoher Temperaturen sich des Luftthermometers bedienen.

Das so eben erwähnte Verfahren, Thermometer mit verschiedenen Flüssigkeiten zu füllen und den Gang derselben mit dem Luft- oder Quecksilberthermometer zu vergleichen, kann auch dazu dienen, wenn man das Verhältniß zwischen dem Raumesinhalte der Kugel und der Röhre kennt, die absolute

Größe der Ausdehnung der angewendeten Flüssigkeit innerhalb bestimmter Temperaturen zu ermitteln, wenn man zugleich auf die Ausdehnung des Glases die nöthige Rücksicht nimmt.

Bei den festen Körpern unterscheidet man die lineare und die kubische Ausdehnung. Die erstere zeigt an, um wie viel sich die Länge oder eine andere Dimension, die letztere, um wie viel sich das Volumen (der Kubikinhalt) eines Körpers vergrößert hat. Man findet die lineare Ausdehnung, aus welcher sich dann auch die kubische leicht berechnen läßt, indem man einen Stab aus der zu untersuchenden Substanz in einem Wasser- oder Oelbade auf verschiedene Temperaturen erwärmt und die Länge, welche derselbe hierbei annimmt, mit großer Genauigkeit abmisst. Man hat auf diese Art gefunden, daß die Ausdehnung für verschiedene feste Körper zwar ungleich ist, daß die meisten sich jedoch zwischen 0° und 100° nahezu gleichförmig, d. h. nach demselben Verhältnisse wie die luftförmigen Körper, für höhere Temperaturen aber sich nach zunehmenden Verhältnissen ausdehnen.

Körper, welche in ihren Poren Feuchtigkeit enthalten, wie feuchter Thon, Holz, Papier u. dgl. m., ziehen sich beim Erwärmen zusammen, indem das in ihren Poren enthaltene Wasser ausgetrieben wird. Vollkommen trockenes Holz, Papier u. dgl. folgen jedoch dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung beim Erwärmen.

Tafel der linearen Ausdehnung fester Körper zwischen 0° und 100°.

Name des Körpers.	Größe bei 1000.	Name des Körpers.	Größe bei 1000.
Blei	1,00278	Marmor	1,00110
	1,00295		1,00040
Eisen (Schmiede-)	1,00113	Messing	1,00176
	1,00125		1,00214
	1,00098		1,00085
" (Guß-)	1,00115	Platin	1,00099
	1,00125		1,00195
Glas	1,00088	Silber	1,00208
	1,00123		1,00035
	1,00156		1,00050
Gold	1,00156	Tannenholz	1,00296
Kupfer	1,00172	Zinn	1,00177
	1,00169		1,00228
" gewalztes		Zinn	

Bezeichnet X die kubische, x die lineare Ausdehnung, so ist
 $1 + X = (1 + x)^3$
 wofür wir, da x eine sehr kleine Zahl bedeutet, (nach §. 225, b. der Arithmetik) ohne erheblichen Fehler setzen können

$1 + X = 1 + 3x$, also $X = 3x$,
 d. h. die kubische Ausdehnung ist dem Dreifachen der linearen Ausdehnung gleich.
 Krystallisirte Körper, wie Kalkspath, Gyps u. dgl., welche nicht zum regulären Krystallsystem gehören, erleiden nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Ausdehnung. Auf der ungleichen Ausdehnung der Metalle durch die Wärme beruhen unter andern das Compensationsspendel, von welchem schon oben (§. 40) die Rede gewesen ist, und das Metallthermometer. Dieses besteht im Wesentlichen aus einem gekrümmten oder spiralförmig gewundenen Streifen, welcher aus zwei zusammengelöteten Metallen, die eine sehr ungleiche Ausdehnung haben, wie z. B. Eisen und Messing oder Silber und Platin, zusammengesetzt ist. Bei einer jeden Temperaturveränderung erleiden die zusammengelöteten Metalle eine ungleiche Verlängerung oder Verkürzung; es muß daher auch die Krümmung des Streifens zu- oder abnehmen, wodurch ein mit demselben verbundener Zeiger, welcher über einem Bogen spielt, auf dem die Grade verzeichnet sind, in Bewegung gesetzt wird. Die Graduirung

dieser Instrumente, welche keinen wissenschaftlichen Werth haben, geschieht nach einem richtigen Quecksilberthermometer.

Nach den von dem Engländer Matthiessen (1866) angestellten Untersuchungen läßt sich der Ausdehnungskoeffizient von Metalllegirungen zwischen 0° und 100° nach der folgenden Formel berechnen: $x = \frac{cv + c'v'}{v + v'}$,

wo c und c' die Ausdehnungskoeffizienten und v und v' die Volumina der beiden componirten Metalle bezeichnen.

Ueber die Ausdehnung flüssiger Körper bemerken wir, daß das Quecksilber zwischen 0° und 200° für jeden Grad sich regelmäßig um $\frac{1}{5550}$ seines Volumens, für höhere Temperaturen aber sich nach einem stärkeren Verhältnisse ausdehnt. Wenn daher Quecksilberthermometer schon zwischen 100° und 200° von einander und von dem Luftthermometer abweichen, so hat dies in dem in höheren Temperaturen mehr oder weniger ungleichmäßigen Gange der Ausdehnung der Gläser, aus denen die Thermometer verfertigt sind, seinen Grund, ein Umstand, welcher auf das Luftthermometer darum keinen merklichen Einfluß ausübt, weil die Luft sich unvergleichlich stärker als das Glas ausdehnt. — Ueber die Ausdehnung des Wassers und des Alkohols fügen wir nach Kopp die folgende Tabelle bei, aus welcher man ersehen wird, daß die Ausdehnungen dieser Flüssigkeiten sehr ungleichförmig erfolgen.

+	Wasser.	Alkohol.	+	Wasser.	Alkohol.
0°	1,000000	1,00000	15°	1,000695	1,01585
1	0,999947		20	1,001567	1,02128
2	0,999908		25	1,002715	1,02680
3	0,999885		30	1,004064	1,03242
4	0,999877		40	1,007531	1,04404
5	0,999883	1,00523	50	1,011766	1,05623
6	0,999903		60	1,016590	1,06910
7	0,999938		70	1,022246	1,08278
8	0,999986		80	1,028581	1,09735
9	1,000048		90	1,035397	
10	1,000124	1,01052	100	1,042986	

Nach den Untersuchungen von Regnault beträgt bei einer Erwärmung von 0° bis 100° und mittlerem Drucke die Ausdehnung für

Wasserstoffgas	0,3661	Stickstoffoxydulgas	0,3719
Atmosphärische Luft	0,3665	Cyngas	0,3877
Kohlensäure	0,3710	Schwefelige Säure	0,3903

Die Ausdehnung eines Gases ist hiernach zwischen den angegebenen Grenzen um so beträchtlicher, je eher dasselbe bei verminderter Temperatur und vergrößertem Drucke in den flüssigen Zustand übergeht. (Vergleiche unten §. 239.)

Die Ausdehnung der Luft wird auch am zweckmäßigsten zur Abmessung hoher Temperaturgrade benutzt, indem anderweitige, zu diesem Zweck in Anwendung gebrachte Vorrichtungen, Pyrometer, mehrentheils ungenaue Resultate liefern. Das von Pouillet in Vorschlag gebrachte Verfahren besteht im Wesentlichen in Folgendem: — Ein luftdichtes Gefäß aus Platin wird in den Raum gebracht, dessen Temperatur man untersuchen will, und durch ein langes, ebenfalls aus Platin bestehendes Rohr mit einer graduirten, weiten, gläsernen Röhre verbunden, die mit Quecksilber angefüllt ist, durch welches die Menge der durch die Wärme aus dem Platinbehälter ausgetriebenen und in die gläserne Röhre eintretenden Luft gemessen wird.

§. 232. Abweichendes Verhalten des Wassers zwischen 0° und + 4°.

Das Wasser zeigt, (wie ein Blick auf die in der Anmerkung zum vorhergehenden Paragraphen mitgetheilte Tabelle lehrt), zwischen 0° und 4° eine höchst merkwürdige Ausnahme von dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung der Körper durch die Wärme, indem es sich beim Erwärmen von 0° bis 4° nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht, bei 4° (genauer 4,1°) seine größte

Dichtigkeit erreicht, über 4° erwärmt aber sich wieder ausdehnt, bei 8° nahe denselben Raum annimmt, also auch die nämliche Dichtigkeit hat, wie bei 0° , und dann weiter, von 8° bis 100° erwärmt, dem allgemeinen Gesetze der Ausdehnung der Körper durch die Wärme gemäß fortfährt sich auszudehnen. Eben so zieht Wasser, welches von 100° bis 4° abgekühlt wird, sich der allgemeinen Regel folgend zusammen, dehnt sich aber gegen dieselbe wieder aus, wenn es weiter von 4° bis 0° erkaltet.

Während das Wasser bei der Abkühlung von 4° bis 0° sich allmählich etwas ausdehnt, (ohngefähr um $\frac{1}{80}$ Procent), vergrößert das bis auf 0° erkaltete Wasser bei dem Uebergange in den festen Zustand sein Volumen auf einmal um eine noch weit beträchtlichere Größe (9 Procent ohngefähr).

Daß das Wasser bei dem Erstarren zu Eis sich beträchtlich ausdehnt, zeigen eine Menge bekannter Erfahrungen, welche hierin zugleich ihre Erklärung finden. Eis schwimmt auf dem Wasser, (während festes Blei in geschmolzenem zu Boden sinkt); mit Wasser gefüllte verschlossene Gefäße werden beim Frieren desselben zerrissen; selbst starke eiserne Bomben, in denen Wasser fror, wurden zersprengt; eben so werden Felsen, in deren Spalten Wasser eingedrungen ist, beim Frieren desselben auseinandergerissen, worin eine der ersten Ursachen der, wenn auch allmählich, doch beständig fortschreitenden Zertrümmerung und Verwitterung der Felsengebirge besteht. Das Straßenpflaster, Thürschwelle u. dgl. werden durch den Frost gehoben, Wasserleitungen, Mauern, Bäume u. a. m. zerrissen. — Andererseits wirkt der Frost sehr nützlich zur Auflockerung des festeren, lehmigen Erdbreichs; daher die große Erweichung lehmigen Bodens selbst bei trockener Witterung, wenn derselbe, in der Nacht gefroren, am Tage durch die Sonnenstrahlen aufthaut.

Einen nicht minder großen Nutzen gewährt das auf den ersten Blick vielleicht unerheblich scheinende, eigenthümliche Verhalten des Wassers bei dem Uebergange in den festen Zustand dadurch, daß es die Eisbildung auf Seen und Teichen — von Flüssen wird weiter unten noch besonders die Rede sein — wesentlich beschränkt. Wenn nämlich mit dem Herannahen des Winters die Lufttemperatur immer mehr sinkt, so kühlt sich auch das Wasser in Seen und Teichen und zwar zunächst an der Oberfläche ab. Da das kältere Wasser, so lange seine Temperatur 4° übersteigt, schwerer ist, als das wärmere, so sinkt die oberste abgekühlte Schicht zu Boden und wärmeres Wasser aus der Tiefe steigt empor. Indem dieser Wechsel des erkalteten und des noch wärmeren Wassers sich beständig wiederholt, folgt die Temperatur der gesammten Wassermasse, obschon das Wasser ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, der verminderten Luftwärme bis 4° ziemlich rasch und zwar natürlich um so schneller, je geringer die Tiefe des Wassers ist. Weil aber bei fortgesetztem Sinken der Lufttemperatur und der Temperatur der mit der Luft in Berührung stehenden obersten Wasserschicht unter 4° diese sich ausdehnt, also leichter wird, sinkt dieselbe jetzt nicht mehr zu Boden, sondern bleibt an der Oberfläche schweben, erkaltet endlich bis 0° und erstarrt zu Eis. Da nun das Eis eben so wie das Wasser ein sehr geringes Leitungsvermögen der Wärme besitzt, so gewähren die entstandene Eisdecke und die obersten Wasserschichten einen Schutz gegen das weitere Eindringen der Kälte in die tieferen Schichten.

Ohne die Ausdehnung des Wassers bei dem Erkalten von 4° bis 0° und dem Erstarren zu Eis würde die Verminderung der Temperatur der

gesamnten Wassermasse eines Teiches oder Sees nicht bloß bis 4° , sondern bis 0° schnell fortschreiten. Die an der Oberfläche sich bildenden Eiskrusten würden zu Boden sinken, und selbst tiefe Gewässer würden bei längere Zeit andauerndem Frostwetter bis auf den Grund zufrieren. Auf diese Art würden viele Gegenden der Erde eines der wichtigsten Nahrungsmittel, der Fische, fast ganz verlustig gehen.

Das Vorhergehende leidet jedoch auf das bewegte Wasser in Flüssen keine Anwendung, weil hier die Strömung eine so regelmäßige Ueberlagerung der Wasserschichten nach dem specifischen Gewichte verhindert, dieselben vielmehr beständig durch einander mischt und so bewirkt, daß die Erkaltung der ganzen Wassermasse von der Oberfläche bis zum Boden des Flusses nicht bloß bis 4° , sondern bis 0° fortschreitet. — Da die Krystallisation immer an festen Punkten zuerst beginnt, so bilden sich die ersten Eiskrystalle an den Ufern oder an Felsen, Pfählen u. dgl., besonders aber auf dem Boden der Flüsse, weil hier noch überdies die schwächere Strömung die Krystallbildung begünstigt. Indem die am Boden des Flusses entstandenen Eiskrystalle sich immer mehr vergrößern, werden sie auch immer stärker von dem Wasser gehoben, bis sie endlich losgerissen und nach der Oberfläche getrieben werden. Man sagt dann, der Strom treibe Grundeis. Mit der Vermehrung desselben wird die Bewegung des Stromes an der Oberfläche immer mehr gehemmt, die Eismasse kommt endlich zum Stehen, die noch leeren Zwischenstellen frieren zu, und es bildet sich über den Fluß eine gegen das weitere Eindringen des Frostes schützende Eisdecke.

Wenn man Wasser durch längeres Auskochen möglichst luftleer macht und dann gegen jede Erschütterung schützt, so kann dasselbe bis zu 10 und mehr Grad unter den Eispunkt abgekühlt werden, ohne zu erstarren. Auch bei dieser Abkühlung unter 0° zieht sich das Wasser nicht zusammen, sondern fährt fort so wie bei der Abkühlung von 4° bis 0° und zwar in noch stärkerem Verhältnisse sich auszudehnen. Wie nämlich Desprez (1862) gezeigt hat, ist die Ausdehnung des Wassers von 0° bis -9° über zwölfmal größer als diejenige von $+4^{\circ}$ bis 0° .

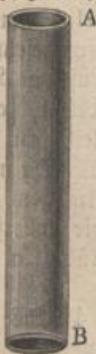
So wie Wasser dehnen sich auch einige andere Substanzen, wie z. B. geschmolzenes Wismuth und geschmolzener Salpeter, beim Erstarren aus.

§. 233. Luftzug in Schornsteinen und geheizten Zimmern.

So wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, daß Temperaturverschiedenheiten im Wasser Strömungen herbeiführen, so gilt dieses von der Luft wegen der stärkeren Ausdehnung derselben durch die Wärme in noch höherem Maße.

Als das erste Beispiel wollen wir das Aufsteigen der Luft in den geheizten Schornsteinen oder Ofenpfeifen anführen. Es sei A (Fig. 314) das obere, B das untere Ende eines senkrecht stehenden Schornsteines, in welchem die Luft durch ein unter demselben angebrachtes Feuer zu einer höheren Temperatur als die äußere Luft erwärmt worden ist. Es sei ferner a der bei A stattfindende äußere Luftdruck, (die Länge einer dem äußeren Luftdrucke das Gleichgewicht haltenden Quecksilbersäule), d das Gewicht der äußeren kalten Luftsäule AB, (die Länge einer gleich schweren Quecksilbersäule), und d' das Gewicht der im Schornstein enthaltenen erwärmten Luftsäule; dann ist $a + d$ der Druck, welchen die äußere Luft, $a + d'$ aber der Druck, welchen die in dem Schornstein enthaltene Luft bei B ausübt; demnach übertrifft der äußere Druck den inneren um $d - d'$

(Fig. 314.)



Mit einer dieser Differenz entsprechenden Kraft wird unten bei B die äußere kalte Luft in den Schornstein hineingetrieben. Mit derselben Kraft strebt sie aber auch oben bei A auszufließen. Denn da der sich nach innen fortspinnende Druck der äußeren Luft, welcher bei B gleich $a + d$ ist, durch das Gewicht d' der im Schornstein enthaltenen Luftsäule vermindert wird, so ist der Druck, mit welchem die Luft im Schornstein oben bei A in die Höhe getrieben wird, gleich $a + d - d'$; derselbe übertrifft daher den äußeren Luftdruck bei A ebenfalls um die Größe $d - d'$.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die kalte Luft unten in den Schornstein bei B ein- und die warme Luft oben bei A aus demselben ausströmt, wird also bedingt durch die Größe $d - d'$, d. h. durch die Differenz zwischen dem Gewichte der äußeren kalten und der inneren warmen Luftsäule; der Unterschied dieser Gewichte ist aber um so größer, also der Zug um so stärker, je mehr die Temperatur der Luft im Schornsteine die der äußeren Luft übertrifft, und je größer die senkrechte Höhe des Schornsteines ist, d. h. je höher der Punkt A über B liegt, Sätze, welche durch die tägliche Erfahrung vollkommen bestätigt werden.

Es erklärt sich hieraus auch, warum der nämliche Ofen stärker bei kalter als bei milder Witterung, besser bei lebhaftem als bei schwachem Feuer zieht u. dgl. m.

Sollte ein Schornstein irgend wo mit einer Seitenöffnung versehen sein, durch welche die Luft in hinreichender Menge abfließen könnte, so würde die Stärke des Zuges nicht mehr durch die Höhe des Schornsteines überhaupt, sondern nur durch die senkrechte Höhe dieser Oeffnung über dem untersten Punkte bestimmt werden.

Obgleich die Stärke des Zuges im allgemeinen mit der Höhe des Schornsteines wächst, so hat dieses doch in dem Umstande eine gewisse Grenze, daß die Luft sich um so mehr abkühlt, je höher der Schornstein ist, und daß mit der Länge des Schornsteines auch die Reibung der Luft an den Seitenwänden desselben zunimmt. Auch die Weite des Schornsteines ist nicht ohne Einfluß auf den Zug; ist derselbe zu eng, so wird für die Unterhaltung eines größeren Feuers nicht genug Luft in Bewegung gesetzt; ist aber das Feuer klein und der Schornstein zu weit, so wird die große Luftmasse in demselben nur schwach erwärmt und also nur ein schwacher Zug entstehen können. Da die Wärme der Luft im Schornsteine von unten nach oben abnimmt und die kältere Luft einen kleineren Raum einnimmt als die wärmere, so läßt man zweckmäßig die Schornsteine nach oben hin etwas schmaler zulaufen.

Ganz auf den nämlichen Gründen, welche wir so eben für den Zug in den Schornsteinen entwickelt haben, beruht auch der besonders zur Winterzeit lebhafteste Zug an den Fugen nicht dicht schließender Thüren und Fenster, durch welchen ein beständiger Wechsel der Luft im Zimmer herbeigeführt und die durch das Athmen und durch Ausdünstungen verdorbene innere Luft durch reine Luft von außen erneuert wird. Nehmen wir an, AB (Fig. 314) stelle nicht mehr einen geheizten Schornstein, sondern ein erwärmtes Zimmer, A eine nahe an der Decke, B eine nahe am Boden befindliche Oeffnung vor, so übertrifft, wie wir eben gezeigt haben, unten bei B der äußere Luftdruck den inneren, weshalb hier die kalte Luft einwärts strömt, während oben bei A der innere Luftdruck den äußeren übertrifft und daher die warme Luft des Zimmers nach außen strömt. Zwischen A und B muß

es offenbar eine Stelle geben, wo der äußere und innere Luftdruck gleiche Größe haben und folglich durch eine an dieser Stelle angebrachte Oeffnung gar keine Strömung, weder nach außen noch nach innen, stattfinden würde.

Von der Uebereinstimmung dieser theoretischen Betrachtungen mit der Erfahrung kann man sich leicht dadurch überzeugen, daß man zur Winterzeit längs der Kante einer nicht dicht schließenden Thüre eines geheizten Zimmers eine Lichtflamme langsam auf- und niederführt; diese wird unten am stärksten nach innen, oben am stärksten nach außen abgelenkt; die eine wie die andere Ablenkung nimmt mit der Entfernung vom oberen und unteren Rande immer mehr ab; ohngefähr in der Mitte gibt es eine Stelle, an welcher gar keine Ablenkung der Lichtflamme, also auch kein Zug stattfindet.

So wie wir gesehen haben, daß in einem Canale, dessen Temperatur die der äußeren Luft übertrifft, ein Strömen der eingeschlossenen wärmeren Luft von unten nach oben stattfinden muß, so wird umgekehrt in einem Canale, in dessen Innerem eine niedrigere Temperatur als außerhalb herrscht, sich die Luft in entgegengesetzter Richtung, also von oben nach unten bewegen müssen. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß aus Spalten und Höhlen an den Abhängen der Hochalpen, welche durch Höhlen und Klüfte mit den höher gelegenen, beständig mit Eis und Schnee bedeckten Theilen des Gebirges in Verbindung stehen, während des Sommers eine kalte Luft ausströmt, deren Temperatur bis auf 5°—8° herabgeht, während die Luft im Freien eine Temperatur von 15°—18° zeigt. Die Eingebornen benutzen diesen Umstand, um in jenen Höhlen Milch, Fleisch und andere Speisen längere Zeit aufzubewahren.

§. 234. Von den herrschenden Winden.

Durch die ungleiche Erwärmung der Luft werden auch die größeren Strömungen in derselben, die Winde, hervorgebracht. — Ein besonders deutliches Beispiel bieten zunächst die Land- und Seewinde dar, welche an den Küsten des Meeres, auch wohl größerer Seen, in regelmäßigem Wechsel am Tage von der See her, des Nachts von dem Lande her wehen. Im allgemeinen sind diese Winde nur schwach; sie zeigen sich am deutlichsten in der heißen Zone, jedoch auch hier nur dann, wenn kein anderer stärkerer Wind vorherrscht. Sie erstrecken sich nicht tief landeinwärts, sondern sind auf die Küsten beschränkt und werden auch auf der See in größerer Entfernung von der Küste nicht wahrgenommen. — Der von der See nach dem Lande wehende Wind beginnt in der Regel einige Stunden nach Sonnenaufgang, erreicht gegen zwei bis drei Uhr Nachmittags seine größte Stärke und hört mit Sonnenuntergang wieder auf. Der vom Lande nach der See wehende Wind beginnt etwa gegen Mitternacht, weht am lebhaftesten gegen Sonnenaufgang und hört, wenn die Sonne eine gewisse Höhe erreicht hat, wieder auf. Beide, Land- und Seewind, sind durch Windstille von einander getrennt.

Die Erklärung dieser Winde ergibt sich sehr leicht aus den Ungleichheiten der Temperaturen des Landes und des Wassers und der über denselben lagern den Luftschichten am Tage und während der Nacht. Am Tage wird nämlich das feste Land stärker als das Wasser durch die Sonnenstrahlen erwärmt. In Folge hiervon erlangt auch die über dem Lande ruhende Luftsäule eine höhere Temperatur als die Luft über dem Wasser; es muß daher aus denselben Gründen, welche wir oben in Hinsicht der nicht dicht schließenden Thüre eines geheizten Zimmers entwickelt haben, unten die kältere Luft von der See her in die wärmere über dem Lande eindringen, oben aber die wärmere abfließen. Während der Nacht dagegen kühlt sich das feste Land durch Strahlung, (von welcher weiter unten (§. 250) ausführlicher die Rede sein wird),

stärker ab, als das Wasser, weshalb dann die entgegengesetzten Strömungen eintreten müssen.

Zu den regelmäßigen Winden gehören ferner die *Moussons*, welche während des Sommers mehrentheils von der See nach dem Lande, während des Winters in der entgegengesetzten Richtung wehen. Dieselben sind besonders ausgezeichnet in dem indischen Meere und entstehen durch die ungleichen Wärmeverhältnisse des Meeres und des asiatischen Continents während der Sommer- und Wintermonate in ganz ähnlicher Art, wie wir dies für die abwechselnd am Tage und während der Nacht wehenden Land- und Seewinde gezeigt haben.

Das Verhältniß ungleicher Temperatur, welches in den angeführten Beispielen während des Tages und der Nacht, des Sommers und des Winters wechselte, findet durch das ganze Jahr zwischen den verschiedenen Zonen der Erde, insbesondere den Gegenden in der Nähe des Aequators und in der Nähe der Pole statt und muß folglich eine fortwährende zwiefache Strömung in der Luft herbeiführen. Es muß nämlich aus den im Vorhergehenden entwickelten Gründen unten beständig die kältere Luft von den Polen nach dem Aequator, in den oberen Regionen aber die wärmere Luft von dem Aequator nach den Polen hin strömen.

Hiernach will es auf den ersten Blick scheinen, als wenn an der Oberfläche der Erde auf der ganzen nördlichen Halbtugel Nordwind, auf der südlichen Südwind vorherrschen müßte. Hiervon bringt jedoch zunächst die Axendrehung der Erde eine sehr bedeutende Abweichung hervor. Denken wir uns nämlich, einem Lufttheilchen oder irgend einem anderen Körper werde ein Impuls erteilt, sich vom Pole nach irgend einem bestimmten Punkte des Aequators zu bewegen, so wird dieser Körper keineswegs den Punkt des Aequators, auf welchen er ursprünglich gerichtet war, sondern einen mehr westlich gelegenen Punkt erreichen, weil die Erde während der Dauer seiner Bewegung sich von Westen nach Osten um ihre Aze gedreht hat. Der bewegte Körper wird daher auch einem am Aequator befindlichen Beobachter nicht gerade aus Norden, sondern aus einer nordöstlichen Richtung zu kommen scheinen. — Dasselbe, was wir über einen vom Pole nach dem Aequator bewegten Körper gesagt haben, gilt im Wesentlichen überhaupt von jedem Körper, welchem ein Impuls, sich aus höheren nach niederen Breiten zu bewegen, erteilt worden ist. Derselbe erreicht den Punkt nicht, auf welchen seine Bewegung ursprünglich gerichtet war, sondern er kommt in einem mehr westlich gelegenen Punkte an, weil vermöge der Axendrehung der Erde die dem Aequator näher gelegenen Punkte sich mit einer größeren Geschwindigkeit als die von demselben entfernteren Punkte in der Richtung von Westen nach Osten bewegen. Es müssen daher auch die beständigen Strömungen der kälteren Luft von den Polen nach dem Aequator hin bei ihrem Fortschreiten mehr und mehr nach Westen hin abgelenkt werden, also immer mehr eine östliche Richtung annehmen, je weiter sie aus höheren Breiten in niedere vordringen.

Diese beiden Polarströme der Luft in den unteren Regionen an der Erdoberfläche zeigen sich vollkommen deutlich in den zu beiden Seiten des Aequators in der heißen Zone das ganze Jahr hindurch in nord- und südöstlicher Richtung wehenden Passatwinden, welche in dem vorher Gesagten ihre vollständige Erklärung finden. (Da dieselben der heißen Zone beständig

die kältere Luft aus den höheren Breiten zuführen, so tragen sie wesentlich dazu bei, die Hitze der tropischen Gegenden zu mildern).

Die Passatwinde zeigen sich jedoch in ihrer vollen Beständigkeit nur in großen Meeren, besonders in dem großen Ocean; im Innern des Landes und selbst in der Nähe der Küsten wird ihre Regelmäßigkeit durch andere Luftströmungen gestört. Nur in ganz flachen Gegenden, z. B. in den Ebenen Südamerika's, in dem sich von Osten nach Westen erstreckenden Flußbette des Amazonenstromes, dringt der Ostpassat bis tief in das Land hinein. Von den beiden Passaten erstreckt sich der nordöstliche bis auf ohngefähr 30° , der südöstliche nur ohngefähr bis auf 25° vom Aequator. Diese ungleiche Verbreitung der Passate findet in der größeren Ländermasse der nördlichen Erdhälfte und der stärkeren Erwärmung derselben durch die Sonnenstrahlen ihre Erklärung.

Beide Passate sind durch einen Gürtel von etwa 6° Breite getrennt, in welchem Windstillen mit den heftigsten Stürmen und Gewitterregen wechseln. In dieser Zone der so genannten Windstillen oder Calmen, in welcher die Luft durch die Sonnenstrahlen am stärksten erwärmt wird, hat der aufwärts gehende Luftstrom die größte Lebhaftigkeit, wodurch die Richtung der horizontalen Strömung gestört oder aufgehoben wird. Der Gürtel der Calmen ist so wie die Zonen der Passate bei weitem deutlicher über dem Meere als auf dem Festlande hervortretend; derselbe fällt im östlichen atlantischen Ocean ganz an die nördliche Seite des Aequators und breitet sich im Uebrigen bis etwa 5° nördlich und 3° südlich vom Aequator aus. Diese Grenzen sind jedoch so wie die Grenzen der Zonen des nord- und südöstlichen Passatwindes nach dem verschiedenen Stande der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten einigen Schwenkungen unterworfen.

Beide Passate wehen am gleichmäßigsten sowohl in Hinsicht der Richtung als auch der Stärke in der Mitte des Gürtels, welchen jeder von ihnen einnimmt. In dieser Gegend herrscht mit dem gleichen Winde das ganze Jahr hindurch auch eine gleichmäßige Temperatur und ein beständig heiterer Himmel; Regen gehört zu den Seltenheiten, da es hier an einer Vermischung verschiedener Luftströme in der Regel fehlt*).

Während die Passatwinde, wie wir gezeigt haben, ihre Entstehung dem unteren Ströme der kälteren Luft aus den höheren Breiten nach dem Aequator hin verdanken, muß in den oberen Regionen die emporgestiegene wärmere Luft in der entgegengesetzten Richtung abfließen, also dem unteren nordöstlichen Passate in den oberen Regionen ein Südwestwind, dem südöstlichen Passate ein Nordwestwind entsprechen. Erfahrungen, welche sich für das Vorhandensein dieser oberen westlichen Ströme anführen lassen, sind folgende:

Auf der Spitze des Pico von Teneriffa trifft man gewöhnlich westliche Winde an, während auf dem Meere in der Nähe der Insel der Nordpassat der herrschende Wind ist. Man kennt Beispiele, daß in Gegenden, in denen unausgesetzt der östliche Passat wehte, von Vulkanen ausgeworfene Asche (1811 von dem Vulkan Morne Garon auf der Insel St. Vincent und 1835 von dem Vulkan Cosiguina auf der Landenge von Mittelamerika) an westlich gelegenen selbst mehr als 100 Meilen entfernten Orten, wohin dieselbe nur durch die obere westliche Strömung geführt sein konnte, nieder-

*) Die Schiffer suchen im atlantischen Ocean auf den Reisen nach dem südlichen Amerika bald diesen Theil des Meeres zu erreichen, welchen die Spanier wegen der Leichtigkeit der Schifffahrt Golfo de las Damas nennen.

gefallen ist. An den südwestlichen Küsten von Portugal und Spanien und an den nordwestlichen Küsten von Afrika fallen nicht selten Staubmassen, so genannte Staubregen nieder, welche nach den Untersuchungen von Ehrenberg Reste von Infusorien enthalten, die theils lebend, theils fossil bis jetzt nirgends anders als in den dürren und staubigen Steppen Südamerikas beobachtet worden sind und von da nur durch die in südwestlicher Richtung wehenden oberen Luftströmungen nach den Küsten von Afrika und Europa gelangt sein können.

So wie schon oben angegeben worden, daß die Passatwinde sich in ihrer vollen Regelmäßigkeit nur auf offenen Meeren zeigen, im Innern des Landes und selbst in der Nähe der Küsten dagegen durch andere Luftströmungen verdrängt werden, so gilt Aehnliches überhaupt für die weiter vom Aequator entfernten Gegenden. In denselben findet ein mannigfacher Wechsel der verschiedenartigen Winde statt, für welchen zur Zeit die genügende und umfassende Erklärung noch fehlt. In den gemäßigten Zonen beider Erdhälften sind westliche, auf den Meeren der nördlichen gemäßigten Zone südwestliche, auf den Meeren der südlichen gemäßigten Zone nordwestliche Winde vorwaltend. In den nördlichen Polarmeeren sollen vorherrschend nördliche Winde angetroffen werden.

Bei wechselnder Windesrichtung findet auf der nördlichen Erdhälfte, wie Dove in Berlin nachgewiesen hat, in der Regel die Drehung der Windfahne in der Richtung N, O, S, W, N, (also mit der Sonne), seltner in der entgegengesetzten Richtung statt.

In unsern Gegenden bringen nördliche und östliche Winde im allgemeinen einen hohen, südliche und westliche einen niedrigen Barometerstand, jene die wenigsten, diese die meisten Niederschläge, Regen oder Schnee. Bei heiterem Himmel sind im Winter nördliche und östliche Winde mit hohen Kältegraden, im Sommer mit großer Hitze verbunden.

Halley hat zuerst (1686) auf die ungleiche Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen als die Ursache der Passatwinde hingewiesen; die vollständige zugleich auf die Aendrerung der Erde gegründete Erklärung ist jedoch erst später (1735) von Hadley gegeben worden.

Man nimmt gewöhnlich an, daß in den höheren Breiten der Aequatoralstrom in Folge des durch Abkühlung und verminderten Dampfgehalt vergrößerten specifischen Gewichtes sich zur Erdoberfläche niedersenke und dann nicht mehr über, sondern neben dem Polarstrom hergehe. Dieser Erklärung steht jedoch der Umstand entgegen, daß die Kraft nicht aufzufinden ist, durch welche die Fortbewegung des Aequatoralstromes in nördlicher Richtung an der Erdoberfläche unterhalten wird*).

Die Bemerkung wollen wir noch hinzufügen, daß nordöstliche und südwestliche Winde, wie sich leicht aus der Darstellung des Haupttextes ergibt, uns die Luft aus weiter nach Norden oder Süden gelegenen Gegenden zuführen, als die eigentlichen Nord- oder Südwinde, und daß die nordwestlichen Winde, welche uns das Frühjahr und oft auch den Sommer unfreundlich machen, ihren Grund vorzüglich in der Erwärmung des asiatischen Continents durch die Sonnenstrahlen haben, in Folge deren während der wärmeren Jahreszeit nicht bloß, wie wir dies oben für die Moussons angegeben haben, die kältere Luft von dem indischen Meere, sondern auch von dem stillen Ocean und von dem atlantischen Ocean über Europa nach dem Innern von Asien hinströmt.

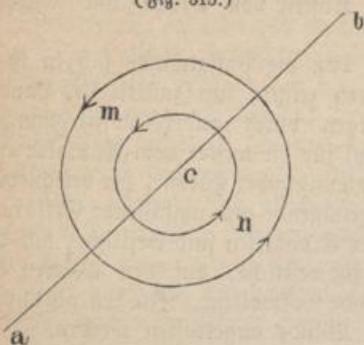
Das Vorhergehende betraf zunächst die regelmäßigen Winde, welche gewöhnlich nur eine mäßige Stärke haben. Die heftigsten Winde, die Stürme, sind meist nur von kurzer Dauer und auf einen engen oder schmalen Raum beschränkt. Häufig hat der Sturmwind an nicht weit auseinander liegenden Orten eine entgegengesetzte Richtung; auch an dem nämlichen Orte ist die Richtung des Windes während eines Sturmes

*) Ausführlicher hat sich der Verf. hierüber in Pogg. Ann. B. 112, S. 486 ausgesprochen.

veränderlich und durchläuft nicht selten die ganze Windrose; oder auf das stärkste Toben des Sturmes aus der einen Richtung folgt plötzliche Windstille und dann wieder der heftigste Sturm in der entgegengesetzten Richtung, eine Erscheinung, welche sich besonders häufig bei den durch ihre große Heftigkeit ausgezeichneten Stürmen der heißen Zone zeigt, welche meist von der Region der sogenannten Windstillen ausgehen*).

Die angeführten Erscheinungen lassen sich durch die Annahme erklären, daß die Luft bei den Stürmen eine wirbelförmige Bewegung hat. Ist ab (Fig. 315) die Linie,

(Fig. 315.)



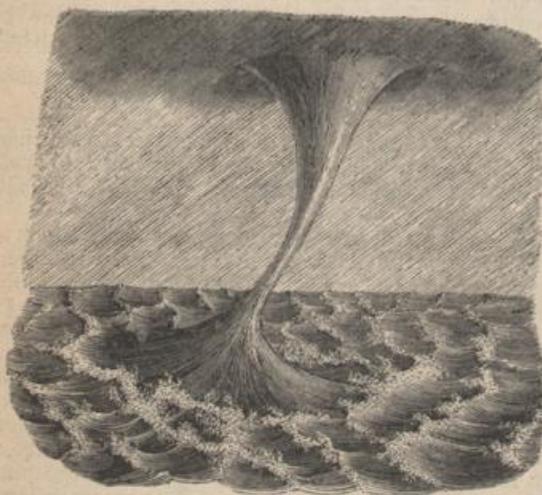
welche das Centrum c des Wirbels durchläuft, so muß an zwei zu beiden Seiten dieser Linie liegenden Orten m und n der Wind gleichzeitig entgegengesetzte Richtungen haben. Geht aber über einen Ort das Centrum c, so muß nach einer vorübergehenden Windstille die Richtung des Sturmes in die entgegengesetzte überspringen.

Die Richtung der Drehung bei diesen Winden, welchen man auch den Namen *Cyclonen* gibt, entspricht dem allgemeinen Drehungsgesetze der Winde und ist daher auf der südlichen Erdhälfte der auf der nördlichen entgegengesetzt.

Zu den auf einen noch engeren Raum beschränkten Wirbeln dürften auch die Windhosen oder Tromben zu rechnen sein. Man unterscheidet, je nachdem dieselben sich über das Land oder über das Wasser bewegen,

Land- und Wasserhosen. Sie bestehen aus zwei mit den Spitzen zusammenstoßenden kegelförmigen Theilen, von denen der obere durch eine herabhängende Wolke, der untere bei den Wasserhosen (Fig. 316) durch eine

(Fig. 316.)



emporgehobene Wasserfäule, bei den Landhosen aber durch Staub und andere leichte Körper gebildet wird. Sie schreiten mit einer mehr oder weniger großen Geschwindigkeit fort und stehen in ihren Wirkungen den heftigsten Sturmwinden nicht nach, aber erstrecken sich nur über einen schmalen Strich, dessen Breite einige hundert Fuß nicht übersteigt. Zu beiden Seiten dieses schmalen Striches, über welchen die Windhose sich bewegt, und innerhalb dessen sie die größten Verheerungen anrichtet, Bäume entwurzelt, Gebäude niederreißt, Balken und Steine emporhebt und mit sich fortführt, findet nicht selten völlige Windstille statt.

Die Veranlassungen, durch welche solche Wirbel herbeigeführt werden, können von sehr mannichfacher Art sein. So wie im Wasser beim Zusammentreffen zweier Ströme oder, wo ein Wasserstrom auf Hindernisse stößt, Wirbel entstehen, so muß dasselbe noch weit eher in der so viel leichter beweglichen Luft geschehen.

Endlich wollen wir noch bemerken, daß Winde selbst durch eine auf einen verhältnißmäßig sehr engen Raum beschränkte, ungleiche Erwärmung der Luft hervorgerufen werden können, wie dies nicht selten bei Feuersbrünsten, besonders aber bei großen Waldbränden beobachtet wird.

*) Eine Beschreibung eines solchen Sturmes findet man u. a. in Geßler's Lexicon B. X. S. 2051.

***§. 235. Von den Strömungen im Meere.**

So wie die ungleiche Erwärmung der Erde durch die Sonnenstrahlen ein Abfließen der oberen wärmeren Luft in der Richtung von dem Aequator nach den Polen und ein Strömen der unteren kalten Luft in der Richtung von den Polen nach dem Aequator hin bewirkt, so muß aus gleichen Gründen auch im Meere das wärmere Wasser an der Oberfläche vom Aequator nach den Polen und das kältere Wasser in der Tiefe von den Polen nach dem Aequator strömen. Diese Strömungen können jedoch, verglichen mit den Luftströmungen, wegen der weit geringeren Ausdehnung des Wassers durch die Wärme, nur eine geringe Stärke besitzen. Ueberdies erleidet der obere Strom durch entgegenstehende Küsten, durch Winde, durch Ebbe und Flut u. dgl. so vielfache Störungen, daß für das Vorhandensein desselben mehr theoretische Gründe als directe Beobachtungen sprechen. Die Beobachtung des unteren kälteren Stromes aber wird durch seine Lage in der Tiefe erschwert.

Zu den Erscheinungen, welche in dieser Strömung ihre Erklärung finden, gehört zunächst die überall in der gemäßigten und heißen Zone abnehmende Temperatur des Meerwassers mit der Tiefe. Selbst zwischen den Wendekreisen, in Gegenden, wo die Temperatur des Meerwassers an der Oberfläche 26° betrug, hat man aus großen Tiefen Meerwasser geschöpft, dessen Temperatur die des Eispunktes um weniger als 3° übertraf.

Die große Verschiedenheit, welche in der heißen Zone das Meerwasser in der Nähe der Oberfläche und in großen Tiefen zeigt, muß wesentlich beitragen, die Menge und Mannigfaltigkeit der Thiere in den tropischen Meeren zu erhöhen, indem außer denjenigen Thieren, welchen das obere wärmere Wasser zusagt, andere in der Tiefe das nämliche kältere Wasser wie in höheren Breiten antreffen. (In ganz ähnlicher Art erzeugt in den tropischen Ländern die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe auf hohen Bergen eine der gemäßigten und selbst der kalten Zone ähnliche Vegetation).

Eine andere Erscheinung, deren Erklärung sich einfach aus der Strömung des kalten Wassers in der Tiefe von den Polen nach dem Aequator hin ergibt, ist die von Seefahrern häufig beobachtete plötzliche Abnahme der Temperatur des Meerwassers über Untiefen. Das in der Tiefe strömende kalte Wasser steigt nämlich an den Untiefen wie auf einer schiefen Ebene empor und nähert sich so der Oberfläche.

Von anderen, mehr localen Meeresströmen wird zweckmäßiger in der Geographie gehandelt; von dem Golfstrom wird noch weiter unten im §. 237 die Rede sein.

B. Veränderung des Aggregatzustandes.

§. 236. Vom Schmelzen.

Wir haben im Vorhergehenden die Ausdehnung der Körper als die erste Hauptwirkung der Wärme kennen gelernt; die zweite besteht in der Veränderung des Aggregatzustandes. Feste Körper gehen bei vermehrter Wärme in den flüssigen, flüssige in den luftförmigen Zustand über. Wir beschäftigen uns hier zunächst mit der ersteren Erscheinung, mit dem Schmelzen der festen Körper.

Wenn man an einem kalten Wintertage eine Schüssel mit Schnee oder zerstoßenem Eise in eine geheizte Stube bringt, so wird ein in den Schnee oder das Eis eingetauchtes Thermometer anfangs nach Maßgabe der äußeren

Lufttemperatur bis auf mehrere Grade unter den Nullpunkt fallen, dann aber sich allmählich bis zu diesem Punkte erheben, indem dem Schnee oder Eise Wärme von den Umgebungen in der geheizten Stube zugeführt wird. So wie das Eis die Temperatur von 0° erreicht hat, fängt es an zu schmelzen, und das Thermometer steigt nun nicht mehr, sondern bleibt eine längere Zeit unveränderlich auf Null Grad stehen, so lange nämlich, bis aller Schnee geschmolzen ist. Selbst wenn man, um den Schmelzungsproceß zu beschleunigen, unter dem Gefäße Feuer, z. B. eine brennende Spirituslampe, anbringt, bleibt doch das Thermometer so lange auf Null Grad stehen als noch ungeschmolzenes Eis vorhanden ist. Erst nachdem alles Eis in Wasser verwandelt worden ist, fängt das Thermometer wieder an zu steigen und fährt hiermit bis zu der Temperatur des Siedepunktes fort. Ist diese erreicht, so tritt zum zweitenmal ein Stillstand ein. Während der ganzen Dauer des Siedens zeigt das Thermometer unveränderlich die nämliche Temperatur von 100° Grad und steigt erst dann wieder, wenn alles Wasser in Dampf verwandelt worden ist.

Da hiernach die Wärme, welche dem Wasser während des Schmelzens oder Siedens zugeführt wird, keine Erhöhung der Temperatur bewirkt, sondern lediglich zur Aenderung des Aggregatzustandes verwendet wird, so nennt man dieselbe latente oder gebundene Wärme.

Wir berücksichtigen hier zunächst nur die beim Schmelzen gebundene Wärme. Die nämliche Wärmemenge, welche erforderlich ist, ein Pfund Eis in Wasser zu verwandeln, würde im Stande sein, ein Pfund Wasser von 0° auf 80° (genauer $79,3$) zu erwärmen. Man kann sich von der Richtigkeit dieser Angabe überzeugen, wenn man ein Pfund pulverisirtes Eis mit einem Pfunde Wasser von 80° vermischt; man erhält dann als Product der Mischung zwei Pfund Wasser von 0° . Indem also das eine Pfund Wasser 80° Wärme abgegeben hat, so ist das Pfund Eis in Wasser von 0° verwandelt worden.

Was wir bisher vom Schmelzen des Eises gesagt haben, gilt im Wesentlichen auch vom Schmelzen anderer festen Körper. Allemal wird bei dem Uebergange eines festen Körpers in den flüssigen Zustand Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist für verschiedene Körper verschieden, (z. B. für Schwefel $9,4^{\circ}$, Blei $5,4^{\circ}$, Zink $28,1^{\circ}$, Silber $21,1^{\circ}$). Von allen bis jetzt untersuchten Körpern hat das Wasser die größte latente Wärme.

Dieselbe Wärmemenge, welche beim Schmelzen eines festen Körpers gebunden wird, wird beim Uebergange dieses Körpers aus dem flüssigen in den festen Zustand wieder frei. Vermöchte man z. B. ein Pfund Wasser von Null Grad mit einem Pfund Eis von -80° zu vermischen, so würde man als Product der Mischung zwei Pfund Eis von Null Grad erhalten. Bei der Unausführbarkeit dieses Versuches kann man sich von der Richtigkeit des Gesagten durch folgendes Verfahren überzeugen.

Wenn man ein Gefäß mit Wasser, (welches man durch längeres Ausstoßen möglichst luftfrei gemacht hat), an einem kalten Wintertage im Freien aufstellt, in dasselbe ein Thermometer einsenkt und es dann sorgfältig gegen äußere Erschütterungen schützt, (zur Abhaltung des Luftzuges die Oberfläche des Wassers mit einer Oelfschicht bedeckt), so kann das Wasser ohne zu gefrieren bis auf zehn und mehr Grad unter Null erkalten. So wie man

aber dasselbe ein wenig erschüttert, erstarrt ein Theil plötzlich zu Eis und zwar der achte Theil, wenn die Temperatur des Wassers bis auf -10° herabgegangen war; die übrigen sieben Achtel bleiben flüssig, und das in das Wasser eingetauchte Thermometer steigt rasch von -10° bis auf Null Grad. Durch die beim Erstarren des einen Achtels frei werdende Wärme hat sich folglich die ganze Masse um 10° erwärmt.

Diese Erscheinung, daß ein Pfund Wasser von Null Grad 80° Wärme mehr enthält, als ein Pfund Eis von Null Grad, daß also das Eis erst diese bedeutende Wärmemenge aufnehmen muß, um in Wasser verwandelt zu werden, und umgekehrt dem Wasser die nämliche Wärmemenge entzogen werden muß, wenn dasselbe zu Eis erstarren soll, ist im Haushalte der Natur von nicht geringer Wichtigkeit. Ohne diesen Umstand würde das Schmelzen des Eises und Schnees bei eintretender Frühlingswärme fast plötzlich erfolgen und meist von den verheerendsten Ueberschwemmungen begleitet sein. Eben so würden, wenn mit dem beginnenden Winter die Lufttemperatur unter Null Grad herabgeht, die Flüsse und Seen äußerst rasch sich mit Eis bedecken und die Schiffahrt plötzlich unterbrochen werden u. dgl. m.

Auf der latenten Wärme beruhen auch die Mischungen, welche dazu dienen, künstliche Kälte zu erregen. Mischt man z. B. drei Pfund trocknen Schnee und ein Pfund Kochsalz von Null Grad, so sinkt (nach Müdorff) die Temperatur der Mischung bis zu -21° . Damit nämlich Schnee und Salz, welche eine große Neigung sich zu vereinigen haben, sich wirklich verbinden können, müssen erst beide aus dem festen in den flüssigen Zustand übergehen, wozu die Aufnahme (das Latentwerden) einer großen Menge Wärme erforderlich ist. — Umgekehrt wird Wärme frei, wenn zwei flüssige Körper oder ein fester und ein flüssiger Körper eine feste Verbindung eingehen, woraus sich die starke Erhitzung erklärt, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser übergießt, welches sich mit dem Kalk zu einem festen Körper (Kalkerdehydrat) verbindet.

Auch bei dem Krystallisiren in Flüssigkeiten aufgelöster fester Körper wird Wärme frei.

Die latente Wärme des Wassers ist zuerst von dem Engländer Black 1763 nachgewiesen worden.

Wenn man in einem Medizingläschen eine Auflösung von einem Theile Wasser und zwei Theilen krystallisirtem Glaubersalz bis zum starken Sieden erhitzt, so daß in dem Gläschchen über der Auflösung ein luftleerer, nur mit Dämpfen erfüllter Raum entsteht, hierauf das Gläschchen rasch verkorkt und die allmählich erkaltende Auflösung gegen jede Erschütterung schützt, so bleibt dieselbe flüssig. Deffnet man nach dem Erkalten das Gläschchen und taucht in die Auflösung ein Thermometer, so tritt eine rasche Krystallisation des Glaubersalzes und eine so merkwürdige Zunahme der Temperatur ein, daß dieselbe sich nicht bloß am Thermometer, sondern auch durch das Gefühl zu erkennen gibt. — Noch stärker ist die Temperaturerhöhung beim Erstarren des unterschwefeligen Natrons, welchem man kein Wasser zuzusetzen nöthig hat, da es in seinem Krystallwasser schmilzt.

Die Landleute benutzen die latente Wärme des Wassers, um in nicht tiefen Kellern Obst, Kartoffeln u. s. w. gegen den Frost zu schützen, indem sie neben dieselben Gefäße mit Wasser stellen.

So wie wir oben gesehen haben, daß sich Wasser, wenn dasselbe gegen Erschütterung geschützt ist, ohne zu erstarren, bis mehrere Grade unter Null abkühlen läßt, so ist dasselbe nach den von Mousson (1858) angestellten Untersuchungen insbesondere auch dann der Fall, wenn das Wasser einem starken Druck unterworfen ist, welcher im Stande ist, die Ausdehnung des Wassers beim Erstarren zu verhindern. Das nämliche gilt ferner von Wassermassen, welche einen sehr geringen Durchmesser haben,

z. B. wenn das Wasser in seine Haarröhrchen eingeschlossen ist oder sich in Form sehr kleiner Tröpfchen auf einer Fläche, welche nicht von demselben benetzt wird, z. B. auf Sammet oder einer bestäubten Fläche befindet. Die Berührung mit einer feinen Nadelspitze bewirkt dann plötzlich das Erstarren des bis dahin durchsichtigen Tröpfchens. Es erklärt sich aber hieraus, daß bei einer Lufttemperatur unter Null Grad noch Regen fallen kann.

Auch bei sehr heftiger Bewegung kann Wasser, wie Desprez gezeigt hat, erheblich unter Null Grad noch flüssig bleiben.

	von	bis
6 Theile salpetersaures Ammoniat und 10 Theile Wasser	+ 13,6°	- 13,6°
3 Theile Schnee und 1 Theil Kochsalz	0	- 21
3 Theile Schnee und 1 Theil Schwefelsäure (4 Vitriolöl, 1 Wasser)	0	- 32, 5
8 Theile Schnee und 5 Theile verdünnte Salzsäure	0	- 33
3 Theile Schnee und 4 Theile salzsaurer Kalk	0	- 48

Der ersten Mischung bedienen sich die Conditor, um im Sommer Eis zu bereiten. Bei der letzten Mischung, welche die größte Kälte erzeugt, verfährt man am zweckmäßigsten auf die Art, daß man 2 bis 3 Pfund salzsauren Kalk bis zur Trockne erwärmt, dann pulverisirt und durch ein feines Flortuch siebt, wobei derselbe aus der Luft so viel Wasser aufnimmt, als zu seiner schnellen Auflösung erforderlich ist. Man mischt hierauf das Pulver mit Schnee oder zerstoßenem Eise in einem hölzernen oder irdenen Gefäße, welches man in einen größeren Napf gestellt hat, welcher eine Mischung von Kochsalz und Schnee enthält. — Noch höhere Kältegrade als die angegebenen, können natürlich erlangt werden, wenn man die zu mischenden Substanzen vorher mehrere Grade unter Null abgekühlt hat.

Wasser, welches Salz aufgelöst enthält, friert erst bei niedrigeren Temperaturen als reines Wasser; die Erniedrigung der Temperatur ist, wie Rüdorff (1862) gezeigt hat, der Menge des gelösten Salzes (oder einer bestimmten Verbindung desselben mit Wasser) proportional. — Auch bei Metalllegirungen liegt der Schmelzpunkt niedriger als der des strengflüssigeren Bestandtheiles; bei dem Rose'schen Metallgemische, welches aus 2 Theilen Wismuth, 1 Theil Blei und 1 Theil Zinn besteht, liegt der Schmelzpunkt beträchtlich niedriger als der eines jeden Bestandtheiles, indem dasselbe schon im siedenden Wasser schmilzt. — Eine von dem Amerikaner Wood (1860) angegebene Legirung von 1—2 Theilen Cadmium, 7—8 Theilen Wismuth, 2 Theilen Zinn und 4 Theilen Blei schmilzt sogar schon zwischen 65—70°. — Eine Legirung von 3 Theilen Kalium und 1 Theil Natrium, welche man unter rectificirtem Steinöl zusammenschmilzt, ist bei der gewöhnlichen Lufttemperatur flüssig. — Das so strengflüssige Platin läßt sich mit den meisten Metallen leicht zusammenschmelzen. Auf demselben Grunde beruht auch der sogenannte Zuschlag oder Fluß, welchen man in Hochöfen anwendet, um die strengflüssigen Metalle zum Schmelzen zu bringen, und wozu unter anderen der hiervon benannte Flußspath gehört.

Die folgende Tafel gibt die Schmelzpunkte einiger Substanzen an:

Eisen	1600°	Zinn	285°
	1500	Wismuth	256
Stahl	1400	Legirung aus 4 Wismuth, 1 Blei,	
	1300	1 Zinn	94
Graues Gußeisen	1200	Legirung von 15 Wismuth, 8 Blei,	
Weißes Gußeisen	1050	4 Zinn und 3 Cadmium	62½
Gold	1250	Schwefel	110
Kupfer	1050	Gelbes Wachs	61
Silber	1000	Eis	0
Zinn	360	Terpentinöl	-10
Blei	334	Quecksilber	-39

§. 237. Von der Bildung der Dämpfe im allgemeinen.

Während der Uebergang der festen Körper in den flüssigen Zustand nur bei einer bestimmten Temperatur erfolgt, findet die Verwandlung der flüssigen Körper in luftförmige, des Wassers in Dampf, bei jeder Temperatur statt, wie unzählige bekannte Erfahrungen lehren. So beruht hierauf das Trocknen der Wäsche, das Austrocknen feuchter Wege, der Gräben

und Teiche bei trockener Witterung u. s. w. Ueberhaupt vermindert sich das Wasser in jedem offenen Gefäß, welches keinen Zufluß erhält, beständig, bis nach längerer oder kürzerer Zeit dasselbe gänzlich verschwunden ist, sich in Dampf verwandelt hat.

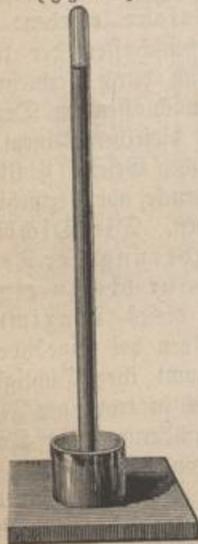
Selbst feste Körper verdunsten, d. h. sie gehen in den luftförmigen Zustand über. Sehr deutlich zeigt dieses der Kampher. Aber auch Eis und Schnee vermindern sich nach längerem Liegen in Folge der Verdunstung allmählich, auch wenn in der Zwischenzeit die Temperatur Null Grad nicht erreicht oder überschritten hat. Eben so trocknet die Wäsche auch im gefrorenen Zustande allmählich aus.

Die Verdunstung schreitet jedoch unter übrigens gleichen Umständen um so rascher fort, je höher die Temperatur des verdunstenden Körpers ist; sie erfolgt am raschesten beim Sieden einer Flüssigkeit. Der Grund hiervon ist, daß beim Sieden, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme zur Dampfbildung, bei niedrigeren Temperaturen aber nicht bloß hierzu, sondern auch zur Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit verwandt wird. Der zweite wesentliche Unterschied der Dampfbildung beim Sieden und bei niederen Temperaturen besteht darin, daß bei Temperaturen, welche unter dem Siedepunkte liegen, die Verwandlung der Flüssigkeit in Dampf nur an der Oberfläche erfolgt, beim Sieden aber sich auch im Innern der Flüssigkeit Dampfblasen bilden, welche durch ihr Aufsteigen das die Erscheinung des Siedens charakterisirende Aufwallen der Flüssigkeit hervorbringen. Den Grund dieser Verschiedenheit werden wir weiter unten (S. 240) kennen lernen.

§. 238. Elasticität und Dichtigkeit der Dämpfe.

Um die Gesetze der Dampfbildung zu erforschen, ist es nothwendig, dieselbe im luftleeren Raume zu studiren. Der hierzu dienende Apparat, welcher zugleich eine Abmessung der Elasticität des gebildeten Dampfes zuläßt, besteht im Wesentlichen in einem Gefäßbarometer (Fig. 317). Bringt

(Fig. 317.)



man in den luftleeren Raum über dem Quecksilber in der Röhre einige Tropfen Wasser, was leicht geschehen kann, weil diese in dem specifisch schwereren Quecksilber emporsteigen, so sieht man das emporgestiegene Wasser sich rasch vermindern, in Dampf übergehen und das Quecksilber in der Röhre (um einige Linien) fallen. Die Größe dieses Fallens aber oder, was dasselbe sagen will, der Unterschied im Stande dieses Dampfbarometers und eines gewöhnlichen Barometers, in dessen längerem Schenkel sich über dem Quecksilber ein luftleerer Raum befindet, gibt die Elasticität des gebildeten Wasserdampfes an.

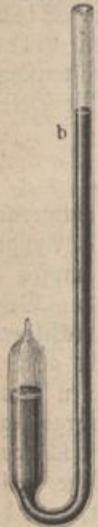
Bringt man das Wasser in die Torricelli'sche Leere nur ganz allmählich und in kleinen Quantitäten, so sieht man jeden einzelnen Tropfen bei seiner Ankunft in der Torricelli'schen Leere sich rasch vermindern und verschwinden und das Quecksilber in Folge des Druckes der gebildeten Dämpfe fallen. Hat aber die Menge dieser Dämpfe bis zu einem gewissen Grade

zugenommen, so findet keine weitere Dampfbildung und kein Fallen des Quecksilbers mehr statt, wenn man auch noch mehr Wasser in den Raum über dem Quecksilber treten läßt. Man nennt einen solchen Raum, welcher keine Dämpfe mehr aufzunehmen vermag, mit Dämpfen gesättigt.

Je höher die Temperatur eines Raumes ist, um so größer ist auch die Menge der Dämpfe, welche derselbe zu fassen vermag, und um so größer die Elasticität dieser Dämpfe. — Um hierüber genaue Maßbestimmung zu erhalten, senkt man den in Fig. 317 abgebildeten Apparat in einen mehrere Fuß hohen gläsernen Cylinder, welcher ganz mit Wasser angefüllt ist, welches sich bis zu beliebigen Temperaturen erwärmen läßt. Man findet dann, daß die Menge und Elasticität der Dämpfe, welche der leere Raum über dem Quecksilber zu fassen vermag, mit der Temperatur rasch zunimmt, und daß bei der Temperatur des Siedepunktes die Elasticität dieser Dämpfe genau gleich dem Luftdrucke ist, daß also dieselben einer eben so großen Quecksilbersäule (28 Zoll), wie die Luft, das Gleichgewicht zu halten vermögen.

Um die Elasticität der Dämpfe für höhere Temperaturen zu bestimmen, läßt das bisher beschriebene Verfahren keine Anwendung zu. Für diesen

(Fig. 318.)



Zweck kann der (Fig. 318) abgebildete Apparat dienen. Derselbe besteht aus einer gläsernen Röhre, welche sich von einem Gefäßbarometer nur darin unterscheidet, daß der längere Schenkel b oben offen und das Gefäß a in eine feine Spitze ausgezogen ist. Der Raum über dem Quecksilber in dem Gefäße a wird ganz mit Wasser angefüllt und hierauf die feine Spitze zugeschmolzen. Wird dann dieser Apparat mit dem kürzeren Schenkel in eine bis über 100° erwärmte Flüssigkeit, z. B. in Del, getaucht, so bilden sich im kürzeren Schenkel Dämpfe, und die Höhe des Quecksilbers im offenen Schenkel b über dem Quecksilber im verschlossenen Schenkel a, vermehrt um die Größe des Luftdruckes, gibt die Elasticität der gebildeten Dämpfe an.

Durch die in der angezeigten Art angestellten Versuche haben sich für die Dämpfe folgende Gesetze ergeben: — Dieselben zeigen im Wesentlichen alle Eigenschaften der luftförmigen Körper überhaupt; sie lassen sich durch vermehrten Druck zusammenpressen, dehnen sich bei nachlassendem Drucke wieder aus und folgen hierbei, wenn man dieselben keinem zu starkem Drucke unterwirft, dem Mariotte'schen Gesetze (§. 66.).

Eben so dehnen sie sich bei gleichbleibendem Drucke, aber vermehrter Wärme aus und ziehen sich bei vermindeter Wärme zusammen. Die Dichtigkeit der Dämpfe läßt sich jedoch durch Verminderung der Temperatur oder durch Vergrößerung des Druckes nur bis zu einer gewissen Grenze steigern. Haben die Dämpfe dieses Maximum der Dichtigkeit und Elasticität erreicht, und werden dieselben bei ungeänderter Temperatur einem größeren Drucke unterworfen, so nimmt ihre Dichtigkeit und Elasticität nicht mehr zu, sondern sie verwandeln sich in tropfbare Flüssigkeit. Findet bei gleichbleibendem Drucke eine Verminderung der Temperatur statt, so wird ebenfalls ein Theil der Dämpfe condensirt.

Vergleicht man die Dichtigkeit der Dämpfe mit der Dichtigkeit der trockenen, nur aus Sauerstoff und Stickstoff gemischten, atmosphärischen Luft

so findet man, daß die Dichtigkeit des Wasserdampfes sehr nahe gleich $\frac{5}{8}$ von der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur ist.

Die vorhergehenden Untersuchungen betrafen zunächst nur den Wasserdampf. Sie gelten indessen im Wesentlichen auch für die Dämpfe anderer Flüssigkeiten. Doch ist für verschiedene Flüssigkeiten auch die Elasticität und die Dichte ihrer Dämpfe verschieden. Bei einerlei Temperatur ist die Elasticität des Dampfes einer Flüssigkeit um so größer, je niedriger die Temperatur ist, bei welcher die Flüssigkeit siedet, also z. B. beim Spiritus oder Schwefeläther größer, beim Quecksilber bedeutend kleiner als beim Wasser. Für alle Flüssigkeiten aber gilt das Gesetz, daß die Elasticität der Dämpfe beim Sieden dem atmosphärischen Luftdrucke gleich ist.

Die obige Angabe über die Dichtigkeit des Wasserdampfes ist von Gay-Lussac dadurch erhalten worden, daß er eine genau abgewogene Menge Wasser in eine graduirte, mit Quecksilber gefüllte Röhre brachte, durch Erwärmung vollständig verdampfen ließ und den von den Dämpfen eingenommenen Raum, ihre Elasticität und Temperatur sorgfältig abmaß. Auf ähnliche Art, wie die Dichtigkeit des Wasserdampfes (0,623), ist auch die Dichtigkeit der Dämpfe anderer Flüssigkeiten (Alkohol 1,6, Schwefeläther 2,6) gefunden worden.

Die im Haupttext angegebenen Methoden zur Bestimmung der Elasticität der Dämpfe, wie sie in der That von älteren Physikern angewendet worden sind, sind nur zu dem Zwecke hier aufgeführt, um überhaupt die Möglichkeit dieser Abmessungen zu zeigen; dieselben gewähren jedoch keine volle Genauigkeit. Die nämlichen Abmessungen sind später fast gleichzeitig (1843) von Magnus in Berlin und Regnault in Frankreich nach genaueren, aber umständlicheren Methoden wiederholt worden, deren Beschreibung uns hier zu weit führen würde.

Die Dämpfe folgen dem Mariotte'schen Gesetze nur so lange, als sie weit von dem Sättigungspunkte entfernt sind. Wenn sie durch verstärkten Druck oder erniedrigte Temperatur in die Nähe dieses Punktes gelangen, so findet eine Zusammenziehung derselben statt, welche ihrem Uebergange in den flüssigen Zustand vorangeht.

Die folgende Tabelle gibt die Elasticität des Wasserdampfes für Temperaturen unter 100° in Par. Linien einer Quecksilbersäule, welcher der Dampf das Gleichgewicht zu halten vermag, für höhere Temperaturen aber in Atmosphären an.

Temperatur.	Elasticität. Pariser Linien.	Temperatur.	Elasticität. Pariser Linien.	Temperatur.	Elasticität. Atmosphär.
—20°	0,59	45°	30,48	100°	1
15	0,83	50	39,34	121 $\frac{1}{2}$	2
10	1,17	55	50,41	135	3
5	1,62	60	64,08	145 $\frac{1}{2}$	4
0	2,24	65	80,99	153	5
+ 5	3,08	70	101,54	160	6
10	4,20	75	126,37	166 $\frac{1}{2}$	7
15	5,69	80	156,07	172	8
20	7,67	85	191,37	177	9
25	10,23	90	232,85	181 $\frac{1}{2}$	10
30	13,58	95	281,17	190	12
35	17,91	100	336,00	197	14
40	23,48			203 $\frac{1}{2}$	16

§. 239. Condensation der Gase.

Wie wir bereits im §. 12 gesehen haben, findet zwischen den Dämpfen und den sogenannten permanenten Gasen kein absoluter, sondern nur ein relativer Unterschied statt, indem die Dämpfe schon bei gewöhnlichen Temperaturen und mäßigem Drucke in den flüssigen Zustand übergehen, bei den Gasen dieser Uebergang aber erst bei sehr niedrigen Temperaturen oder

sehr starkem Drucke erfolgt. — Zur Verdichtung der Gase wendet man Compressionspumpen an, welche eine ähnliche Einrichtung wie die gewöhnliche Luftpumpe haben. Auf diese Art ist es gelungen, bei weitem die meisten Gase in den flüssigen und mehrere selbst in den festen Zustand, indem man dieselben bis zu sehr hohen Graden künstlich erregter Kälte abkühlte, überzuführen. Nur einige wenige Gase, wie Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, haben sich bis jetzt weder flüssig noch fest darstellen lassen. (Vergl. oben S. 66 Anm.)

Entscheidende Versuche über die Condensation der Gase sind zuerst von Davy und Faraday 1823 angestellt worden. Thilorier hat zuerst die Kohlensäure in größeren Mengen flüssig, sowie auch im festen Zustande dargestellt. Seine Untersuchungen wurden jedoch dadurch unterbrochen, daß das Gefäß, in welchem die Kohlensäure verdichtet wurde, zersprang, wobei Menschen das Leben verloren. Dieselben Versuche sind später von anderen Physikern mit den geeigneten Vorsichtsmaßregeln wiederholt worden. Die so äußerst flüchtige Kohlensäure — sie siedet schon bei -78° und bei 0° haben ihre Dämpfe eine Elasticität von 38 Atmosphären — erregt bei ihrer Verdunstung eine Kälte, welche die durch Mischung künstlich zu erzeugende Kälte bei weitem übertrifft. Durch Benutzung derselben ist es gelungen, die Kohlensäure selbst und mehrere andere Gase in den festen Zustand überzuführen, in welchem dieselben sämmtlich ein dem Eise oder Schnee ähnliches Ansehen zeigen. Das flüssige Stickstoffoxydul, welches nach Regnault schon bei -88° siedet und also die Kohlensäure noch an Flüchtigkeit übertrifft, zeigt nach Dumas folgende Erscheinungen: die Flüssigkeit ist farblos und durchsichtig; jeder Tropfen derselben, welcher auf die Hand fällt, verbrennt dieselbe stark. Wirft man ein Stückchen Metall in die Flüssigkeit, so entsteht ein ähnliches Zischen, wie wenn man glühendes Eisen in Wasser taucht. Das nämliche Zischen bringt auch Quecksilber hervor, welches sogleich zu einer harten, spröden, silberweißen Masse erstarrt. Wasser, in das flüssige Stickstoffoxydul geschüttet, gefriert augenblicklich, erzeugt aber ein so heftiges Verdampfen der Flüssigkeit, daß man, um eine Explosion zu vermeiden, nicht zu wenig Wasser auf einmal zuschütten darf.

Die folgende Tabelle enthält einige Resultate der von Faraday 1844 bis 1845 angestellten Versuche. Nach früheren Versuchen von Faraday wird das in dieser Tabelle fehlende Chlor bei $15\frac{1}{2}^{\circ}$ unter einem Druck von 4 Atmosphären flüssig.

Name des Gases.	Wird flüssig bei einer Temperatur von	Und unter einem Drucke von	Wird fest oder schmilzt bei einer Temperatur von
Salzsäure	0°	26 Atm.	—
Schwefelige Säure	0	$1\frac{1}{2}$	-76°
Schwefelwasserstoff	$-17\frac{7}{9}$	6	-87
Kohlensäure	0	38	-57
Unterchlorige Säure	—	—	-59
Stickstoffoxydul	$-17\frac{7}{9}$	19	-100
Cyan	0	$2\frac{1}{2}$	-34
Ammoniak	0	$4\frac{1}{2}$	-75
Arfenwasserstoff	0	9	—
Schweres Kohlenwasserstoffgas	$-17\frac{7}{9}$	27	—
Jodwasserstoff	0	4	-51
Bromwasserstoff	—	—	-87
Fluorkiesel	-107	9	—
Fluorbor	-52	$11\frac{1}{2}$	—

§. 240. Vom Sieden.

Die Untersuchungen der vorhergehenden Paragraphen geben uns auch Aufschluß über die Erscheinung des Siedens. So lange die Temperatur einer Flüssigkeit die ihres Siedepunktes noch nicht erreicht hat, können im Inneren derselben sich keine Dämpfe bilden, weil die Elasticität derselben weniger als 28 Zoll beträgt. Eine in der Flüssigkeit etwa entstehende Dampfblase müßte

durch den auf derselben lastenden Druck der Atmosphäre sogleich wieder zu tropfbarer Flüssigkeit verdichtet werden. Anders verhält es sich jedoch an der Oberfläche der Flüssigkeit, wo die Dämpfe sich mit der atmosphärischen Luft vermischen und also nicht mehr allein, sondern mit permanenten Gasen vermischen den auf ihnen lastenden Druck der Atmosphäre tragen.

Wenn eine Flüssigkeit bis zur Temperatur des Siedepunktes erwärmt ist, so vermögen die Dämpfe derselben allein den Druck der Atmosphäre auszuhalten und können sich daher auch im Innern der Flüssigkeit bilden. Das Eigenthümliche des Siedens besteht also erstens darin, daß alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme zur Dampfbildung verwandt wird, und zweitens darin, daß die Dämpfe sich nicht bloß an der Oberfläche, sondern auch im Innern der Flüssigkeit bilden.

Da eine Flüssigkeit bei derjenigen Temperatur siedet, bei welcher die Dämpfe derselben den auf der Flüssigkeit lastenden Luftdruck auszuhalten vermögen, so muß dieselbe bei einer um so niedrigeren Temperatur siedet, je geringer die Größe dieses Druckes ist. (So folgt z. B. aus der Seite 415 aufgeführten Tabelle, daß das Wasser bei einem Luftdrucke von 23 Zoll, 19 Zoll, 16 Zoll u. s. w. schon bei 95°, 90°, 85° u. s. w. siedet.) Man ersieht hieraus, daß der Siedepunkt des Wassers und eben so der jeder anderen Flüssigkeit eigentlich kein fester Punkt ist, sondern mit dem Luftdrucke steigt und fällt, weshalb auch zwei Thermometer nur dann in ihren Angaben unmittelbar übereinstimmen können, wenn ihre Siedepunkte bei gleichem Luftdrucke bestimmt worden sind. Weiter erklärt sich hieraus, warum das Wasser auf hohen Bergen bei niedrigeren Temperaturen siedet, als im Thale, und warum unter dem Recipienten der Luftpumpe bei starker Verdünnung schon lauwarmes Wasser siedet. In einem gänzlich luftleeren Raume würde das Wasser selbst bei Null Grad siedet.

Da die Temperatur einer siedenden Flüssigkeit nicht mehr zunimmt, auch wenn unter derselben das stärkste Feuer angebracht wird, so läßt sich auf hohen Bergen das Wasser in einem offenen Gefäße auch nicht bis zu der Temperatur erwärmen, bei welcher dasselbe im Thale siedet. So läßt sich z. B. in dem Hospiz auf dem St. Bernhard in einer Höhe von 7700 Fuß in offenen Gefäßen Rindfleisch nicht mehr weich kochen, weil in dieser Höhe der Luftdruck nur noch (ohngefähr) 20 Zoll beträgt und daher das Wasser schon bei 92° Grad siedet.

Dagegen kann man in einem dicht verschlossenen Gefäße, Papi'n'schen Topfe, das Wasser bis zu jeder beliebigen Temperatur erwärmen, indem der Druck der Dämpfe, welche nicht entweichen können, das Sieden der Flüssigkeit verhindert. In demselben kann man Knochen, Hirschhorn, Fischgräten u. a. m. erweichen, welche im siedenden Wasser nicht weich werden. Ein solcher Topf muß jedoch, da mit der zunehmenden Wärme auch die Elasticität des Dampfes und die Gefahr des Zerspringens sich vergrößert, mit einem Sicherheitsventile versehen sein, welches sich von selbst öffnet, wenn die Elasticität der Dämpfe eine gewisse Grenze überschreitet.

Der Erscheinung des Siedens pflegt ein eigenthümliches Geräusch (Simmern) vor- auszugehen, welches dadurch entsteht, daß die dem Boden nächsten Wasserschichten durch das unter demselben angebrachte Feuer sich zuerst bis zum Siedepunkte erhitzen und in Dämpfe verwandeln und die emporsteigenden Dampfbläschen, indem sie in die oberen, noch nicht bis zu dieser Temperatur erwärmten Schichten gelangen, sich wieder verdichten.

Manche Flüssigkeiten, wie z. B. Milch, welche sich in der Hitze mit einer Haut bedecken, schwellen beim Sieden an, indem die Dampfblasen sich unter der Haut ansammeln und dieselbe emportreiben.

Daß das Wasser durch verminderten Druck schon bei sehr mäßigen Temperaturen, welche weit unter 100° liegen, zum Sieden gebracht werden kann, läßt sich auch durch folgenden eben so lehrreichen als leicht anzustellenden Versuch zeigen. In einem gläsernen Kölbchen wird Wasser bis zum starken Sieden erhitzt, hierauf das Kölbchen vom Feuer abgehoben, rasch verkehrt und umgekehrt. Dann siedet das Wasser in dem Kölbchen noch lange Zeit fort, und das allmählich nachlassende Sieden wird wieder lebhafter, wenn man den oberen, mit Dämpfen gefüllten Theil des Kölbchens mit kaltem Wasser übergießt. — Auf gleichem Principe beruht der sogenannte Pulshammer, eine luftleere gläserne Röhre, in welcher Spiritus schon durch die Wärme der Hand zum Sieden gebracht wird.

Wenn man Wasser mit Weingeist vermischt, so liegt der Siedepunkt der Mischung zwischen dem des Wassers und dem des Weingeistes. Sind in einer Flüssigkeit feste Substanzen aufgelöst, so liegt ihr Siedepunkt höher, als der der reinen Flüssigkeit. So siedet Wasser, welches 10, 20, 30, 40 Procent Kochsalz aufgelöst enthält, erst beziehlich bei $101\frac{1}{2}^{\circ}$, $103\frac{1}{2}^{\circ}$, 106° , $108\frac{1}{2}^{\circ}$. Auch die aus der siedenden Salzlösung aufsteigenden Dämpfe haben nach Magnus eine höhere Temperatur und Elasticität als die des reinen Wassers.

Wenn Wasser in einem hohen Gefäße siedet, so haben die unteren Schichten eine etwas höhere Temperatur als die oberen, weil die unteren Schichten nicht bloß den Luftdruck erleiden, sondern auch die auf ihnen lastende Wassersäule zu tragen haben.

Auch die Beschaffenheit des Gefäßes ist nicht ohne Einfluß auf die Temperatur, bei welcher das Wasser siedet; in Gefäßen von Glas oder Porzellan siedet das Wasser bei etwas höherer Temperatur als in metallnen Gefäßen, was seinen Grund darin hat, daß die Adhäsion des Wassers an den Wänden bei jenen Gefäßen größer ist, als bei diesen. Die Temperatur der Dämpfe des siedenden Wassers ist dagegen bei den einen die nämliche wie bei den andern, weshalb man, wie schon oben (§. 235) angegeben, bei Bestimmung des Siedepunktes an einem Thermometer dieses nicht in das siedende Wasser selbst, sondern in die Dämpfe desselben taucht.

Wie oben in der Anm. zu §. 232 angeführt, kann luftleeres, gegen Erschütterung geschütztes Wasser mehrere Grade unter den Eispunkt abgekühlt werden; eben so läßt sich dasselbe beträchtlich über den Siedepunkt erwärmen, ehe es ins Sieden kommt, welches dann stoßweise erfolgt. Es erklärt sich diese Erscheinung aus dem Widerstande, welche die Anziehung der Moleküle des flüssigen Wassers der Dampfbildung entgegensetzt, während in lufthaltigem Wasser dieser Zusammenhang der Moleküle durch die zwischen denselben befindliche Luft schon mehr gelockert ist. Wahrscheinlich ist dieses bei einer Erschütterung mit Heftigkeit und stoßweise eintretende Sieden des über den Siedepunkt erhitzten Wassers eine von den Ursachen der Dampfessexplosionen.

Besonders auffallend ist die Erscheinung, auf welche vorzüglich Leidenfrost 1756 aufmerksam gemacht hat, daß Wasser, auf glühende Metallflächen gegossen, nicht siedet, sondern sich, wie Quecksilber auf Glas, in Tropfen sammelt, welche eine rotirende Bewegung haben. In einem stark siedenden Tiegel von Silber oder Platin nimmt auch eine größere Menge Wasser, welche man allmählich in denselben schüttet, die sphäroidische Gestalt an. So wie aber das Metall sich etwas abkühlt, kommt das Wasser in heftiges Sieden und wird nach allen Seiten umhergeschleudert. — Es erklärt sich diese Erscheinung daraus, daß die Wasserkugel ringsum von einer Atmosphäre von Dämpfen umgeben ist, welche, so lange die Metallplatte stark erhitzt ist, einen hohen Grad von Elasticität besitzen und die unmittelbare Berührung der Wasserkugel mit dem glühenden Metall verhindern, was nicht mehr der Fall ist, wenn sich dieses bis zu einem gewissen Punkte abgekühlt hat.

Im Zusammenhange hiermit dürfte auch der von einzelnen Arbeitern in Schmelzhütten schon seit alten Zeiten gekannte, in neuerer Zeit aber erst von Bontigny näher untersuchte und bestätigte Versuch stehen, daß man, ohne sich zu verletzen, mit bloßen Füßen über frisch gegossenes Eisen gehen oder die Hände kurze Zeit in geschmolzenes Eisen, Kupfer oder anderes Metall eintauchen kann, wobei jedoch, wenn der Versuch keine Gefahr bringen soll, die Temperatur des geschmolzenen oder glühenden Metalles keine zu niedrige sein, besonders bei den zuletzt angeführten Versuchen nicht zu nahe an der Temperatur liegen darf, bei welcher das geschmolzene Metall wieder fest wird. — Diese auffallenden Versuche, welche zugleich die Berichte älterer Geschicht-

Schreiber über die im Mittelalter angestellten Feuerproben bestätigen, finden ihre Erklärung wahrscheinlich darin, daß sich vermöge der starken Ausdünstung der Haut eine dieselbe schützende und die innige Berührung mit dem Metall hindernde Dampf-atmosphäre bildet.

Nicht bloß Wasser, sondern auch andere leicht verdampfende Flüssigkeiten, wie Spiritus, Aether, flüssige Kohlensäure, schwefelige Säure u. dgl. m. nehmen in glühenden Metallgefäßen die sphäroidische Gestalt an. Besonders überraschend ist der folgende, zuerst von Bontigny angestellte Versuch. Wenn man in einen glühenden Tiegel von Platin oder Silber flüssige schwefelige Säure gießt und, nachdem diese die sphäroidische Gestalt angenommen hat, Wasser zusetzt, so gefriert das Wasser und läßt sich als Eis aus dem glühenden Tiegel ausschütten. Das Widersprechende dieses Versuches läßt sich dadurch erklären, daß die flüssige schwefelige Säure schon bei -10° siedet und folglich auch die Temperatur der sphäroidischen Masse diese Temperatur nicht übersteigt. — Faraday hat in einer Mischung aus Schwefeläther und fester Kohlensäure in einem glühenden Platintiegel selbst Quecksilber, welches er in einer Metallschale in die sphäroidische gestaltete Masse tauchte, in Zeit von zwei bis drei Secunden zum Frieren gebracht.

Tafel der Siedepunkte einiger Flüssigkeiten.

Quecksilber	360 ^o	Schwefelkohlenstoff	470
Leinöl	316	Schwefeläther	+35
Schwefelsäure	310	Schwefelige Säure	-10
Terpentinöl	157	Cyan	-18
Wasser	100	Kohlensäure	-78
Alkohol	78		

§. 241. Latente Wärme der Dämpfe.

So wie beim Uebergange der Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand Wärme gebunden wird, so findet dies in noch viel stärkerem Maße beim Uebergange in den luftförmigen Zustand statt. So werden z. B. bei der Verwandlung von einem Pfund Wasser von 100° in Dampf 536° Wärme gebunden; d. h. dieselbe Wärmemenge, welche erforderlich ist, um ein Pfund Wasser von 100° in Dampf zu verwandeln, würde im Stande sein, ein Pfund Wasser von 0° bis 536° oder, was dasselbe sagen will, 10 Pfund Wasser von 0° auf $53,6^{\circ}$ zu erwärmen. — Diese Wärmemenge wird gefunden, indem man eine abgewogene Menge Wasser in einem Kolben zum Sieden bringt und die entstandenen Dämpfe in ein Gefäß leitet, welches eine größere, ebenfalls abgewogene Menge kalten Wassers enthält, und die Erhöhung der Temperatur beobachtet, welche diese Wassermasse in Folge der Condensation der Dämpfe erleidet. Damit diese möglichst vollständig stattfindet, macht das Rohr in dem Gefäße mehrere schlangenförmige Windungen.

Auch bei dem Sieden anderer Flüssigkeiten und der Umwandlung derselben in Dämpfe wird Wärme gebunden. Die Menge dieser Wärme ist jedoch für verschiedene Flüssigkeiten sehr verschieden (z. B. für Alkohol 210° , Schwefeläther 90° u. dgl. m.).

Die große Menge der Wärme, welche bei der Umwandlung des flüssigen Wassers in luftförmiges gebunden wird, ist im Haushalte der Natur von sehr wichtigem Einflusse. Ohne die latente Wärme des Wasserdampfes würde die Verdunstung des Wassers an der Oberfläche der Erde unvergleichlich rascher erfolgen und das in der Atmosphäre enthaltene luftförmige Wasser bei einer Temperaturenniedrigung plötzlich in den gewaltigsten und verheerendsten Regengüssen niederstürzen.

Die Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche erfolgt natürlich am stärksten in der heißen Zone. Ein großer Theil der von den tropischen Meeren emporsteigenden Dämpfe wird durch den beständig, wie wir oben

(S. 234) gesehen, in den oberen Regionen wehenden Aequatorialwind nach höheren Breiten hingeführt und fällt hier, wenn er sich mit der kälteren Luft vermischt, als Regen nieder. Nun werden aber bei dem Uebergang des flüssigen Wassers in den dampfförmigen Zustand über 500^o Wärme gebunden, und dieselbe Wärmemenge wird bei der Condensation der Dämpfe zu flüssigem Wasser wieder frei. Es müssen daher diese Verhältnisse wesentlich dazu beitragen, die Hitze der tropischen Gegenden zu mildern und die Temperatur der vom Aequator entfernteren Theile der Erdoberfläche zu erhöhen.

Auf der latenten Wärme des Wasserdampfes beruht auch die Abkühlung der Luft nach einem Regen, das Verfahren, Gefäße kühl zu erhalten, indem man sie mit nassen Tüchern umgibt, das Gefühl von Kälte, wenn man aus einem Bade steigt u. a. m. Eben so bewirkt die beständige Ausdünstung der Haut, besonders in großer Hitze, eine sehr wohlthätige Abkühlung. Indem mit der Temperatur der Luft, in welcher wir uns befinden, auch die Hautausdünstung und folglich die Menge der gebundenen Wärme zunimmt, wird selbst in der größten Sonnenhitze die Temperatur des Blutes nicht beträchtlich erhöht.

In Spanien wird das Wasser in porösen Thongefäßen, Alcarazas, durch welche es beständig hindurchsickert, kühl gehalten. — Zu Benares in Ostindien gewinnt man in kühlen Nächten Eis dadurch, daß man ein Feld mehrere Zoll hoch mit Stroh bedeckt und auf dieses viele tausend poröse Gefäße mit Wasser stellt, welches sich besonders gegen Morgen, wo sich gewöhnlich ein kühler Wind erhebt, mit einer oft einen Zoll dicken Eisdecke bekleidet.

Die Verdunstung erfolgt um so rascher und die durch dieselbe bewirkte Kälte ist folglich um so größer, je geringer der Luftdruck ist. Unter dem Recipienten der Luftpumpe können bei starker Verdünnung einige Tropfen Wasser in einem Uhrglase, welches man an der Innenseite über einer Dellampe stark mit Ruß überzogen hat, der ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, auch im Sommer oder im geheizten Zimmer zum Frieren gebracht werden. Noch leichter gelingt der Versuch, wenn unter dem Schälchen mit Wasser ein Gefäß mit concentrirter Schwefelsäure aufgestellt ist, welche die gebildeten Wasserdämpfe begierig absorbiert und so die Bildung neuer Dämpfe befördert.

Die große Verdunstungskälte des Wassers zeigt auch der Kryophorus (*τὸ κρύον* das Eis) von Wollaston. Dieser besteht aus einer gläsernen Röhre, welche in zwei

(Fig. 319.)



Kugeln endet, die etwas Wasser enthalten, aber luftleer sind (Fig. 319). Bringt man die eine dieser Kugeln in eine Kälte erregende Mischung (vergleiche oben S. 236), z. B. in eine Mischung von Kochsalz und Schnee, so werden die in derselben enthaltenen Wasserdämpfe condensirt; in Folge hiervon tritt in der anderen, außerhalb der Mischung befindlichen

Kugel eine starke Verdunstung des Wassers ein, welches durch die hiermit verbundene Abkühlung zum Frieren gebracht wird.

Die Verdunstungskälte ist im allgemeinen um so größer, je niedriger der Siedepunkt der verdunstenden Flüssigkeit liegt. Sie ist daher beim Spiritus und besonders beim Schwefeläther beträchtlicher als beim Wasser. Umgibt man die Kugel eines Thermometers mit feiner Leinwand, welche man mit Schwefeläther benetzt, und setzt das Thermometer einem starken Luftzuge aus, so fällt dasselbe, selbst im heißen Sommer, mehrere Grade unter den Eispunkt.

Die höchsten Kältegrade aber, welche man überhaupt künstlich hervorzubringen vermag, entstehen bei der raschen Verdunstung der zu tropfbarer Flüssigkeit verdichteten Gase

der schwefeligen Säure, der Kohlensäure, des Stickstoffoxyduls u. a. m. Man benutzt dieselbe, wie wir schon oben gesehen haben, um die Gase in den festen Zustand überzuführen. Der höchste Grad künstlicher Kälte, welchen Faraday durch die flüssige Kohlensäure zu erhalten vermochte, lag ohngefähr 110° unter dem Eispunkte. Der absolute Alkohol verlor bei -77° an Dünnsflüssigkeit und floß bei -110° wie ein Del.

Die Menge der Wärme, welche beim Uebergange des Wassers aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand gebunden wird, ist nicht für alle Temperaturen dieselbe; die latente Wärme des Dampfes (1) ist vielmehr um so größer, je niedriger seine Temperatur (t) ist. Nach den Untersuchungen von Regnault ist z. B. für

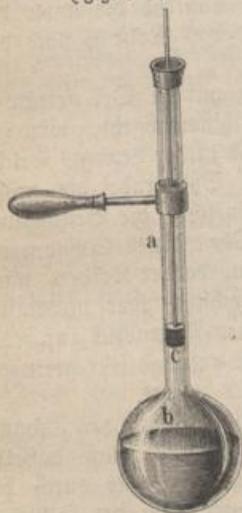
t =	0°	.....	1 =	606°
t =	50	.....	1 =	572
t =	100	.....	1 =	536
t =	150	.....	1 =	501
t =	200	.....	1 =	464

Diese Untersuchungen haben das von Watt aufgestellte Gesetz, daß die Summe aus der freien und latenten Wärme des Dampfes bei allen Temperaturen die nämliche sei, nicht bestätigt.

§. 242. Die Dampfmaschine. (VIII)

Die Dämpfe finden mannichfaltige und nützliche Anwendungen. Wir beschränken uns hier auf die wichtigste, die Dampfmaschine, bei welcher die Elasticität des Wasserdampfes als bewegende Kraft benutzt wird.

(Fig. 320.)

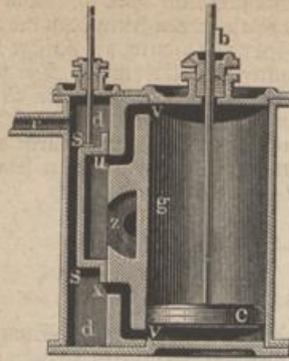


Um überhaupt zu zeigen, wie durch die Kraft der Dämpfe sich eine regelmäßig wechselnde Bewegung bewirken läßt, kann der folgende einfache Versuch dienen. In einem Gefäße b (Fig. 320), welches in einen cylinderförmigen Hals a ausläuft, in dem sich ein dicht anschließender Kolben c auf und nieder bewegen läßt, wird etwas Wasser über einer Spirituslampe erhitzt. So wie das Wasser in's Sieden kommt, treiben die sich entwickelnden Dämpfe den Kolben c gegen den Luftdruck in der cylinderförmigen Röhre empor. Taucht man dann das Gefäß b in kaltes Wasser, so condensiren sich die Dämpfe wieder, der äußere Luftdruck bekommt das Uebergewicht und treibt den Kolben nieder. — Was dieser Versuch, welcher schon 1687 von Papin in Kassel angestellt worden ist, im Kleinen zeigt, macht im Wesentlichen das Prinzip der Dampfmaschine im Großen.

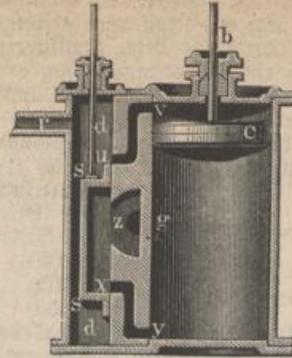
Die wichtigsten Theile einer Dampfmaschine sind der in unserer Figur 321 und 322 nicht abgebildete Kessel, in welchem die Dämpfe entwickelt werden, der Cylinder g, in welchem sich der Kolben c luftdicht auf und nieder bewegt, der (ebenfalls nicht abgebildete) Condensator, ein geschlossener Behälter, in welchem die Dämpfe mit kaltem Wasser in Berührung kommen und sich wieder verdichten, und das Schieberventil ss, welches in dem Kasten dd auf und nieder geht und so abwechselnd den unteren oder oberen Raum des Cylinders mit dem Dampfkessel oder dem Condensator verbindet.

Bei der in Fig. 320 abgebildeten Stellung des Schiebers ss gelangen die Dämpfe aus dem Kessel durch das Rohr r in den Kasten dd und von hier durch den Kanal xy in den unteren Raum des Cylinders und treiben den Kolben c empor. Zugleich entweichen die Dämpfe aus dem oberen

(Fig. 321.)



(Fig. 322.)



Raume des Cylinders durch den Canal uv in den Raum z, welcher durch eine Röhre mit dem Condensator verbunden ist, wo die Dämpfe sich zu tropfbarem Wasser verdichten. Hat dagegen der Schieber ss die in Fig. 322 abgebildete Stellung, so treten die Dämpfe aus dem Kessel durch den Canal uv über den Kolben c und drücken denselben nieder, während die unter dem Kolben befindlichen Dämpfe durch den Canal xy und das Rohr z nach dem Condensator entweichen.

Durch die Kolbenstange, welche bei b durch eine mit in Del getränkten Scheiben ausgefüllte Büchse luft- und dampfdicht hindurchgeht, wird zunächst ein großer Hebelarm, der Balancier, auf und nieder bewegt, welcher durch eine Vorrichtung, die mit dem Knechte am Spinnrade die größte Ähnlichkeit hat, ein großes massives Rad umdreht, welches die Bestimmung hat, den Gang der Maschine gleichmäßig zu erhalten. Ohne dieses Schwungrad würde die Bewegung eine sehr ungleichmäßige sein, da der Kolben, nachdem er durch die Dämpfe im Cylinder bis zum höchsten oder niedrigsten Stande empor- oder herabgetrieben worden ist, für einen Augenblick zur Ruhe kommen und in die entgegengesetzte Bewegung mit einer anfangs sehr geringen, dann aber rasch zunehmenden Geschwindigkeit übergehen würde.

Da das Wasser im Condensator durch die bei der Verdichtung der Dämpfe frei werdende Wärme sich sehr bald erwärmen würde, so muß dasselbe beständig erneuert werden, was durch eine Pumpe geschieht, die durch die Maschine selbst in Bewegung gesetzt wird. Eben so wird auch der Schieber ss durch eine Stange, welche mit dem Balancier verbunden ist und durch eine am oberen Ende des Kastens dd angebrachte Stopfbüchse luftdicht hindurchgeht, auf und nieder geführt u. dgl. m.

Man unterscheidet Maschinen mit niederem, mittlerem und hohem Drucke, je nachdem die Spannkraft der Dämpfe den Druck der Atmosphäre nur wenig oder $1\frac{1}{2}$ bis 3mal oder 3 bis 6mal übertrifft. Bei den Maschinen mit mittlerem und hohem Drucke kann der Condensator ganz wegfallen, da hier die Dämpfe den Gegendruck der Atmosphäre leicht zu überwinden vermögen. Dies ist z. B. bei den Locomotiven der Fall. — Damit die Dämpfe im Kessel, etwa bei zu starker Heizung, eine nicht zu hohe Elasticität erreichen und den Kessel zersprengen, ist an demselben ein mit einem verhältnismäßigen Gewichte beschwertes Ventil angebracht, welches sich öffnet und den Dämpfen einen Abzug gestattet, wenn die Elasticität der Dämpfe eine Gefahr drohende Größe erreicht.

Der Effect einer Dampfmaschine wächst offenbar in gleichem Verhältniß mit der Elasticität der Dämpfe und der Größe der Kolbenfläche*), wobei jedoch ein großer Theil der Kraft durch Reibung verloren geht und ein anderer Theil, welcher auf die Selbststeuerung der Maschine verwendet wird, in Abzug zu bringen ist. Man drückt die wirkliche Leistung einer Dampfmaschine gewöhnlich nach Pferdekraften aus, indem man unter der Kraft eines Pferdes eine Kraft versteht, welche in der Secunde 100 Pfund 5 Fuß hoch zu heben im Stande ist. Eine solche Kraft vermag jedoch ein Pferd nur acht Stunden lang während eines Tages unausgesetzt in Anwendung zu bringen.

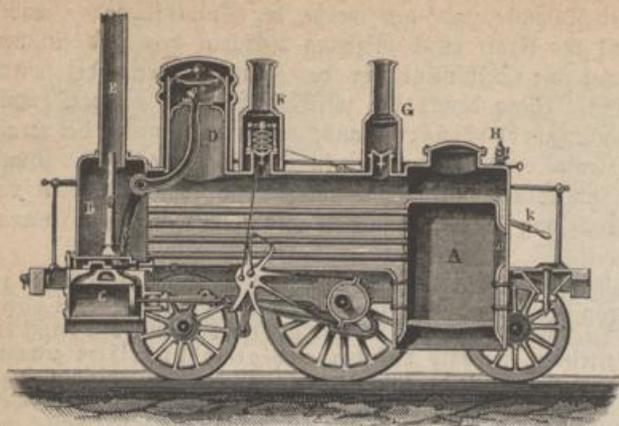
Die erste Dampfmaschine, bei welcher ein Kolben durch die Kraft der Dämpfe gehoben wurde, ist 1705 von Newcomen in England construiert worden. Bei diesen Maschinen wurde jedoch der Kolben durch die Dämpfe nur empor, durch den Druck der Atmosphäre aber niedergedrückt, weshalb dieselben auch atmosphärische genannt wurden. Die Dämpfe wurden unmittelbar im Cylinder selbst durch in denselben eingelassenes Wasser condensirt. Die atmosphärischen Dampfmaschinen verzehrten im Verhältniß zu ihren Leistungen sehr viel Brennmaterial und wurden daher vorzüglich nur in Kohlenbergwerken, um das Grubenwasser fortzuschaffen, angewendet. Im Jahre 1763 construirte Watt in England die erste Dampfmaschine mit einem besonderen Condensator und der Einrichtung, welche dieselbe noch gegenwärtig im Wesentlichen hat.

Von den später an der Dampfmaschine angebrachten Verbesserungen ist als eine der nützlichsten die Anwendung der Ausdehnung, Expansion, des Dampfes als bewegende Kraft anzuführen. Bei den Maschinen ohne Expansion, wie wir sie oben beschrieben haben, tritt der Dampf erst, nachdem der Kolben das eine oder andere Ende des Cylinders erreicht hat, mit seiner vollen Elasticität in die atmosphärische Luft oder den Condensator, und es bleibt daher diese Kraft für die Maschine gänzlich unbenuzt. Bei den Maschinen mit Expansion wird der Dampf schon abgesperrt, nachdem der Kolben nur einen Theil seines Weges im Cylinder durchlaufen hat; während des übrigen Theiles dieser Bewegung wirkt nur die Elasticität des sich ausdehnenden Dampfes auf den Kolben als bewegende Kraft, und erst jetzt, nachdem der Kolben den ganzen Weg vollendet, der Dampf sich in einen größeren Raum ausgedehnt und seine Elasticität sich demgemäß verringert hat, tritt derselbe aus. Die Dampfmaschine mit Expansion wirkt zwar hiernach mit geringerer Kraft, als ohnedies der Fall gewesen sein würde; allein sie spart in einem noch stärkeren Verhältnisse an Dampf und folglich auch an Brennstoff. — Zuweilen sind bei den Expansionsmaschinen zwei Cylinder in der Art verbunden, daß in dem ersten der Dampf mit der vollen Kraft, wie in der Maschine ohne Expansion, auf den Kolben wirkt, aus dem Cylinder dieser Maschine aber zunächst in einen zweiten größeren Cylinder gelangt und aus diesem erst, nachdem er auf den Kolben desselben durch Expansion bewegend eingewirkt hat, in die freie Luft oder in den Condensator austritt.

Fig. 323 stellt einen Längs-, Fig. 324 einen Querschnitt einer Locomotive dar. Die Einrichtung derselben ist im Wesentlichen folgende: Der Feuerraum A befindet sich innerhalb eines großen mit Wasser angefüllten Kastens des Dampffessels, und ist ganz mit Wasser umgeben, mit Ausnahme der Stelle a, wo sich eine Thür zur Einbringung des Brennmaterials befindet. Die hellere Schattirung in Fig. 323 zeigt den Stand des Wassers in dem Dampffessel an. Aus dem Feuerraume A leiten eine Menge Zugröhren, deren Lage die Fig. 324 noch deutlicher zeigt, die Flammen und den Rauch nach dem Räume B und von da in den Schornstein E. Da auf diese Art das Wasser mit einer sehr ausgedehnten erhitzten Metallfläche in Berührung kommt, so wird rasch eine große Menge desselben in Dampf verwandelt, welcher sich in den oberhalb des Kastens angebrachten cylinderförmigen Raum D ausbreitet. In diesen mündet oben bei g eine Röhre, die sich weiter unten in zwei Arme dd theilt, welche Fig. 324 beide darstellt, während in Fig. 323 nur einer derselben abgebildet ist. Durch diese Röhre werden die Dämpfe nach den beiden an der Seite der Locomotive liegenden Cylindern CC und zwar zunächst in den über den Cylindern angebrachten Behälter m fortgeleitet. In diesem be-

*) Nach §. 60 ist der Druck einer Atmosphäre auf einen Quadrat Zoll ohngefähr gleich 15 Pfund.

(Fig. 323.)



(Fig. 324.)



findet sich ein bewegliches Schieberventil, welches bei der in der Fig. 323 abgebildeten Stellung die Dämpfe an die rechte Seite des Kolbens treten läßt, während die an der linken Seite befindlichen Dämpfe in den Raum n entweichen und aus diesem durch die Röhren o und p in den Schornstein E fortgeführt werden.

Bei F und G sind Sicherheitsventile angebracht, und H ist die Dampfpfeife, durch welche Signale gegeben werden. Eine an der unteren Seite der Locomotive angebrachte Hebelvorrichtung i, welche der Locomotivführer mittelst des Hebelarmes k niederdrücken oder in die Höhe ziehen kann, gestattet die durch die Maschine selbst bewirkte Steuerung des Schieberventils nach Willkür in der Art abzuändern, daß die Drehung der Räder sowohl in der einen als in der entgegengesetzten Richtung bewirkt und die Locomotive sowohl vorwärts als rückwärts bewegt werden kann.

Im Jahre 1807 kamen zuerst die Dampfschiffe in Amerika und 1815 die Locomotiven auf Eisenbahnen in England und zwar zunächst für Kohlentransport, dann 1830 auch für die Beförderung von Personen in Gebrauch*).

Weiterhin sind noch auf andere Principien gegründete Bewegungsmaschinen construiert worden, von dem Schweden Ericsson (1853) die calorische Maschine, bei welcher ein Kolben in einem Cylinder durch abwechselnde Erwärmung und Abkühlung und hierdurch bewirkte Ausdehnung und Zusammenziehung der in dem Cylinder enthaltenen atmosphärischen Luft in Bewegung gesetzt wird, und die Gasmaschine von dem Franzosen Lenoir (1858?), bei welcher ein in einem Cylinder eingelassenes Gemenge von (viel) atmosphärischer Luft und (wenig) Leuchtgas entweder durch einen electrischen Funken oder durch ein Gasflämmchen, welches mittelst eines Spieglers von dem inneren Raume des Cylinders abgesperrt und mit demselben in Verbindung gesetzt werden kann, entzündet und die durch die Explosion erzeugte motorische Kraft zur Bewegung des in dem Cylinder befindlichen Kolbens benutzt wird.

§. 243. Dämpfe mit Gasen vermischt.

Im Vorhergehenden haben wir die Dämpfe hauptsächlich nur in dem Falle betrachtet, daß dieselben einen Raum allein erfüllen. Wir haben nun noch das Verhalten derselben kennen zu lernen, wenn in einem Raume Dämpfe zugleich mit permanenten Gasen vorhanden sind, wie dies z. B. bei der atmosphärischen Luft beständig der Fall ist, welche außer permanenten Gasen jederzeit auch Wasserdampf enthält.

Ueber diesen Fall führen wir zunächst das von dem Engländer Dalton (1802) aufgestellte und nach ihm benannte Gesetz an: Wenn in einem

*) Ausführlichere Belehrung über die Einrichtung der Dampfmaschine und die Geschichte der Erfindung gewährt das Werk: "Die gesammten Naturwissenschaften" 2. Aufl. (Essen, G. D. Völkner) B. 1, S. 247 u. f.

mit atmosphärischer Luft oder anderen Gasen erfüllten Raume Wasser oder eine andere Flüssigkeit verdunstet, (deren Dämpfe zu den vorhandenen Gasen keine chemische Verwandtschaft haben), so ist für den mit Gasen erfüllten Raum die Elasticität und folglich auch die Menge der Dämpfe, welche derselbe bei einer bestimmten Temperatur zu fassen vermag, eben so groß als für einen gänzlich leeren Raum von gleicher Temperatur und Größe. Der Unterschied ist nur der, daß in einem leeren Raume die Dampfbildung fast augenblicklich, in einem mit Gasen bereits erfüllten Raume allmählich erfolgt. Die Elasticität des Gemenges von Gasen und Dämpfen ist aber gleich der Summe der Elasticitäten der einzelnen Bestandtheile.

Wie wir schon im Vorhergehenden gesehen haben, vermag ein Raum um so mehr Dämpfe zu fassen, je höher seine Temperatur ist. Ist ein Raum mit Dämpfen gesättigt, d. h. sind in demselben wirklich so viele Dämpfe vorhanden, als derselbe vermöge der stattfindenden Temperatur zu fassen vermag, so muß jede Erniedrigung der Temperatur mit einer Condensation eines Theiles der vorhandenen Dämpfe verbunden sein. Dasselbe muß auch bei einem nicht mit Dämpfen gesättigten Raume eintreten, wenn die Temperatur desselben unter denjenigen Punkt herabgeht, bei welchem die in dem Raume vorhandenen Dämpfe denselben sättigen würden. Dieser Punkt, unter welchem die Temperatur eines Raumes nicht erniedrigt werden darf, ohne daß ein Niederschlag eines Theiles der vorhandenen Dämpfe erfolgt, wird der Thaupunkt genannt.

Wenn man in einen Raum, in welchem sich Dämpfe befinden, einen Körper bringt, dessen Temperatur unter dem Thaupunkte liegt, so schlagen sich die mit dem kälteren Körper in Berührung kommenden und hierdurch abgekühlten Dämpfe an demselben nieder. Auf diese Art kann man sich leicht überzeugen, daß in der atmosphärischen Luft jederzeit Dämpfe vorhanden sind. Eben so beruht hierauf das Bethauen der durch die äußere Luft abgekühlten Fensterscheiben eines erwärmten Zimmers zur Herbst- oder Winterzeit, ferner das so genannte Schwitzen der Steine, wenn nach vorhergegangener kälterer Witterung wärmere Witterung eintritt und die Steine noch nicht die Temperatur der wärmeren, feuchten Luft angenommen haben u. dgl. m.

Die Menge der in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe bestimmt den Feuchtigkeitsgehalt derselben. Wir unterscheiden absolute und relative Feuchtigkeit und verstehen unter absoluter Feuchtigkeit die Menge der in einem Raume vorhandenen Dämpfe, unter relativer Feuchtigkeit aber das Verhältniß der wirklich in einem Raume vorhandenen Dampfmenge zu derjenigen, welche derselbe bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag. In der Sprache des gewöhnlichen Lebens wird unter Feuchtigkeit fast ausschließlich die relative verstanden. Haben ein kalter Wintertag und ein warmer Sommertag gleichen absoluten Feuchtigkeitsgehalt, so kann an ersterem die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt sein, und wir erklären dieselbe daher für sehr feucht, während wir die Luft an dem Sommertage als (relativ) trocken bezeichnen, weil dieselbe wegen der höheren Temperatur noch Wasserdampf in großer Menge zu fassen vermag. — Je größer bei irgend einer Temperatur der Luft die relative Feuchtigkeit derselben ist, um so weniger tief liegt der Thaupunkt unter der Temperatur der Luft. Ist die Luft mit Dämpfen gesättigt, so fallen beide Temperaturen zusammen.

Die in der Luft vorhandenen Wasserdämpfe verdanken ihren Ursprung offenbar der Verdunstung des an der Erdoberfläche vorhandenen Wassers. Die Menge der Dämpfe, welche eine Wassermasse in einer bestimmten Zeit liefert, ist unter übrigens gleichen Umständen um so größer, je größer die Oberfläche, je höher die Temperatur der verdunstenden Wassermasse und je trockener die über derselben befindliche Luft ist. Die Verdunstung wird ferner durch den Wind befördert, indem derselbe einen beständigen Wechsel der Luftschichten herbeiführt, in Folge dessen die über der verdunstenden Wasserfläche lagernden, mit Dämpfen mehr geschwängerten Schichten durch trockenere ersetzt werden.

Um die Größe der täglichen oder jährlichen Verdunstung zu finden, stellt man im Freien Gefäße mit Wasser, welche man durch ein in einiger Höhe angebrachtes Dach gegen den Regen schützt, (Atmometer), auf und beobachtet, um wie viel sich das Wasser in Folge der Verdunstung vermindert. Diese Instrumente können jedoch aus bald einleuchtenden Gründen nur ein sehr ungenaues Maß der Größe der an der Erdoberfläche wirklich stattfindenden Verdunstung geben.

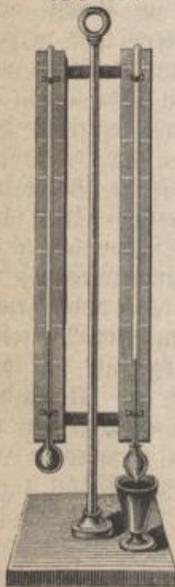
Manche Substanzen besitzen die Eigenschaft, aus der feuchten Luft Dämpfe einzusaugen und zu condensiren und zwar in um so größerer Menge, je feuchter die Luft ist, in trockener Luft aber einen Theil der eingesogenen und condensirten Dämpfe wieder abzugeben. Man nennt dergleichen Substanzen hygroskopische. Es gehören dahin Holz, Papier, Fischbein, Darmsaiten, viele Salze, besonders Chlorcalcium u. a. m.

§. 244. Hygrometrie.

Von großer Wichtigkeit ist die Frage nach dem jedesmaligen Feuchtigkeitsgehalte der Luft. Die Beantwortung derselben ist nicht bloß für den Physiker, sondern von einem ganz allgemeinen Interesse, da hiervon auch die größere oder geringere Wahrscheinlichkeit atmosphärischer Niederschläge, Regen oder Schnee, abhängt.

Ist die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt, so gibt die am Ende dieses Paragraphen beigelegte Tabelle die Elasticität des vorhandenen Wasserdampfes

(Fig. 325.)



an, woraus sich dann auch leicht die Dichtigkeit desselben ableiten läßt. Ist die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt, so wird man zu dem Ergebnisse gelangen können, wenn man die Temperatur des Thaupunktes kennt. Der Thaupunkt aber wird gefunden, wenn man einen Körper ganz allmählich erkaltet, bis sich auf demselben ein Niederschlag der in der Luft vorhandenen Dämpfe zeigt, und die Temperatur beachtet, bei welcher dieser Niederschlag zuerst entsteht.

Da jedoch die genaue Bestimmung des Thaupunktes schwierig und zeitraubend ist, indem jede Beobachtung einen besonderen Versuch erfordert, so hat August in Berlin (1829) ein Instrument angegeben, mit Hilfe dessen sich auch ohne directe Bestimmung des Thaupunktes der Feuchtigkeitsgehalt der Luft ermitteln läßt. Dieses Instrument, welches den Namen Psychrometer führt, besteht aus zwei genau übereinstimmenden neben einander aufgehängten Thermometern, bei welchen die Kugel des einen mit Mouffelin umwickelt ist, der in ein unmittelbar darunter stehendes Gefäß mit Wasser reicht und hierdurch beständig feucht erhalten wird. Von diesen beiden Thermometern zeigt das trockenere die Tem-

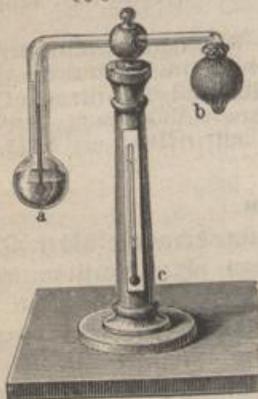
peratur der Luft an; das andere aber, dessen Kugel mit feuchtem Mouffelin umwickelt ist, muß in Folge der durch die Verdunstung des Wassers herbeigeführten Wärmebindung etwas niedriger stehen. Je trockener die Luft ist, um so rascher muß die Verdunstung geschehen und um so größer auch die hierdurch bewirkte Abkühlung sein. Umgekehrt wird man daher auch aus dem verschiedenen Stande des trockenen und des angefeuchteten Thermometers auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft schließen und denselben mit Hilfe besonders zu diesem Zwecke berechneter Tabellen bestimmen können. Wenn die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt ist, also keine Verdunstung stattfinden kann, so stehen beide Thermometer gleich hoch und zeigen dann unmittelbar die Temperatur des Thaupunktes an. — Da die Schnelligkeit der Verdunstung nicht bloß von der relativen Trockenheit der Luft, sondern auch von der Stärke des Windes abhängt, so muß man das Psychrometer im Freien an einem gegen starken Luftzug geschützten Orte unter künstlicher Erregung eines mäßigen Luftzuges beobachten.

Durch hygrometrische Beobachtungen hat man gefunden, daß der absolute Feuchtigkeitsgehalt am Tage größer als in der Nacht und im Sommer größer als im Winter ist, was sich leicht aus der Wirkung der Sonnenstrahlen erklärt. Dagegen ist die Luft einige Stunden nach Mittag (zur Zeit der größten Tageswärme) und im Mai relativ am trockensten und des Morgens vor Sonnenaufgang und gegen Ende Dezember relativ am feuchtesten.

Für Berlin beträgt nach Dove die mittlere jährliche Elasticität der in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdämpfe 3,25 Bar. Linien. Sie ist in den beiden kältesten Monaten Januar und Februar am kleinsten und beträgt nicht ganz 2 Linien; in den beiden wärmsten Monaten Juli und August aber ist sie am größten und erreicht beinahe 5 Linien.

Zur directen Bestimmung des Thaupunktes eignet sich besonders das von Daniell angegebene und in Fig. 326 abgebildete Hygrometer. Dasselbe besteht aus einer

(Fig. 326.)



gebogenen Röhre, welche sich unten jederseits in eine Kugel endigt. Die Kugeln und die Röhre sind luftleer und enthalten etwas Schwefeläther. Die eine Kugel a ist mit Mouffelin umwickelt, die andere Kugel b aber ist mit einer vergoldeten Zone versehen und enthält inwendig die Kugel eines feinen Thermometers. Außerdem ist noch äußerlich an dem Stativ bei c ein Thermometer zur Beobachtung der Lufttemperatur angebracht. Beim Gebrauche läßt man allen Schwefeläther aus der Kugel b in die Kugel a übertreten und tröpfelt dann auf den Mouffelin der Kugel b etwas Schwefeläther. Die mit der Verdunstung desselben verbundene Abkühlung bewirkt eine Condensation der in dieser Kugel enthaltenen Schwefelätherdämpfe, was eine Verdunstung und allmähliche Abkühlung des Schwefeläthers in der Kugel a herbeiführt. So wie in Folge hiervon die Temperatur derselben bis unter den Thaupunkt herabgegangen ist, zeigt sich auf der vergoldeten Zone ein Niederschlag. Das in dieser Kugel eingeschlossene Thermometer gibt hiernach in dem Augenblicke, in welchem der Niederschlag erscheint, eine etwas niedrigere Temperatur als die des Thaupunktes an. Man beobachtet daher, bei welcher Temperatur dieser Niederschlag wieder verschwindet, und nimmt das Mittel zwischen der Temperatur, bei welcher sich der Niederschlag zuerst zeigte, und der Temperatur, bei welcher derselbe wieder verschwand, als den wahren Thaupunkt an. Ganz genaue Resultate sind jedoch mit diesem Instrumente schwierig und nur unter Beobachtung besonderer Vorsichtsmaßregeln, auf welche wir hier nicht näher eingehn können, zu erzielen.

Von den beiden folgenden Tabellen gibt die erste die der Temperatur t entsprechende Elasticität e des Wasserdampfes im Maximum der Dichtigkeit und die zweite unter der Ueberschrift e' an, um wie viel diese Größe nach Maßgabe der Differenz d des

trockenen und des feuchten Thermometers zu vermindern ist. Die Werthe von e und e' sind in Pariser Linien ausgedrückt.

Tafel I.

t	e	t	e	t	e	t	e
-10 ^o	1,10	0 ^o	2,24	10	4,35	20	8,07
9	1,18	+1	2,40	11	4,64	21	8,57
8	1,27	2	2,57	12	4,94	22	9,09
7	1,37	3	2,75	13	5,26	23	9,64
6	1,47	4	2,94	14	5,60	24	10,22
5	1,58	5	3,14	15	5,96	25	10,82
4	1,69	6	3,36	16	6,34	26	11,46
3	1,82	7	3,59	17	6,74	27	12,13
2	1,95	8	3,83	18	7,16	28	12,84
1	2,09	9	4,08	19	7,61	29	13,58

Tafel II.

d	e'
1	0,26
2	0,53
3	0,79
4	1,06
5	1,32
6	1,58
7	1,84
8	2,10
9	2,36
10	2,61

Den Gebrauch dieser Tafel mögen folgende Beispiele erläutern:

1) Es sei die Temperatur der Luft = 18^o und das Daniell'sche Hygrometer gebe die Temperatur des Thaupunktes = 11^o, so ist nach der ersten Tafel die Elasticität des Wasserdampfes $X = 4,64$.

2) Es sei ferner am Psychrometer beobachtet das trockene Thermometer $t' = 22^o$, das feuchte $t = 15^o$, also $d = 7^o$; dann ist aus der ersten Tafel $e = 5,96$ aus der zweiten Tafel $e' = 1,84$ also die Elasticität des Wasserdampfes $X = 4,12$

3) Ist $t' = 22,3^o$, $t = 14,8^o$, also $d = 7,5^o$, so ist nach einer leichten Interpolation aus Tafel I. $e = 5,89$ und aus der Tafel II. $e' = 1,97$ also die Elasticität des Wasserdampfes $X = 3,92$

Ist aber die Elasticität des Wasserdampfes bekannt, so läßt sich hieraus auch die Dichtigkeit desselben leicht herleiten, da dieselbe $\frac{5}{8}$ von der Dichtigkeit einer Luftmasse von gleicher Elasticität und Temperatur ist.

Früher wendete man zur Beurtheilung des relativen Feuchtigkeitsgehaltes der Luft auch hygroskopische Substanzen an. Die aus diesen construirten Instrumente geben jedoch weder genaue noch übereinstimmende Resultate. Die meiste Verbreitung hat das Haarhygrometer von Saussure gefunden, bei welchem die Ausdehnung oder Verkürzung, welche ein Haar in feuchterer oder trockener Luft erfährt, zum Maße der relativen Feuchtigkeit dient.

§. 245. Nebel, Wolken.

Befindet sich in einem Gefäße Wasser, welches eine bedeutend höhere Temperatur hat, als die umgebende Luft, so erblickt man über demselben einen aufsteigenden Schwaden oder Dunst, durch welchen die Durchsichtigkeit der Luft getrübt wird. Indem nämlich die von der heißen Flüssigkeit emporsteigenden Dämpfe in kältere Luftschichten gelangen, verdichten sie sich zu tropfbarflüssigem Wasser und zwar zunächst in der Gestalt sehr kleiner Kugeln oder Dunstbläschen*), welche äußerlich von einem dünnen Wasserhäutchen umgeben, innerlich mit Luft gefüllt sind und die größte Aehnlichkeit mit den Seifenblasen haben, von denen sie sich nur durch ihre außerordentliche Kleinheit unterscheiden. Sie werden in der Luft schwebend erhalten, theils durch ihre außerordentliche Kleinheit, wie ja Aehnliches auch von den so genannten Sonnenstäubchen gilt; theils werden sie durch die von der wärmeren Flüssigkeit aufsteigenden Luftströme emporgetrieben.

*) Die vorzüglich von Saussure behauptete Existenz von Dunstbläschen wird von neueren Beobachtern geläugnet.

Eine ganz gleiche Entstehung haben die Nebel, welche man besonders im Herbst des Abends über Flüssen, Teichen oder feuchten Wiesen, wenn das Wasser oder der Erdboden eine höhere Temperatur als die Luft hat, ferner im Winter besonders bei großer Kälte, über offenen, quellenreichen Gewässern erblickt. Diese Nebelmassen scheinen bei windstillem Wetter unbeweglich an derselben Stelle zu bleiben; bei aufmerkhamerer Beobachtung bemerkt man jedoch eine lebhafte Bewegung und ein beständiges Aufsteigen der Dunstbläschen oder Kügelchen in denselben. — Nebel können übrigens nicht bloß in den angeführten Fällen, sondern überhaupt entstehen, wenn sich feuchte warme Luftmassen mit kälteren vermischen.

Von den Nebeln sind die Wolken nur durch die größere Höhe, in welcher sie schweben, verschieden, wie man, zumal in gebirgigen Gegenden, sich leicht überzeugen kann. Ein Beobachter im Thale erblickt den Gipfel eines Berges von Wolken eingehüllt, während ein Beobachter auf dem Berge selbst sich von einer Nebelmasse umgeben sieht. — Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß die Wolken sich bis zu jeder Tiefe herabsenken können. Die größte Höhe, bis zu welcher sich dieselben erheben, kennt man nicht. Zu den am niedrigsten hinziehenden Wolken gehören im allgemeinen die Regenwolken, zu den höchsten die so genannten Schäfchen. Auch auf den Gipfeln der höchsten Berge so wie in den größten Höhen, welche Luftschiffer erreichten, haben Beobachter noch Schäfchen von demselben Ansehen, wie man dieselben von der Ebene aus sieht, über sich erblickt. — Bei der von Biot und Gay-Lussac am 24. August 1804 unternommenen Luftfahrt durchschnitten sie in der Höhe von 3700 Fuß eine Wolken-schicht, welche, von oben her gesehen, das Ansehen einer wellenförmigen beschneiten Fläche darbot.

Die Wolken entstehen so wie der Nebel durch die Vermischung feuchter und wärmerer Luftschichten mit kälteren. (Wenn wir im Winter im Freien athmen, so schlagen sich die ausgeathmeten Dämpfe in Form einer Wolke nieder). Eben so wie in den Nebeln finden auch in den Wolken beständige Bewegungen statt; nicht leicht behält eine Wolke längere Zeit die nämliche Gestalt bei. In den Gebirgen sieht man häufig die Wolkenbildung an den Gipfeln der höchsten Berge ihren Anfang nehmen. Nicht selten sind bei übrigens heiterem Himmel die höheren Gebirge in Wolken eingehüllt. Der Grund dieser Erscheinung dürfte darin bestehen, daß die in wagerechter Richtung bewegten Luftmassen durch die Gebirge emporzusteigen genöthigt werden, und indem sie so in höhere und kältere Regionen gelangen, sich die Dämpfe derselben condensiren, weshalb auch in den Gebirgen die jährliche Regenmenge größer als in den benachbarten Ebenen ist.

Daß die Wolken gewöhnlich in größeren Höhen schweben, seltener als Nebel auf der Erdoberfläche lagern, hat seinen Grund hauptsächlich in der mit der Höhe abnehmenden Lufttemperatur. Die durch Verdunstung vom Meerwasser aufsteigenden Dämpfe müssen sich nämlich verdichten, so wie sie bei ihrem Emporsteigen in eine Luftschicht von hinreichend niedriger Temperatur gelangen. Die Höhe, in welcher diese Verdichtung erfolgt, wird um so geringer sein, je höher in Vergleich der Temperatur der Luft die Temperatur des Meerwassers ist. Die Nebel gehören daher vorzugsweise dem Winter und den kälteren Climates an; dagegen müssen im allgemeinen die Wolken im Sommer in größerer Höhe als im Winter, in heißen Climates höher als in kälteren schweben. — Ueberdies haben wir uns eine Wolke keineswegs

als einen beständig aus der nämlichen Masse bestehenden Körper zu denken. Nicht selten sieht man vom Thale aus auf dem Gipfel eines Berges eine Wolke ruhen, deren Lage und Gestalt längere Zeit scheinbar dieselbe bleibt, während ein Beobachter in der Nebelmasse selbst die lebhaftesten Bewegungen wahrnimmt. Eben so kann es geschehen, daß eine frei schwebende Wolke sich allmählich senkt, und indem sie in wärmere Luftschichten gelangt, die Dunstbläschen oder Kügelchen derselben sich wieder auflösen, während die Dämpfe aufsteigender wärmerer und feuchterer Luftströme, so wie sie in die kälteren Regionen kommen, sich zu Dunstbläschen oder Kügelchen verdichten und die Wolke erneuern, welche, von der Ebene aus gesehen, beständig an derselben Stelle zu schweben scheint.

Da die Dichtigkeit des Wasserdampfes in stärkerem Verhältnisse als die Temperatur wächst, so kann bei der Vermischung einer wärmeren und einer kälteren Luftmasse selbst dann ein Niedererschlag erfolgen, wenn beide nicht vollständig mit Dämpfen gesättigt sind. Es erklärt sich hieraus auch der Dunst beim Athmen in kalter Luft, ferner die Erscheinung in nördlichen Ländern, daß beim Eindringen der kalten Luft in geheizte Zimmer sich ein feiner Schnee bildet.

Der Engländer Howard hat die Wolken zweckmäßig in die folgenden Klassen eingetheilt:

- 1) Die Federwolke (cirrus), welche sich gewöhnlich zuerst am heiteren Himmel zeigt und das Ansehen feiner Streifen oder Flocken hat.
- 2) Die Haufenwolke (cumulus). Man sieht dieselben besonders im Sommer wie große schwere Massen am Himmel schweben. Von der Sonne beschienen erscheinen sie weiß, und in der Nähe des Horizontes nehmen sie das Ansehen ferner Gebirge an.
- 3) Die Schichtwolke (stratus), welche, scheinbar wagerecht ausgebreitet, große Strecken des Himmels bedeckt.
- 4) Die Regenwolke (nimbus).

Uebergangsformen sind die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), gewöhnlich Schäfschen genannt, die federige Schichtwolke (cirro-stratus) und die geschichtete Haufenwolke (cumulo-stratus).

Von den eigentlichen feuchten Nebeln gänzlich verschieden sind die trockenen Nebel, welche aus der Atmosphäre beigemischten sehr kleinen Theilen fester Körper bestehen und mit den feuchten Nebeln nur dies gemeinschaftlich haben, daß sie ebenfalls der Luft ihre Durchsichtigkeit entziehen. Zu denselben gehört der sogenannte Haarrrauch oder Höhenrauch, welcher, wie schon sein Name sagt, aus Rauchtheilen besteht, die in großen Verbrennungsprozessen ihren Ursprung haben. Derselbe ist besonders im Frühjahr im nordwestlichen Deutschland in Folge des Abbrennens der Torfmoore Ostfrieslands sehr häufig und wird in der unmittelbaren Nähe dieser Gegenden auch Moorrauch genannt.

§. 246. Regen, Schnee, Hagel;

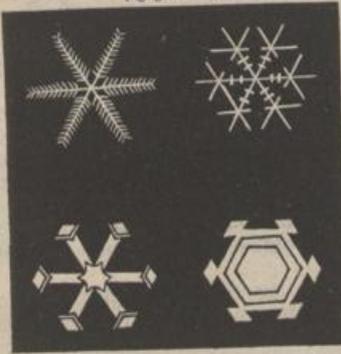
Wenn die Dunstbläschen oder Kügelchen in einer Wolke sich in zu großer Menge anhäufen, so sammeln sie sich in Tropfen und fallen als Regen nieder. Die Menge des niederfallenden Regens wird gemessen, indem man denselben in Gefäßen mit senkrechten Wänden (Ombrometern), welche man im Freien aufstellt, auffängt und die Höhe beobachtet, bis zu welcher das Regenwasser in diesen Gefäßen steigt. Bis zu der nämlichen Höhe müßte dasselbe auch die Erdoberfläche bedecken, wenn es nirgends einen Abfluß hätte und nicht durch die Verdunstung vermindert würde.

Die Menge des jährlichen Regens ist für verschiedene Jahre an dem nämlichen Orte sehr verschieden; sie kann in einem Jahre mehr als doppelt so groß als in einem anderen sein. In der heißen Zone ist die jährliche Regenmenge beträchtlich größer als in der gemäßigten und kalten Zone, was sich leicht aus der durch die größere Wärme bewirkten stärkeren Verdunstung erklärt. In den niederen Breiten stürzt der Regen in weit

stärkeren und dichterem Güssen nieder als in höheren Breiten. Dagegen nimmt die Zahl der Regentage im allgemeinen mit der Breite zu. Bei Orten, welche unter derselben Breite liegen, wird das Verhältniß der jährlichen Regenmenge und die Zahl der Regentage vorzüglich durch die Nähe des Meeres und die herrschende Windesrichtung bedingt. Da in den tropischen Gegenden die östlichen, in den gemäßigten Zonen die westlichen Winde überwiegen, so sind dort die östlichen, hier die westlichen Küsten die an Regen reichern. So zeichnen sich insbesondere die westlichen Küsten von Europa und in Amerika Oregon, Californien und Patagonien durch häufige und reichliche Regen aus. — Von wesentlichem Einflusse auf die Menge und Häufigkeit des Regens sind ferner hohe Gebirgszüge, indem dieselben, wie wir schon im vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, überhaupt die Wolkenbildung und also auch die Entstehung des Regens begünstigen. Außerdem ist aber auch die Lage und Richtung derselben von großem Einflusse auf die Menge und Häufigkeit des Regens, wozu das in der Richtung von Norden nach Süden durch ein hohes Alpengebirge durchschnittene Scandinavien ein höchst auffallendes Beispiel liefert. Indem die durch westliche Winde herbeigeführten Regenwolken sich vorzüglich an der Westseite dieses Gebirges entladen, hat z. B. Bergen eine den Tropenländern gleiche und eine vier- bis fünfmal größere Regenmenge als das östlich gelegene Stockholm oder das südlich gelegene Kopenhagen. Ueber offenen Meeren regnet es (nach Maury und Dampier) verhältnißmäßig selten.

Wenn die Condensation der Dämpfe in solchen Luftschichten erfolgt, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkte liegt, so verdichten sich dieselben nicht zu Dunstbläschen, sondern zu kleinen Schneetheilchen, welche bei stärkerer Anhäufung als Schneeflocken niederfallen.

(Fig. 327.)



Jängt man dieselben mit einem unter 0° erkalteten Körper auf, so sieht man, daß sie gewöhnlich die Gestalt regelmäßiger, sechsseitiger Sterne haben, wovon Fig. 327 einige Beispiele zeigt. Gelangen die Schneeflocken bei ihrem Niederfallen in Regionen, deren Temperatur mehrere Grade über Null liegt, so lösen sie sich zu Regen auf. Auf diese Art geschieht es häufig, daß auf den Bergen Schnee fällt, während es im Thale regnet.

Eine der merkwürdigsten Naturerscheinungen ist der Hagel, für dessen Entstehung zur Zeit eine ganz gesicherte Theorie noch fehlt.

Der kleinere Hagel, welchen man gewöhnlich Graupeln nennt, ist am häufigsten im Winter und Frühjahr, der größere Hagel dagegen, welcher in manchen Gegenden Schlossen genannt wird, im Sommer. Die Graupeln haben meistens eine rundliche Gestalt, sie sind stets undurchsichtig und haben fast die weiße Farbe des Schnees; ihr Durchmesser beträgt meist noch keine Linie. — Die Schlossen sind gewöhnlich länglich-rund, fast birnförmig; sie bestehen meist aus einem undurchsichtigen, den Graupeln ähnlichen Kerne, welcher von einer durchsichtigen Eiserinde umgeben wird. Größere Hagelkörner sind aus abwechselnden durchsichtigen und undurchsichtigen Schichten zusammengesetzt. Ihr Durchmesser erreicht zuweilen die Größe von mehreren Bollen. — Dem Niederfallen der Schlossen geht gewöhnlich ein starkes Geräusch in der Luft voraus, welches wahrscheinlich durch die auf einander treffenden Körner erzeugt wird; gewöhn-

lich sind die Schlossen von Blitz und Donner geleitet. — Die vom Hagel getroffenen Gegenden bilden in der Regel lange schmale Streifen. — Der Hagel gehört vorzüglich der gemäßigten Zone an. In der heißen Zone gehört derselbe, besonders in den Ebenen, zu den seltenen Erscheinungen; in der kalten Zone kommen häufig Graupeln, dagegen nur selten Schlossen vor.

(Fig. 328.)

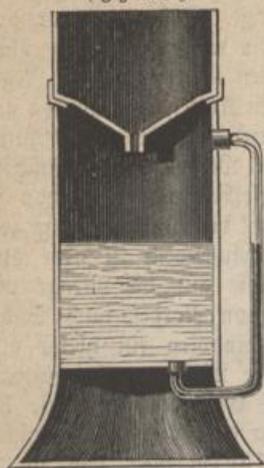


Fig. 328 stellt einen Regenmesser nach der einfachsten Einrichtung dar. Derselbe besteht aus zwei cylindrischen dicht auf einander passenden Gefäßen von genau gleichem Durchmesser, von denen das obere, um die Verdunstung des sich in dem unteren ansammelnden Regenwassers möglichst zu verhindern, unten in einen engen Trichter ausläuft. An der Außenseite des unteren Gefäßes ist ein mit demselben communicirendes Glasrohr angebracht, an welchem sich der Stand des Wassers in diesem Gefäße erkennen läßt.

In Deutschland kommen auf das Jahr etwa 146 Regentage; die Zahl der Regentage des Sommers ist von der des Winters nicht erheblich verschieden; die Menge des Regens ist dagegen im Sommer beträchtlich größer als im Winter. Bei einem Gewitter fällt im Sommer oft mehr Regen auf einmal nieder als im Winter in mehreren Wochen. Die jährliche Regenmenge beträgt für Prag etwa 14, Wien 16, Berlin 22, für Göttingen 25, für Straßburg 26 Par. Zoll; sie steigt zu Clausthal am Harze bis auf 55 Zoll, indem an diesem höchsten Gebirge des nordwestlichen Deutschlands die von

der See her wehenden Regenwinde ihren Feuchtigkeitsgehalt besonders reichlich entladen. Die jährliche Regenmenge beträgt im Mittel in der heißen Zone 70—80 Zoll, in der gemäßigten 30 Zoll und noch weniger in der kalten Zone.

In einem großen Theile der heißen Zone unterscheidet man zwei Jahreszeiten, die nasse und die trockene Zeit. Die erstere fällt im allgemeinen mit den Monaten zusammen, in denen die Sonne am höchsten steht, die letztere mit den Monaten, in welchen sich die Sonne am weitesten vom Zenith entfernt. Orte, welche nicht allzu weit vom Aequator abstehen und daher die Sonne zweimal im Jahre im Zenith, zweimal in beträchtlicher Entfernung von derselben erblicken, haben mehrtheils zwei nasse und zwei trockene Jahreszeiten, die vom Aequator entfernteren Orte nur eine nasse und eine trockene Jahreszeit. Während der ersteren stürzt der Regen zu gewissen Tagesstunden in den stärksten, von heftigen Gewittern begleiteten Stößen nieder; in den übrigen Tagesstunden ist der Himmel wieder heiter. Der aufsteigende Luftstrom, welchen die große Erhitzung der Erdoberfläche durch die senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen täglich veranlaßt, führt große Massen warmer und feuchter Luft in die oberen Regionen, wo sich die Dämpfe derselben condensiren. Mit der Entfernung der Sonne vom Aequator nimmt auch die Menge und Dauer des täglichen Regens ab, bis derselbe allmählich ganz aufhört und bei unausgesetzt wehendem Passat der Himmel beständig klar ist. — In den Gegenden der Moussons führen die Seewinde die nasse, die Landwinde die trockene Jahreszeit herbei.

In denjenigen Gegenden der heißen Zone dagegen, wo im offenen Meere oder an den Küsten das ganze Jahr hindurch die Passate regelmäßig wehen, ist der Himmel fast beständig heiter und der Regen höchst selten. — Auch in anderen Gegenden, in der Sahara, in Oberägypten, an den Küsten von Arabien, auf der Hochebene von Iran in Persien fehlt der Regen fast gänzlich, indem die trockene Luft über diesen durch die Sonnenstrahlen stark erhitzten Ebenen die durch Winde herbeigeführten Dünste wieder auflöst. Nur wo in diesen Gegenden sich Berge erheben, ist der Regen wieder häufiger. Auch an den westlichen Küsten von Peru und Bolivia ist der Regen fast unbekannt; es haben nämlich die in dem tropischen Südamerika vorwaltend von Osten, also vom atlantischen Ocean her wehenden und mit Dämpfen geschwängerten Winde ehe sie den schneebedeckten Stamm der Cordilleren übersteigen, in den mächtigsten Regengüssen, denen drei der größten Ströme der Erde, der Laplata, der Orinoko und der Amazonenstrom, ihre Entstehung verdanken, ihren Dampfgehalt entleert und können daher, indem sie sich an der anderen Seite dieser Gebirgskette in wärmere Gegenden herabsenken, keine Dämpfe mehr abgeben.

C. Specifische Wärme.

*§. 247. Bestimmung der specifischen Wärme.

Wenn man ein Pfund Wasser von 10° mit einem Pfunde Wasser von 30° vermischt, so zeigen beide Pfunde Wasser nach der Mischung 20° *); indem also das eine Pfund Wasser 10° Wärme abgegeben hat, hat das andere eben so viel gewonnen. Ueberhaupt ist, wenn man zwei gleiche Quantitäten der nämlichen Materie, welche eine ungleiche Temperatur haben, mit einander mischt, die Temperatur des Gemenges gleich dem arithmetischen Mittel der Temperaturen beider Gemengtheile**). Dieses ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn man gleiche Gewichtstheile verschiedener Materien mit einander mengt. Mischt man z. B. ein Pfund Wasser von 10° mit einem Pfunde Eisenfeilicht von 30° , so zeigen dieselben nach der Mischung eine Temperatur von 12° . Indem also das Eisen 18° Wärme abgegeben hat, ist die Temperatur des Wassers nur um 2° erhöht worden. — Mischt man aber ein Pfund Wasser von 30° mit einem Pfunde Eisen von 10° , so zeigt ein in die Mischung eingetauchtes Thermometer 28° . Die 2° Wärme, welche das Wasser in diesem Falle verloren hat, haben also in dem Eisen eine Temperaturerhöhung von 18° hervorgebracht.

Diese Versuche lehren, daß gleiche Quantitäten verschiedener Körper zu gleichen Temperaturerhöhungen sehr ungleiche Wärmemengen erfordern, z. B. ein Pfund Wasser neunmal so viel als ein Pfund Eisen. Indem man alle andern Körper mit dem Wasser vergleicht, versteht man unter der specifischen Wärme eines Körpers die Zahl, welche das Verhältniß angibt zwischen der Wärmemenge, welche erforderlich ist, um eine bestimmte Quantität, z. B. ein Pfund des zu untersuchenden Körpers, und der Wärmemenge, welche dazu erfordert wird, um ein Pfund Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen. Die Eigenschaft aber, vermöge deren einem Körper eine größere oder geringere specifische Wärme zukommt, nennt man seine *Wärmecapazität*.

Von allen bekannten Körpern besitzt das flüssige Wasser die größte specifische Wärme; dieselbe ist ohngefähr viermal so groß als die des Erdbodens und die der atmosphärischen Luft und doppelt so groß als die des Eises.

Man findet die specifische Wärme der atmosphärischen Luft oder anderer Gase, indem man einen Strom des zu untersuchenden und auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Gases mittelst eines schlängelförmig gekrümmten Rohres durch eine abgewogene Quantität Wasser leitet und die hierdurch in demselben bewirkte Temperaturerhöhung beobachtet.

Dulong und Petit haben (1819) aus ihren Versuchen das Gesetz gezogen, daß bei den meisten einfachen Stoffen sich die specifische Wärme umgekehrt wie das Atomgewicht verhält, und daß folglich die Atome der (meisten) einfachen Stoffe eine gleiche Wärmecapazität besitzen, also eine gleiche Wärmemenge bedürfen, um gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren. Ähnliches gilt von zusammengesetzten Körpern, welche eine gleiche chemische Zusammensetzung haben.

*) Wenn der Versuch ganz rein gelingen soll, muß man dem Gefäße, in welchem man die Mischung macht, schon vorher eine Temperatur von 20° geben, weil im entgegengesetzten Falle auch die Temperatur des Gefäßes auf das Resultat des Versuches von Einfluß ist.

**) Wenn man zwei ungleiche Quantitäten m und m' der nämlichen Materie, welche die Temperaturen t und t' haben, mit einander mengt, so ist die Temperatur der Mischung
$$r = \frac{mt + m't'}{m + m'}$$
 Man nennt dies die *Richmann'sche Regel* nach dem Physiker *Richmann*, welcher 1753 in Petersburg vom Blitze erschlagen wurde.

Tafel über die specifische Wärme.

Name des Körpers.	Specifische Wärme.	Name des Körpers.	Specifische Wärme.
Blei	0,03	Steinkohle	0,28
Eichenholz	0,51	Zinn	0,09
Eis	0,50	Zinn	0,06
Eisen	0,11	Alkohol	0,66
Glas	0,18	Olivöl	0,5
Gold	0,03	Quecksilber	0,033
Kalk, kohlsaurer	0,27	Wasser	1,000
Kochsalz	0,23	Atmosphärische Luft	0,237
Kupfer	0,09	Kohlensäure	0,202
Lindenholz	0,67	Kohlenwasserstoff, schwerer	0,404
Messing	0,09	Sauerstoff	0,218
Platin	0,03	Stickstoff	0,244
Schwefel	0,20	Wasserdampf	0,475
Silber	0,06	Wasserstoff	3,409

D. Fortpflanzung der Wärme.

§. 248. Wärmeleitung.

Wenn zwei sich berührende Körper an der Berührungsstelle eine ungleiche Temperatur haben, so nimmt hier die Temperatur des wärmeren beständig ab, die des kälteren beständig zu, bis beide eine gleiche Temperatur zeigen. Dasselbe findet bei den sich berührenden Theilen des nämlichen Körpers statt. Man sagt in diesem Falle, die Wärme werde von einem Körper zum andern oder von dem einen Theile eines Körpers zum folgenden fortgeleitet. Nach Maßgabe der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Wärme in einem Körper ausbreitet, unterscheidet man gute und schlechte Wärmeleiter.

Unter den festen Körpern sind bekanntlich die Metalle die besten Wärmeleiter; bei weitem schlechter wird die Wärme durch Glas, Marmor und andere Steine fortgeleitet. Zu den schlechtesten Wärmeleitern gehören Kohle, Holz, Stroh, Seide, Wolle, Federn.

Auf dem verschiedenen Vermögen der Körper, die Wärme zu leiten, beruhen eine Menge bekannter und leicht zu erklärender Erscheinungen. Metallene Kochgeschirre werden mit hölzernen Griffen versehen; unsere Kleidung, besonders im Winter, besteht aus schlechten Wärmeleitern; werden ein Stück Metall und ein Stein gleich stark erhitzt, so verbrennen wir uns eher an dem Metalle als an dem Steine; in der Winterkälte fühlt sich Metall kälter an, als Stein oder Holz u. dgl. m.

Bei den Flüssigkeiten haben wir zwei Fälle zu unterscheiden, ob ihnen die Wärme von oben oder von unten zugeführt wird. Im letzteren Falle veranlaßt das Emporsteigen der unteren erwärmten und also ausgedehnten Schichten und das Niedersinken der oberen kälteren und daher specifisch schwereren Schichten beständige Strömungen in der Flüssigkeit, vermöge deren sich die Wärme rasch durch die ganze Masse verbreitet. Findet aber die Erwärmung von oben statt, indem man die Oberfläche der Flüssigkeiten mit erwärmten Körpern in Berührung bringt, so erweisen sich dieselben, mit Ausnahme des Quecksilbers und überhaupt der geschmolzenen Metalle, als sehr schlechte Wärmeleiter.

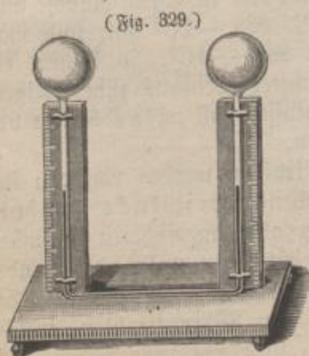
Das nämliche gilt auch von den luftförmigen Körpern. Dieselben besitzen ein so geringes Leitungsvermögen der Wärme, daß es sich durch directe Versuche nur schwierig nachweisen läßt, zumal die Wärme die luftförmigen Körper noch auf eine andere Art, von welcher sogleich im folgenden Paragraphen die Rede sein wird, sehr leicht durchbringt und es daher schwer hält, die auf diese Art bewirkte Erwärmung von der durch Leitung herbeigeführten zu unterscheiden. Betten, Pelze und andere lockere Körper verdanken ihr geringes Leitungsvermögen für Wärme vorzüglich dem Umstande, daß zwischen den Federn, Haaren u. s. w. eine Luftschicht festgehalten wird, und daß die Luft ein äußerst schlechter Wärmeleiter ist.

Um das Wärmeleitungsvermögen der Metalle zu vergleichen, überzog Ingenhouß Drähte von gleichem Querschnitt mit Wachs, tauchte dieselben mit dem einen Ende in erwärmtes Del und beobachtete die Länge, bis zu welcher das Wachs an denselben in der nämlichen Zeit schmolz. — In neuerer Zeit (1853) haben Wiedemann und Franz die thermoelektrische Kette zur Abmessung der Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme benutzt. Sie brachten zu diesem Zwecke die Enden zweier in eine thermoelektrische Kette verbundenen Metalle (Eisen und Neusilber) mit einem Galvanometer in Verbindung, die Lötstelle aber mit verschiedenen Stellen der zu prüfenden, an einem Ende auf eine bestimmte Temperatur erwärmten Metallstangen in Berührung und beobachteten die Ablenkung der Magnetnadel des Galvanometers, welche dieselbe durch den in Folge der Erwärmung der Lötstelle hervorgerufenen electrischen Strom erfuhr. Diese Untersuchungen haben zu dem Resultate geführt, daß die Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme, wenn nicht genau, doch sehr nahe mit dem electrischen Leitungsvermögen derselben (vergl. oben S. 153) übereinstimmt. — Dagegen soll nach Paalzow (Pogg. Ann. B. 136) bei Flüssigkeiten ein solcher Zusammenhang zwischen dem Leitungsvermögen für Wärme und Electricität nicht stattfinden.

Ueber das Leitungsvermögen der Gase sind in neuerer Zeit (1860) von Magnus in Berlin entscheidende Versuche angestellt worden. Derselbe hat insbesondere gefunden, daß das Wasserstoffgas von allen Gasen die Wärme am besten leitet, (was eben so auch in Hinsicht der Electricität gilt), und daß die atmosphärische Luft und ihre Bestandtheile unter allen Gasen die Wärmestrahlen am reichlichsten durchlassen.

§. 249. Wärmestrahlung.

Außer der mittelbaren Fortpflanzung der Wärme durch Leitung gibt es auch noch eine unmittelbare, bei welcher die Wärme von einem Körper zum anderen ohne die Vermittelung der dazwischen befindlichen Körper übergeht. Man nennt diese Art der Fortpflanzung Wärmestrahlung. Eine Folge der Wärmestrahlung ist z. B. die Hitze, welche wir im Gesichte empfinden, wenn wir uns in der Entfernung von einigen Fußes einem stark geheizten (eisernen) Ofen oder einem Kaminfeuer gegenüber befinden. Daß hier die Wärme nicht durch die Luft fortgeleitet worden ist, geht deutlich daraus hervor,



(Fig. 329.)

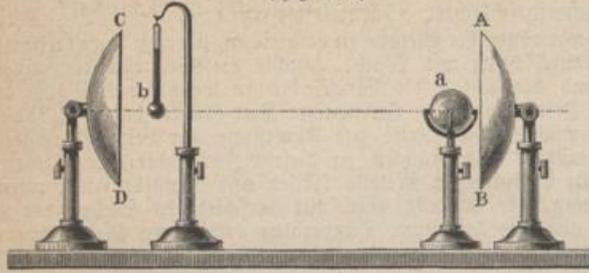
vor, daß das Gefühl von Hitze sogleich verschwindet, wenn zwischen den Ofen oder das Feuer und das Gesicht ein Schirm gebracht wird.

Bei den Versuchen über strahlende Wärme wendet man bequemer Leslie's Differentialthermometer an. Dieses besteht aus einer Uförmigen Röhre (Fig. 329), welche in der Mitte mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt ist, an ihren Enden aber in zwei mit Luft gefüllte Kugeln ausläuft. Wenn beide Kugeln gleich erwärmt sind, so steht die Flüssigkeit in beiden Schenkeln der Röhre gleich hoch; wird aber eine

Kugel mehr erwärmt, als die andere, so fällt die Flüssigkeit auf der Seite der wärmeren Kugel und steigt auf der Seite der kälteren Kugel. Das Differentialthermometer zeigt daher keine bestimmte Temperatur, sondern nur überhaupt an, daß eine Verschiedenheit der Temperatur vorhanden ist; es hat aber vor einem Quecksilber- oder Weingeistthermometer den Vorzug größerer Empfindlichkeit.

Besonders lehrreich ist der folgende, von Pictet in Genf (1788) angestellte Versuch. Zwei Hohlspiegel AB und CD (Fig. 330) werden in einer

(Fig. 330.)



Entfernung von 20 oder mehr Fuß so aufgestellt, daß ihre Azen in eine gerade Linie fallen. Nehmen wir dann an, in dem Brennpunkte a des einen Spiegels AB befindet sich ein leuchtender Gegenstand, so werden die von demselben

ausgehenden Strahlen von dem Spiegel AB so zurückgeworfen, daß sie parallel mit der gemeinschaftlichen Aze beider Spiegel auf den Spiegel CD fallen und daher von diesem nach dem Brennpunkte b hin reflectirt werden. Bringen wir jetzt in den Brennpunkt b die eine Kugel des Differentialthermometers oder noch besser, Nobili's Thermomultiplikator (siehe oben S. 152), und in den Brennpunkt a eine stark erhitzte, aber noch nicht glühende eiserne Kugel, so fällt das Differentialthermometer in b und zeigt also eine vermehrte Wärme an; es kehrt aber auf den früheren Stand zurück, so wie einer der Spiegel mit einem Schirme bedeckt wird, und das Fallen des Thermometers wiederholt sich fast augenblicklich, so wie man den Schirm wegzieht. Aus diesen Versuchen ergibt sich:

- 1) Die dunkle Wärme pflanzt sich so wie das Licht in geraden Linien fort; wir nennen diese Linien Wärmestrahlen.
- 2) Die Wärmestrahlen werden nach demselben Gesetze zurückgeworfen wie die Lichtstrahlen.
- 3) Die Fortpflanzung der strahlenden Wärme geschieht mit einer großen, wahrscheinlich mit derselben Geschwindigkeit wie das Licht.

Wenn man die Hohlspiegel in der angegebenen Art in einem Raume aufstellt, welcher eine sehr niedrige Temperatur, z. B. von -20° hat, und man bringt in den einen Brennpunkt einen Eiszapfen von -10° , so kommt ein in dem anderen Brennpunkte befindliches Thermometer ebenfalls zum Steigen. Dieser und ähnliche Versuche führen zu dem Schlusse, daß alle Körper bei allen Temperaturen Wärme ausstrahlen.

Die von einem Körper ausgesendeten Wärmestrahlen werden von den ihn umgebenden Körpern theils zurückgeworfen, theils verschluckt (absorbirt). So könnte sich das Thermometer bei den oben angeführten Versuchen mit den Hohlspiegeln nicht erwärmen, wenn es nicht einen mehr oder minder großen Theil der auffallenden Wärmestrahlen verschluckte. — Wenn ein Körper eben so viel Wärme ausstrahlt, als er von den Wärmestrahlen, welche die umgebenden Körper ihm zusenden, verschluckt, so bleibt seine Temperatur

unverändert. Sie muß aber fallen oder steigen, je nachdem er eine größere Menge Wärmestrahlen ausfendet oder eine größere Menge verschluckt.

So strahlt z. B. die Erde während eines Jahres eben so viel Wärme in den Weltraum aus, als sie von der Sonne empfängt. Ohne diese Ausstrahlung müßte die Temperatur der Erde fortwährend wachsen, da sie beständig von der Sonne Wärme empfängt. Auf der Wärmestrahlung beruht auch die größere Kälte der Nacht bei heiterem als bei bedecktem Himmel. In dem letzteren Falle nämlich strahlen die Wolken gegen die Erdoberfläche theils Wärme aus, theils werfen sie die von der Erdoberfläche ausgefendeten Wärmestrahlen zurück und geben so derselben einen mehr oder minder großen Ersatz für die ausgestrahlte Wärme, welcher bei heiterem Himmel wegfällt.

§. 250. Fortsetzung.

Die Menge der von einem Körper ausgestrahlten Wärme wächst mit der Temperatur desselben; sie hängt aber außerdem auch noch von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab. Körper, welche eine geringe Dichtigkeit haben, strahlen im allgemeinen die Wärme stärker aus, als dichtere. Besonders stark strahlt der Kienruß die Wärme aus; polirte Metalle dagegen strahlen dieselbe am schwächsten aus. Man kann sich hiervon leicht durch den folgenden (von Leslie 1804 zuerst angestellten) Versuch überzeugen:

In den einen Brennpunkt a (Fig. 330) der auf die oben angegebene Art aufgestellten Hohlspiegel bringt man einen mit heißem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech, an welchem eine Seite polirt, eine andere rauh gelassen oder geritzt, eine dritte mit einer Glasscheibe bedeckt und endlich eine vierte über einer Dellampe mit Ruß stark geschwärzt ist. Ein in dem anderen Brennpunkte b angebrachtes Thermometer zeigt dann die geringste Zunahme der Temperatur an, wenn der Würfel die polirte Seite gegen den Hohlspiegel AB wendet, in dessen Brennpunkte er sich befindet; die Zunahme der Wärme beträgt etwas mehr, wenn der Würfel die geritzte Seite dem Spiegel AB zukehrt, indem durch das Ritzen des gehämmerten Metalles weichere Stellen bloßgelegt werden; sie ist noch größer, wenn der Würfel die mit einer Glasplatte belegte Seite, am größten aber, wenn er die mit Ruß überzogene Seite dem Hohlspiegel AB zuwendet.

Dasselbe lehrt auch der folgende Versuch: In einem geräumigen Zimmer werden zwei mit siedendheißem Wasser gefüllte messingene Gefäße, um die Wärmeleitung möglichst zu verringern, an feinen Schnüren aufgehängt. Beide Gefäße haben übrigens eine ganz gleiche Beschaffenheit, nur hat das eine eine blanke, das andere eine durch Ruß geschwärzte Oberfläche, und in jedes der Gefäße ist ein Thermometer eingetaucht. Man sieht dann die Temperatur des Wassers in dem geschwärzten Gefäße bedeutend rascher als in dem Gefäße mit blanker Oberfläche abnehmen. — Körper, welche ihre Wärme möglichst beibehalten sollen, wie z. B. Röhren, durch welche Dämpfe, warmes Wasser u. dgl. fortgeleitet werden, müssen daher eine blanke, dichte Oberfläche haben. Bei denjenigen Körpern dagegen, welche die Bestimmung haben, ihre Wärme an die Umgebungen abzugeben, wie z. B. Ofen, Ofenpfaffen innerhalb des Zimmers u. dgl., findet zweckmäßiger das Gegentheil statt.

Diejenigen Körper, welche die Wärme am stärksten ausstrahlen, verschlucken auch die ihnen von anderen Körpern zugefendeten Wärmestrahlen am reichlichsten und werfen am wenigsten von denselben zurück. Hierdurch wird es begreiflich, daß in einem geschlossenen

Raume, z. B. in einem Zimmer, alle Körper, auch wenn dieselben eine sehr verschiedene Oberfläche haben, allmählich eine gleiche Temperatur annehmen, indem diejenigen Körper, welche vermöge der Beschaffenheit ihrer Oberfläche die meiste Wärme ausstrahlen, auch von den Wärmestrahlen, welche die umgebenden Körper ihnen zusenden, am meisten aufnehmen.

Leuchtende Körper, wie z. B. die Sonne, senden außer den leuchtenden Strahlen auch dunkle Wärmestrahlen aus. Während schwarze oder dunkel gefärbte Körper, wie wir weiter unten (S. 254) noch ausführlicher besprechen werden, die leuchtenden Sonnenstrahlen weit reichlicher absorbiren und durch dieselben stärker erwärmt werden, als weiße oder hell gefärbte Körper, scheint die Farbe an sich auf das Absorptions- und Emissionsvermögen der Körper für dunkle Wärmestrahlen nur geringen oder keinen Einfluß auszuüben.

So wie die durchsichtigen Körper den Lichtstrahlen einen Durchgang gestatten, so gibt es auch Körper, welche die dunklen Wärmestrahlen durch sich hindurchlassen. Man nennt diese Körper diatherman (durchwärmig); Körper aber, welche keine dunklen Wärmestrahlen durchlassen, atherman. Indem die dunklen Wärmestrahlen aus einem Mittel in ein anderes übergehen, werden sie in ähnlicher Art wie die Lichtstrahlen gebrochen; sie besitzen jedoch eine noch geringere Brechbarkeit als die rothen Strahlen (vergl. oben S. 202, Anm.) und müssen folglich auch eine geringere Vibrationsgeschwindigkeit und größere Wellenlänge haben. — Im allgemeinen sind die durchsichtigen Körper auch mehr oder weniger diatherman. Man darf jedoch aus dem Verhältnisse, nach welchem ein Körper den Lichtstrahlen den Durchgang gestattet, nicht unbedingt auf das Verhältniß schließen, nach welchem er die dunklen Wärmestrahlen hindurchläßt. Klares Glas, Wasser, Eis, welche einen so hohen Grad von Durchsichtigkeit besitzen, verschlucken dagegen die dunklen Wärmestrahlen fast gänzlich. Während daher die leuchtenden Sonnenstrahlen die Glasfenster unserer Wohnungen, Gewächshäuser u. dgl. mit Leichtigkeit durchdringen und den inneren Raum und die in demselben befindlichen Gegenstände erwärmen, treten die von diesen ausgehenden dunklen Wärmestrahlen durch das Glas nicht wieder aus. — Von allen bekannteren Körpern ist Steinsalz am meisten diatherman. Dasselbe gestattet den dunklen Wärmestrahlen einen eben so reichlichen Durchgang wie den Lichtstrahlen*). Mit einer Steinsalzlense lassen sich jene eben so wie diese in einen Brennpunkt concentriren. Schwarzer Glimmer und durch Kohle so intensiv schwarz gefärbtes Glas, daß dasselbe vollkommen undurchsichtig erscheint, lassen dennoch die dunklen Wärmestrahlen ziemlich reichlich hindurch. Mit einer aus diesem Glase gefertigten Linse würden sich leicht-brennbare Körper durch die von der Sonne ausgehenden dunklen Strahlen entzünden lassen, obschon die Linse kein Licht hindurchläßt.

Melloni hat 1831 mit Hilfe des Thermomultiplikators, welcher eine so große Empfindlichkeit besitzt, daß man bei den meisten Versuchen der Hohlspiegel ganz entbehren kann, und der überdies sehr genaue Abmessungen zuläßt, gezeigt, daß es eben so, wie wir verschiedenfarbige Lichtstrahlen unterscheiden, auch verschiedenartige Wärmestrahlen gibt, welche von verschiedenen Körpern nach verschiedenen Verhältnissen zurückgeworfen und durchgelassen oder absorbirt werden. Man nennt diese Verschiedenheit der Wärmestrahlen *Thermanismus*. Daß wir vermittelst der von dunklen Körpern

*) Ein ganz ähnliches Verhalten wie das Steinsalz zeigt nach Magnus und Knoblauch der Sylvin (Chlorkalium), welcher in besonders schönen Krystallen bei Stafthurth vorkommt.

ausgehenden Wärmestrahlen dieselben nicht zu sehen vermögen, dürfte darin seinen Grund haben, daß diese Strahlen in zu starkem Verhältnisse von den durchsichtigen Substanzen des Auges absorbiert werden, oder daß die Netzhaut für dieselben eine geringere Empfindlichkeit besitzt.

Nach den Untersuchungen von Knoblauch (1846) wächst die Mannichfaltigkeit der von einem Körper ausgesendeten Wärmestrahlen im allgemeinen mit der Temperatur desselben. Körper, deren Temperatur 100° bis 110° nicht übersteigt, dürften nur Wärmestrahlen von einerlei Art ausenden. — Forbes in England hat 1835 eine Polarisation, Fizeau und Foucault haben (1847) die Interferenz und Knoblauch (1848) die Beugung der Wärmestrahlen so wie auch (1867) die Existenz transversaler Wellen von verschiedener Länge für dieselben nachgewiesen. — Melloni hat (1845) gezeigt, daß auch die Mondstrahlen erwärmend wirken.

Endlich führen wir noch an, daß Licht- und Wärmestrahlen, wie Knoblauch (1866) gezeigt hat, von farblosen Glasplatten dann am reichlichsten durchgelassen werden, wenn sie unter dem Polarisationswinkel auffallen und die Brechungsebene auf der Polarisationssebene senkrecht steht, überhaupt um so reichlicher, je mehr von den auffallenden Strahlen diese Bedingung erfüllt wird. Es erklärt sich hieraus, daß Licht- und Wärmestrahlen, welche durch mehrere parallele Platten hindurchgehen, von den folgenden Platten reichlicher als von den vorhergehenden durchgelassen werden, weil sie mit jedem folgenden Durchgange mehr und mehr in eine zur Brechungsebene senkrechte Ebene polarisirt werden. (Vgl. oben S. 212.)

§. 251. Der Thau und der Reif.

Durch die Wärmestrahlung geschieht es häufig, daß die Körper an der Oberfläche der Erde am Abend oder während der Nacht bis mehrere Grade unter die Temperatur der Luft erkalten und sich in Folge hiervon die Dämpfe der mit denselben in Berührung stehenden Luftschichten zu Tropfen condensiren, wodurch der Thau oder statt dessen der Reif entsteht, wenn die Temperatur der durch Strahlung erkalteten Körper bis unter Null herabgeht. Der Thau bildet sich, wie aus den schon oben (S. 249) angeführten Gründen hervorgeht, bei weitem reichlicher in heiteren Nächten als bei bedecktem Himmel. — Eben so bethauen Körper, welche sich unterhalb irgend eines Daches befinden, wenig oder gar nicht. — Nicht alle Körper bethauen gleich stark. Der Thau erscheint reichlicher an Gräsern und anderen Pflanzen als an Steinen oder dem nackten Erdboden, weil größere und compactere Massen durch die Strahlung langsamer und weniger erkalten, als frei in die Luft hineinragende Grashalme oder Blätter. — Der Thau fällt reichlicher bei Windstille als bei stark bewegter Luft. Denn im letzteren Falle erhalten die Körper an der Erdoberfläche für die Wärme, welche sie durch Strahlung verlieren, dadurch Ersatz, daß sie mit fortwährend wechselnden warmen Luftschichten in Berührung kommen, weshalb dieselben nicht bedeutend unter die Lufttemperatur erkalten können. — Auf gleichen Gründen dürfte auch die Erscheinung beruhen, daß in Thälern häufig reichlichere Bildung an Thau und Reif stattfindet, als auf den einschließenden Bergen und angrenzenden Hochebenen, indem der Luft auf den Höhen fast nie die Bewegung gänzlich abgeht, auch wenn in den Thälern volle Windstille herrscht. Eben so erklärt sich hieraus, warum Nachtfroste im Herbst und Frühjahr in den Thälern oft viel nachtheiliger wirken, als auf den umgebenden Bergen und Bergabhängen.

Der Engländer Wells hat zuerst (1814) gründliche Untersuchungen über den Thau angestellt und die richtige Erklärung desselben gegeben. Indem er unter anderen Büschel von Baumwolle, in welche er Thermometer eingesenkt hatte, verschiedenen Bedingungen unterwarf, fand er, daß diejenigen, deren Temperatur am tiefsten unter die Lufttemperatur herabgegangen war, sich auch am reichlichsten mit Thau bedeckt und am meisten an Gewicht zugenommen hatten. Diese Untersuchungen sind später von Melloni wiederholt und im wesentlichen bestätigt worden.

E. Wesen und Quellen der Wärme.

§. 252. Das Wesen der Wärme.

Wie wir im Vorhergehenden (§. 250) gesehen haben, zeigen die dunklen Wärmestrahlen genau dasselbe Verhalten wie die Lichtstrahlen; sie befolgen ganz die nämlichen Gesetze der Fortpflanzung, der Zurückwerfung, der Brechung, der Beugung u. s. w. Diese Uebereinstimmung kann keinen Zweifel daran lassen, daß die dunklen Wärmestrahlen von den Lichtstrahlen nicht wesentlich verschieden sind, daß überhaupt Licht und Wärme nur verschiedene Ausprägungen ein und derselben Ursache sind. Wir werden hiernach annehmen dürfen, daß die dunklen Wärmestrahlen eben so wie die Lichtstrahlen auf einer wellenförmigen Bewegung des Aethers beruhen, und daß dieselben von diesen nur darin verschieden sind, daß den dunklen Wärmestrahlen eine geringere Vibrationsgeschwindigkeit und größere Wellenlänge, den leuchtenden Strahlen eine größere Vibrationsgeschwindigkeit und kleinere Wellenlänge zukommt. Daß die dunklen Strahlen im Auge nicht die Empfindung des Lichtes hervorrufen, erklärt sich entweder durch die Annahme, daß die Hornhaut und die verschiedenen Feuchtigkeiten des Auges atherman sind, oder daß nur diejenigen Aetherwellen von dem Sehnerven als Licht empfunden werden, deren Vibrationsgeschwindigkeit innerhalb gewisser Grenzen liegt, so wie ja auch vom Ohr solche Schallwellen nicht mehr als Schall vernommen werden, deren Vibrationsgeschwindigkeit über eine gewisse Grenze hinaus oder unter eine bestimmte Grenze hinab geht. (Vergl. oben §. 166.)

Wenn leuchtende oder dunkle Wärmestrahlen, welche sich bis dahin in irgend einem Mittel fortgepflanzt haben, auf ein von diesem verschiedenes Mittel treffen, so werden dieselben, wie wir gesehen haben, theils zurückgeworfen, theils treten dieselben in das neue Mittel ein und werden hier entweder vollständig oder nur zum Theile absorhirt und zum Theile hindurchgelassen, je nachdem dieses neue Mittel undurchsichtig oder mehr oder weniger durchsichtig, atherman oder mehr oder weniger diatherman ist. Die absorhirtten Strahlen, sie mögen nun zu den leuchtenden oder zu den dunklen gehören, übertragen dann, wie man annimmt, ihre schwingende Bewegung auf die kleinsten Theile (Moleküle) des Körpers, in welchen sie eingetreten sind, oder vielmehr sie verstärken oder vermehren die bereits vorhandenen schwingenden Bewegungen dieser Theilchen und bewirken hierdurch eine Erhöhung der Temperatur des betreffenden Körpers. Der Umstand nämlich, daß es keinen absolut kalten Körper gibt, nöthigt uns zu der Annahme, daß die kleinsten Theile (Moleküle) aller Körper in schwingenden Bewegungen begriffen sind, durch welche die Temperatur des betreffenden Körpers bedingt wird.

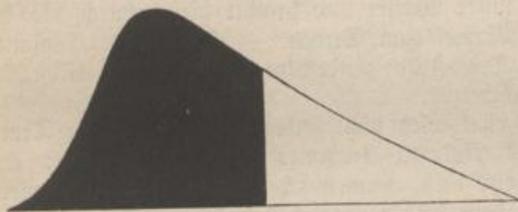
So wie durch Absorption von Licht- oder Wärmestrahlen die schwingenden Bewegungen der Moleküle vermehrt werden und die Temperatur des absorbirenden Körpers erhöht wird, so muß umgekehrt durch Ausstrahlung, d. h. dadurch, daß die schwingenden Bewegungen der Moleküle eines Körpers den die Poren desselben erfüllenden Aether zu Schwingungen anregen, welche sich als leuchtende oder dunkle Strahlen nach außen fortpflanzen, die Temperatur des betreffenden Körpers, wenn derselbe nicht anderweitigen Ersatz erhält, erniedrigt werden, da die Uebertragung an den Aether nothwendig eine Verminderung der eignen schwingenden Bewegung der Moleküle zur Folge hat.

Während bei der Wärmestrahlung die Uebertragung der Molekularbewegungen von einem Körper zum andern durch den Aether vermittelt wird, findet bei der Wärmeleitung eine unmittelbare Uebertragung dieser Bewegungen von einem Theile eines Körpers zu dem benachbarten Theile oder von einem Körper zu einem andern ihn berührenden Körper ohne Mitwirkung des Aethers statt.

Die im Vorhergehenden über das Wesen der Wärme entwickelte Ansicht führt uns zu dem Resultate, daß in allen Körpern, auch wenn dieselben äußerlich vollkommen ruhig erscheinen, die Moleküle in den lebhaftesten Bewegungen begriffen sind, welche sich nach außen dem Aether mittheilen und durch denselben fortpflanzen und ganz allgemein als Wärme, im besonderen Falle aber auch, wenn die Größe der Vibrationsgeschwindigkeit zwischen gewisse Grenzen fällt, als Licht von uns bezeichnet werden.

Wenn wir uns im Vorhergehenden für die Identität von Licht und Wärme ausgesprochen, beide nur als verschiedene Aeußerungen der nämlichen Grundursache erklärt haben, so dürfen wir doch nicht

(Fig. 331.)



von der Intensität der einen Wirkung auf die Intensität der andern schließen. So stellt z. B. Fig. 331 die Wärmeverhältnisse des Sonnenspectrums nach den von J. Müller zu Freiburg im Breisgau (1858) ausgeführten Abmessungen dar, wie es durch ein (gleichseitiges) Steinsalzprisma erhalten wird. Der schwarze Theil der Figur bedeutet den

dunklen, der weiß gelassene den hellen Theil des Spectrums. Die Länge dieser Theile gibt die verhältnismäßige Länge der entsprechenden Theile in Wirklichkeit an; die Höhe aber ist der Intensität der Wärme an den verschiedenen Stellen des Spectrums proportional. Man sieht hieraus, daß das Maximum der Wärme in den dunklen Theil des Spectrums fällt, und daß die Gesamtwirkung dieses Theiles die des hellen ohngefähr um das Dreifache übertrifft. — Nach Melloni kommen bei einer Oelflamme 90, bei weißglühendem Platin 98, bei einer Weingeistflamme 99 Procent auf die dunklen Strahlen.

Wenn das Vollmondslicht äußerst schwach erwärmend wirkt, so daß Melloni diese Wirkung nur mittelst der empfindlichsten Apparate nachzuweisen vermochte, während wir bei demselben so wie bei dem 600,000mal stärkeren Sonnenlichte zu lesen vermögen, so erklärt sich dies daraus, daß unser Auge eben sowohl sehr starkes Licht zu ertragen und bei demselben deutlich zu sehen vermag, als auch für sehr schwaches Licht noch hinreichend empfindlich ist, wenn es nicht durch stärkeres Licht gereizt wird.

Wenn ein Körper (nach Knoblauch über 100°) erwärmt wird, so wächst nicht bloß die Intensität, sondern auch die Mannigfaltigkeit der von demselben ausgesendeten Strahlen, indem zu den Wellen von größerer Länge, aber geringerer Vibrationsgeschwindigkeit Wellen von geringerer Länge, aber größerer Vibrationsgeschwindigkeit hinzutreten. Sind diese bis zu einer gewissen Grenze vorgeschritten, so erscheinen dieselben als Licht und zwar zunächst als rothes Licht, dem sich dann bei noch weiter wachsender Temperatur die andern Strahlengattungen bis zu den violetten und den nicht mehr sichtbaren chemischen Strahlen anreihen. Die Temperatur, bei welcher das Leuchten eintritt, ist, wie Draper in Amerika (1847) gezeigt hat, für die verschiedenartigsten Körper die nämliche. Man wird hiernach annehmen können, daß alle Körper bei der nämlichen Temperaturerhöhung auch die nämliche Strahlengattung auszusenden beginnen.

Die Ansicht, daß auch die Fortpflanzung der Wärme im Innern der Körper auf transversalen Schwingungen beruht, ist von Magnus in Berlin (1868) auf experimentalem Wege bestätigt worden; derselbe hat nämlich gezeigt, daß die von dunklen, nicht über 100° erwärmten Körpern unter einem schiefen Winkel (35°) ausgestrahlte Wärme zum Theil polarisirt ist, was darauf hinweist, daß dieselbe aus dem Innern

nach außen wellenförmig fortgeschliffen und bei dem Austritte in Folge einer an der Oberfläche erfahrenen Brechung polarisirt worden ist.

§. 253. Quellen der Wärme.

Die hauptsächlichsten Quellen der Wärme sind die Sonnenstrahlen, chemische Proceffe, insbesondere der Oxydationsproceß und mechanische Arbeit. Von der Erwärmung der Sonnenstrahlen wird im folgenden §. ausführlicher die Rede sein; von dem Oxydationsproceß ist bereits oben (§. 86) gehandelt worden; von den verschiedenen Arten der mechanischen Arbeiten, durch welche Wärme erzeugt wird, heben wir zunächst die Reibung hervor.

Wie allgemein bekannt erhitzen sich Sägen, Bohrer und andere Werkzeuge beim Gebrauche in Folge der Reibung; beim raschen Fahren auf der Eisenbahn kann die Erhitzung der Räder sich bis zu einer Gefahr drohenden Höhe steigern; wilde Völker machen sich durch Reibung zweier Holzstücke an einander Feuer an; auch noch gegenwärtig wird die Entzündung von Phosphor- und anderen Zündhölzchen durch Reibung an einer rauhen Fläche bewirkt. — Bei dem Bohren von Kanonenröhren (zu München im Jahre 1798) versenkte Rumford ein Rohr unter Wasser und brachte dieses durch die in Folge der Reibung erzeugte Wärme zum Sieden. — Davy in England brachte in einem Raume, dessen Temperatur unter dem Eispunkte lag, Eisstücke durch Aneinanderreiben zum Schmelzen.

Auch durch Stoß und Druck wird nicht selten eine beträchtliche Temperaturerhöhung hervorgebracht. Münzen erwärmen sich beim Prägen; ein auf den Ambos gelegter Nagel wird heiß, wenn auf denselben kräftige Hammerschläge ausgeführt werden; bei dem früher mehr gebräuchlichen Feuerschlagen mit Stahl und Stein werden kleine Stückchen Stahl durch den Stoß losgerissen und bis zum Glühen erhitzt. — Bei dem pneumatischen Feuerzeuge, welches aus einer an einem Ende offenen, am andern geschlossnen Röhre besteht, wird durch rasches Niederdrücken eines dicht anschließenden Kolbens die Luft stark zusammengedrückt und so sehr erhitzt, daß ein an dem untern Ende des Kolbens angebrachtes Stückchen Schwamm sich entzündet. Eben so erwärmt sich die Luft beim Comprimiren in der Flasche der Windbüchse.

In allen angeführten Beispielen ist eine Bewegung in Folge eines zu überwindenden Widerstandes entweder vermindert (Reibung) oder ganz aufgehoben (Stoß und Druck) und hierdurch Wärme erzeugt worden. Diese Erscheinungen finden ihre Erklärung in der Annahme, daß die für unsere Wahrnehmung verschwundene Bewegung auf die Moleküle des erwärmten Körpers in der Art übertragen worden ist, daß die Molekularbewegungen desselben eine Vermehrung und folglich die Temperatur eine Erhöhung erfahren hat, da ja, wie wir im vorherg. §. gesehen haben, die Temperatur eines Körpers durch die schwingenden Bewegungen seiner Moleküle bedingt wird.

Nachdem schon Rumford durch seine Versuche zu der Vermuthung gelangt war, daß die Wärme auf Bewegung beruhe, hat zuerst 1842 Julius Mayer, praktischer Arzt zu Heilbronn in Schwaben, die folgenden Sätze, welche die Grundlage der mechanischen Wärmelehre bilden, mit vollster Klarheit aufgestellt, daß so, wie nirgends Materie vernichtet wird, eben so auch niemals bewegende Kraft verloren geht, daß der Verlust an sichtbarer Bewegung allemal durch die unsichtbare Molekularbewegung, welche wir Wärme nennen, ersetzt wird, und daß in dem einen wie in dem andern Falle die

Größe des Verlustes der Größe des Erfasses proportional ist, ein Gesetz, welches man als das Princip von der Erhaltung der Kraft zu bezeichnen pflegt. Mayer hat auch das mechanische Wärmeäquivalent, d. h. das Verhältniß zwischen den Größen der sich gegenseitig erzeugenden Wärmemenge und bewegenden Kraft nach den Ergebnissen der bis dahin angestellten Versuche berechnet*).

Zur genaueren Ermittlung desselben sind von dem Engländer Joule (1843—1849) die sorgfältigsten Versuche angestellt worden, welche das Ergebnis geliefert haben, daß mittelst eines Kraftaufwandes, welcher im Stande ist, ein Kilogramm 425 Meter gegen die Richtung der Schwere fortzubewegen, ein Kilogramm Wasser von Null Grad auf 1 Grad erwärmt werden kann. — Man pflegt diese Wärmemenge als eine Wärmeeinheit oder eine Calorie zu bezeichnen. Als besonders wichtig ist hervorzuheben, daß die von Joule angestellten Versuche, obschon sie in der mannigfachsten Weise — Reibung von Metallscheiben, Bewegung von Wasser, welches in ein Gefäß eingeschlossen war, durch Schaufelräder, Bewegung von Quecksilber, Compression von Gasen — ausgeführt worden sind, doch sämtlich das nämliche, oben angegebene Resultat geliefert haben.

So wie sich durch mechanische Arbeit Wärme erzeugen läßt, so kann umgekehrt durch Wärme mechanische Arbeit verrichtet werden, wie wir dies augenfälligst an der Dampfmaschine sehen. Eine sorgfältige Vergleichung der für die Umwandlung des Wassers in Dämpfe verbrauchten Wärme mit der in dem Condensator wieder gewonnenen und der Wärme, welche die Wände des Kessels, des Cylinders, der Verbindungsrohre u. s. w. durch Leitung oder Strahlung an die Umgebungen abgeben, hat gezeigt, daß die Summe dieser letztern Wärmemengen allemal hinter der für die Dampfbildung verwendeten Wärmemenge um eine der durch die Maschine verrichteten Arbeit proportionale Größe zurückbleibt. Genaue Abmessungen haben übereinstimmend mit dem schon oben Angeführten ergeben, daß durch den Aufwand einer Wärmemenge, welche ein Kilogramm Wasser von Null Grad um 1° zu erwärmen vermag, eine Last von 1 Kilogramm, um 425 Meter gehoben werden kann.

Wir können die hier entwickelte Ansicht in den Satz zusammenfassen: Mechanische Arbeit läßt sich in Wärme, Wärme in Arbeit umsetzen, und in dem einen wie in dem andern Falle findet zwischen beiden Größen das nämliche Verhältniß statt**).

Von den mannigfachen Erscheinungen, welche in diesem Gesetze ihre Erklärung finden, führen wir folgende an: — Wenn beim Einfahren in den Bahnhof der rasch bewegte Zug durch Bremsen zum Stehen gebracht wird, sprühen von dem gehemmtten Rade Rauch und Funken auf, indem die Bewegung des Zuges, also die von den Dämpfen verrichtete Arbeit durch die Reibung aufgehoben und in Wärme umgesetzt wird. Die Wärme hat dem Zuge seine Bewegung ertheilt, und die gehemmte Bewegung ruft wieder Wärme hervor. Die gleiche Umwandlung von Arbeit in Wärme findet beim

*) Mayer erhielt eine um $\frac{1}{7}$ zu kleine Zahl.

***) Wenn wir oben die Proportionalität zwischen Wärme und bewegender Kraft und hier zwischen Wärme und Arbeit ausgesprochen haben, so findet zwischen diesen Ausdrucksweisen keine wesentliche Verschiedenheit statt, da die durch eine bewegende Kraft geleistete Arbeit nothwendig der hierzu verwendeten Kraft proportional ist.

Bohren, Sägen u. dgl. statt. Die Luft erwärmt sich beim Zusammendrücken, indem sich Arbeit in Wärme umsetzt; sie kühlt sich ab bei der Ausdehnung, indem sie den entgegenstehenden Druck der atmosphärischen Luft zu überwinden, also Arbeit zu verrichten hat. Körper, welche erwärmt werden, dehnen sich (mit wenig Ausnahmen, z. B. Wasser, von 0° bis 4°) aus; die ihnen zugeführte Wärme bewirkt hier zu einem Theile Temperaturerhöhung, während ein anderer Theil für Vergrößerung des Volumens, also zur Verrichtung von Arbeit verwandt wird. Wenn Körper aus dem festen in den flüssigen, aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand übergehen, wird Wärme latent. Nun ist uns zwar die Verschiedenheit der innern Constitution der Körper, auf welcher die Aggregatzustände beruhen, gänzlich unbekannt, und ein Eingehen auf die von verschiedenen Physikern (Clavius, Redtenbacher, Krönig) aufgestellten Hypothesen würde uns zu weit führen. Als gesichert dürfen wir jedoch annehmen, daß bei dem Uebergange eines Körpers aus dem festen in den flüssigen und noch mehr bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand eine Lockerung der Moleküle, also die Verrichtung einer Arbeit stattfindet, in Folge deren eine verhältnismäßige Wärmemenge verschwindet.

Der electricische Strom wirkt erwärmend auf die Körper, durch welche er hindurchgeht, weil auch die besten Leiter der Fortpflanzung der Electricität einen Widerstand entgegensetzen, und die Erwärmung ist um so beträchtlicher, je größer der überwundene Widerstand ist. Die Electricität der sich entladenden Gewitterwolke erscheint als hell leuchtender Blitz, indem sie bei ihrem Uebergange zur Erde oder zu einer andern Wolke den Widerstand der schlecht leitenden Luft überwindet; sie entzündet Holz und schmilzt dünne Drähte, da diese ihrer Fortbewegung einen großen Widerstand entgegensetzen; sie läßt dagegen dicke Metallstangen unverfehrt, weil sie hier nur geringen Widerstand zu überwinden hat.

In Betreff der chemische Prozesse begleitenden Wärmeerscheinungen ist bis jetzt ein festes Gesetz noch nicht ermittelt worden; doch können wir vielleicht annehmen, daß die bei chemischen Verbindungen entwickelte Wärme durch das Zusammenstoßen der sich anziehenden Atome hervorgerufen wird, während umgekehrt bei chemischen Zersetzungen, welche in Folge von Erwärmung eintreten, durch die zugeführte Wärme eine Trennung der Atome bewirkt, also Arbeit verrichtet wird.

Mit Ausnahme der durch die Gravitation, die Anziehung von Sonne und Mond erzeugten Bewegungen haben fast alle andern Bewegungen auf der Erde ihren Ursprung in der Wärme. Die Strömungen in der Atmosphäre, welche wir Winde nennen, werden, wie wir wissen, durch die Wärme hervorgebracht. Die Wärme der Sonnenstrahlen hebt das Wasser von der Oberfläche des Oceans zu den Wolken empor, aus denen es in Regengüssen niederstürzt. Indem dasselbe in Bächen und Flüssen zu dem Ocean zurückkehrt, wird durch die Widerstände, welche es in seinem Laufe überwindet, also durch die mechanische Arbeit, die es verrichtet, wieder Wärme erzeugt, welche uns bei der Reibung an den Wänden des Strombetts verborgen bleibt, aber sichtbar wird in der Erhitzung der Radaxen der von dem Flusse getriebenen Mühlen, in dem Funken-sprühen der Mühlsteine. — Auch die Bewegungen, welche wir in der organischen Natur beobachten, entspringen der Wärme. Im Sonnenlichte wird in den Blättern der Pflanzen Kohlensäure in ihre Bestandtheile, Kohlenstoff und Sauerstoff, zerlegt, von denen der erstere in der Pflanze verbleibt, der letztere ausgeathmet wird. Indem auf diese Art ein Theil der Sonnenwärme sich in Arbeit umsetzt, muß die mit Pflanzenwuchs bedeckte Wiese, der belaubte Wald sich durch die Sonnenstrahlen weniger erhitzen, als der kahle Sandboden. Die angenehmere Kühle des Waldes dürfte wenig-

stens zum Theile hierauf beruhen. Wir gewinnen die in dem Kohlenstoffe angesammelte Sonnenwärme wieder beim Verbrennen der Steinkohlen und des Holzes, — Wasserstoff und Sauerstoff sind im Holze nahezu in demselben Verhältnisse wie in dem aus ihrer Verbindung hervorgehenden Wasser enthalten — bei der Oxydation, welche die Nahrungsmittel, die doch ursprünglich sämmtlich aus dem Pflanzenreiche abstammen, erfahren, indem sie in Blut umgewandelt, ihren Weg durch unsere Lungen nehmen. Die von dem Blute den Muskeln mitgetheilte Wärme wird theils zur Erhöhung der Temperatur derselben, theils aber auch bei Anstrengung der Muskeln in Arbeit umgewandelt. Wie diese Umwandlung nach Willkür vermittelst des Gehörs und der Nerven bewirkt wird, ist uns verborgen. Daß durch diesen Verlust der in Arbeit umgewandelten Wärme keine Abkühlung der Muskeln herbeigeführt wird, hat darin seinen Grund, daß bei gesteigerter Muskelthätigkeit auch die Lebhaftigkeit des Athmungsprozesses zunimmt und in dem contrahirten Muskel eine stärkere Oxydation als in dem schlaffen, also auch vermehrte Entwicklung von Wärme stattfindet, von welcher nur der kleinere Theil in Arbeit umgesetzt wird, der größere aber eine Erhöhung der Temperatur bewirkt.

F. Vertheilung der Wärme an der Erdoberfläche.

§. 254. Erwärmung durch die Sonnenstrahlen.

Die Verschiedenheiten der Temperatur an der Oberfläche der Erde sind hauptsächlich eine Folge der ungleichen Wirkung der Sonnenstrahlen. Da wir diese Verhältnisse im Wesentlichen bei unseren Lesern als aus der mathematischen Geographie bekannt voraussetzen dürfen, so beschränken wir uns auf folgende allgemeine Bemerkungen. Die Erwärmung eines Körpers durch die Sonnenstrahlen hängt zunächst von der Richtung derselben ab. Ein Körper wird durch die Sonnenstrahlen am stärksten erwärmt, wenn dieselben seine Oberfläche senkrecht treffen; die bewirkte Erwärmung ist um so geringer, je spitzer der Winkel ist, welchen die Sonnenstrahlen mit der Oberfläche des Körpers bilden.

Von wesentlichem Einfluß auf die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Erwärmung eines Körpers ist auch die Beschaffenheit seiner Oberfläche, insbesondere die Farbe. Schwarze oder dunkel gefärbte Körper erhitzen sich in den Sonnenstrahlen stärker als weiße oder hell gefärbte. So belästigt uns bekanntlich im Sommer die Sonnenhitze mehr, wenn wir dunkle, als wenn wir helle Kleider tragen. Ein Thermometer, dessen Kugel man geschwärzt hat, steigt in den Sonnenstrahlen bedeutend höher als ein Thermometer mit blanker Oberfläche, während beide im Schatten die nämliche Temperatur zeigen. Eben so wird beschmutzter Schnee bei weitem rascher durch die Sonnenstrahlen geschmolzen, als der reine Schnee von blendend weißer Farbe. Auf gleichem Grunde beruht auch die Erscheinung, daß im Winter der Schnee bei heiterem Wetter zuerst um Baumstämme oder Steine, welche aus dem Schnee hervorragen, geschmolzen wird, indem diese Körper vermöge ihrer dunklen Farbe sich stärker als der weiße Schnee durch die Sonnenstrahlen erwärmen.

Die Sonnenstrahlen wirken auf hohen Bergen, obschon hier aus Gründen, welche wir weiter unten (§. 256) kennen lernen werden, eine niedrigere Temperatur herrscht, stärker erwärmend als im Thale. Indem nämlich die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurchgehen, wird ein um so größerer Theil absorbiert, je größer der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurücklegen, und durch je dichtere Schichten derselben sie hindurchgehen.

Nach Pouillet verlieren die senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre bei völlig heiterem Wetter ein Viertel ihrer Stärke.

Franklin in Amerika breitete an einem heiteren Tage verschieden gefärbte Tuchlappen auf einer Schneefläche aus. Ein schwarzer und ein dunkelblauer Lappen sanken am raschesten in den Schnee ein; die übrigen um so langsamer, je heller ihre Farbe war; an einem weißen Lappen dagegen war gar kein Einsinken zu bemerken.

§. 255. Temperatur der Luft.

Zur Beobachtung der Lufttemperatur bedient man sich eines gewöhnlichen Thermometers, von dessen Richtigkeit man sich vorher überzeugt hat, und hängt dasselbe an der Nordseite eines Gebäudes einem freien Plage gegenüber in der Entfernung von $\frac{1}{2}$ bis 1 Fuß von der Wand und in der Höhe von mehreren Fuß über dem Boden auf. Beobachtet man ein solches Thermometer während eines Tages möglichst oft in gleichen Zeitintervallen etwa alle ganzen oder halben Stunden, und nimmt man aus sämtlichen Beobachtungen das arithmetische Mittel, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

Durch Beobachtungen, welche in der angegebenen Art mehrere Monate hindurch an verschiedenen Orten fortgesetzt wurden, hat sich ergeben, daß in unseren Gegenden die geringste Tageswärme gegen Sonnenaufgang, die größte Tageswärme in den kürzesten Tagen ohngefähr um 1 Uhr, in den längsten Tagen zwischen 2 und 3 Uhr stattfindet. Diese Regeln gelten jedoch nur im allgemeinen; veränderte Windrichtung, atmosphärische Niederschläge u. dgl. können dieselben für einzelne Tage ganz ungünstig machen.

Daß die größte Tageswärme nicht gerade auf den Mittag fällt, wo die Sonne am höchsten steht und also die Strahlen derselben am kräftigsten wirken, sondern erst später eintritt, erklärt sich leicht daraus, daß die Erdoberfläche und die Luft sich nur allmählich durch die Sonnenstrahlen erwärmen und daher die höchste Temperatur erst, nachdem die Strahlen der Sonne am stärksten gewirkt haben, eintreten kann. Aus gleichen Gründen fällt, wie wir sogleich sehen werden, die größte oder geringste Jahreswärme nicht mit den längsten und kürzesten Tagen zusammen, sondern tritt in der Regel erst später ein.

Wenn man aus den mittleren Temperaturen aller Tage eines Monats das arithmetische Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats und eben so aus dem arithmetischen Mittel der mittleren Temperaturen aller Monate eines Jahres die mittlere Temperatur des Jahres. Aus mehrjährigen, an dem nämlichen Orte angestellten Beobachtungen ergibt sich endlich, wenn man das arithmetische Mittel der mittleren Temperaturen einer längeren Reihe von Jahren nimmt, die mittlere Temperatur des Ortes.

In unseren Gegenden ist der Januar der kälteste, der Juli der heißeste Monat; die mittlere Temperatur des Aprils ist etwas niedriger, die des Octobers etwas höher als die mittlere Temperatur des Jahres. Auch diese Regeln gelten nur im allgemeinen; einzelne Jahre weichen von denselben oft nicht unbedeutend ab. Nicht alle Jahre haben eine gleiche mittlere Temperatur; einzelne Jahre können von der wahren mittleren Ortstemperatur um 1° bis 2° abweichen.

Die täglichen Temperaturdifferenzen sind im Sommer größer als im Winter; die Größe der jährlichen Temperaturdifferenzen nimmt mit der geo-

graphischen Breite zu. Selbst in sehr hohen Breiten (Stockholm, Petersburg) übertrifft die Hitze im Sommer häufig um mehrere Grade sogar die mittlere Wärme am Aequator (28°), was sich leicht aus der großen Länge der Tage in höheren Breiten während des Sommers erklärt.

Die täglichen und jährlichen Temperaturdifferenzen sind im Inneren großer Continente beträchtlicher als in der Nähe des Meeres. Als die erste Ursache dieser Verschiedenheit führen wir die sehr ungleiche Wärmecapacität des Wassers und des Erdbodens (vergl. oben S. 247) an, vermöge deren sich das Wasser bei weitem langsamer als der Erdboden unter gleichen Umständen erwärmen oder abkühlen muß. Ein zweiter Grund besteht in dem ungleichen Absorptions- und Ausstrahlungsvermögen der Oberfläche des Meerwassers und des mit Vegetation bedeckten Erdbodens, in Folge dessen dieser sich im Sommer oder bei Tage stärker durch die Sonnenstrahlen erwärmt, während des Winters oder des Nachts aber auch durch Ausstrahlung sich stärker abkühlt. Endlich bewirken auch die in dem Meere beständig stattfindenden Strömungen, daß dasselbe das ganze Jahr hindurch eine mehr gleichmäßige Temperatur beibehält, in mittleren Breiten daher während des Sommers kälter, während des Winters aber wärmer ist als das benachbarte Festland.

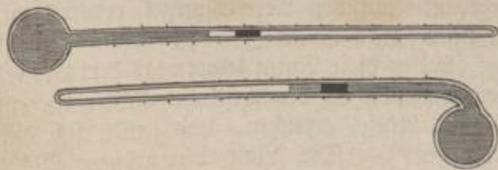
Man unterscheidet hiernach Insel- oder Küstenklima, welches sich durch warme Winter und kühle Sommer, und Continental Klima, welches sich durch heiße Sommer und kalte Winter charakterisirt. Während die Nähe des Meeres die Hitze des Sommers und die Kälte des Winters verringert, erhöht oder erniedrigt dieselbe in den mittleren Breiten die mittlere Temperatur des Jahres entweder gar nicht oder nur unbedeutend.

Die Bretagne, die Küsten der Normandie, England und Irland zeichnen sich durch äußerst milde Winter, aber auch durch eine geringe Wärme und den häufig in Nebel gebüllten Himmel ihrer Sommer aus. Selbst im nordöstlichen Irland, wo (unter gleicher Breite mit Königsberg) nur selten im Winter Eis friert, gedeiht die Myrthe so freudig, wie in Portugal. Die geringe Wärme des Sommers vermag dagegen in England die Weintrauben und Wallnüsse nicht zur Reife zu bringen. — Bei dem Vorkommen der westlichen Winde in den gemäßigten Zonen ist der Einfluß der Nähe des Meeres ein viel beträchtlicher auf die westlichen, ein geringerer auf die östlichen Küsten. So haben z. B. in Nordamerika an der Ostküste gelegene Orte bedeutend heißere Sommer, aber auch kältere Winter als Orte von gleicher mittlerer Jahreswärme an der westlichen Küste.

Die mittlere tägliche Lufttemperatur kann auch durch das arithmetische Mittel weniger an passenden Stunden angestellten Beobachtungen nahe richtig erhalten werden. So eignen sich für diesen Zweck besonders die gleichnamigen Stunden 10 Uhr Morgens und Abends, 4 Uhr Morgens und Nachmittags; ferner die Stunden 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Zur Beobachtung des täglichen Maximums und Minimums der Temperatur eignet sich besonders der Thermograph. Dieser besteht aus zwei wagrecht liegenden Thermometern, einem Quecksilber- und einem Weingeistthermometer (Fig. 332).

(Fig. 332.)



Im ersten befindet sich vor dem Quecksilber in der Röhre ein kleines Stäbchen von Eisen, welches bei der Ausdehnung des Quecksilbers in der Röhre vorangeschoben wird, aber bei der Zusammenziehung desselben sich nicht wieder rückwärts bewegt und so den höchsten Stand angibt, welchen das Quecksilber

in der Röhre überhaupt erreicht hat. Um das Minimum der Temperatur anzuzeigen, befindet sich in der Röhre des Weingeistthermometers ein kleines Stäbchen von Glas,

welches an beiden Enden etwas dicker als in der Mitte ist. Wenn der Weingeist in der Röhre sich zusammenzieht, so folgt das Glasstäbchen vermöge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas demselben; bei der Ausdehnung des Weingeistes aber schiebt derselbe neben dem Glasstäbchen vorbei, ohne dasselbe mitzunehmen, welches daher die niedrigste Temperatur anzeigt, die innerhalb eines gewissen Zeitraumes stattgefunden hat.

§. 256. Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe.

Unter gleichen Breitengraden und übrigens gleichen Umständen ist die Temperatur eines Ortes um so niedriger, je höher derselbe über dem Meerespiegel liegt. Diese Erscheinung beruht hauptsächlich darauf, daß der feste Erdbkörper, besonders das Innere desselben, eine weit höhere Temperatur als der Weltraum hat, wonach denn natürlich die Temperatur mit der Entfernung von dem Erdbkörper abnehmen muß. Die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe ist für verschiedene Breitengrade, ferner für verschiedene Jahres- und Tageszeiten verschieden; dieselbe ist beträchtlicher bei einzeln stehenden Berggipfeln als bei zusammenhängenden Gebirgsmassen, besonders bei Hochebenen, indem in der größeren Masse eine verhältnismäßig vollständigere Fortleitung der Wärme aus den tieferen und wärmeren Erdschichten stattfindet.

In den Alpen kann man annehmen, daß im Mittel bei einem Steigen von 600 Fuß die Lufttemperatur um 1° sinkt.

Kennt man die Höhe eines Ortes über dem Meerespiegel und das Gesetz, nach welchem die Temperatur mit der Höhe abnimmt, so läßt sich aus der beobachteten mittleren Temperatur des Ortes auch diejenige herleiten, welche demselben bei gleicher Höhe mit dem Meerespiegel zukommen würde. (In der am Ende beigefügten Charte der Isothermen sind die Temperaturen höher gelegener Gegenden auf den Meerespiegel reducirt).

§. 257. Isothermen.

Im allgemeinen ist zwar die mittlere Lufttemperatur in der Nähe des Aequators am größten und nimmt mit der Entfernung von demselben und der Annäherung an die Pole ab. Vergleicht man jedoch, z. B. in Europa, Orte, welche die nämliche geographische Breite und ungefähr gleiche Höhe über der Meeresfläche haben, mit einander, so haben im allgemeinen die mehr westlich gelegenen eine höhere mittlere Temperatur als die östlicher gelegenen. Noch größere Differenzen ergeben sich, wenn man Orte in Europa mit Orten von gleicher geographischer Breite und ungefähr gleicher Höhe über dem Meerespiegel in Asien oder Amerika oder auf der südlichen Halbkugel vergleicht. Besonders hat das westliche Europa eine beträchtlich höhere Temperatur, als den anderen Erdtheilen bei gleichem Abstände vom Aequator zukommt.

Alexander v. Humboldt hat zuerst (1817) diese Verhältnisse sehr anschaulich auf die Art dargestellt, daß er Linien durch diejenigen Orte der Erdoberfläche zog, deren mittlere Lufttemperatur, wenn sie nach dem im vorhergehenden Paragraphen Angegebenen auf den Meerespiegel reducirt wird, eine gleiche Größe hat. Man nennt diese Linien Isothermen. Wie die am Ende beigefügte Charte zeigt, laufen diese Linien keineswegs dem Aequator parallel, sondern entfernen sich am weitesten an den westlichen Küsten Europa's von demselben, wo sie ihre höchsten Gipfel erreichen, und senken sich östlich nach Asien, westlich nach Amerika hin*). Die Linie der größten Wärme,

*) Nach neueren Beobachtungen dürften diese Linien in dem nördlichen atlantischen Oceane einen weniger geschlängelten Lauf nehmen.

der thermische Aequator, fällt nicht mit dem geographischen zusammen, sondern nördlich von demselben, indem die nördliche Halbkugel eine etwas höhere Temperatur als die südliche besitzt. Eben so deutet auch die Gestaltung der Isothermen darauf hin, daß die kältesten Punkte der Erdoberfläche, die Kältepole, nicht mit den geographischen zusammenfallen, und daß auf der nördlichen Halbkugel zwei Kältepole, der eine im Norden von Asien, der andere im Norden von Amerika, vorhanden sind.

Als die wichtigste Ursache der verschiedenartigen Krümmungen der Isothermen sind die Luft- und Meeresströmungen anzusehn. So verdankt insbesondere Europa seine höhere Temperatur den vorherrschend südwestlichen Winden und dem Golfströme, welcher den westlichen Küsten das wärmere Wasser der heißen Zone zuführt. Die zwischen den Wendekreisen wehenden Passatwinde bewirken nämlich in den großen Ozeanen der heißen Zone eine fortwährende Strömung von Osten nach Westen. Indem der in den mexikanischen Meerbusen eintretende Strom die Landenge von Panama nicht zu durchbrechen vermag, drängt er sich durch die enge Floridastraße und wendet seinen Lauf nach Nordost, und indem die in der gemäßigten Zone vorwaltenden südwestlichen Winde seine Fortbewegung in dieser Richtung unterstützen, breitet er sein wärmeres und eben darum leichteres Wasser wie einen Teppich über den nördlichen atlantischen Ocean aus. Mit diesem Strome werden häufig den Küsten von Irland und Norwegen Pflanzen oder Früchte zugeführt, welche der heißen Zone von Amerika angehören. Derselbe theilt zugleich seine höhere Temperatur den über ihm befindlichen Luftschichten mit, welche sich bei westlichen Winden über Europa verbreiten. Dem Einflusse des Golfstromes ist es insbesondere zuzuschreiben, daß sich im Norden Europa's beständig ein eisfreies Meer befindet und auch mitten im Winter das Polareis die Küsten von Norwegen und Lappland nicht erreicht.

Wenn zwei Orte die nämliche mittlere Temperatur haben, so können doch ihre klimatischen Verhältnisse in den verschiedenen Jahreszeiten, je nachdem dieselben im Innern größerer Continente liegen oder dem Einflusse benachbarter Meere unterworfen sind, sehr von einander abweichen. So hat z. B. Dublin fast einen eben so milden Winter als Constantinopel, aber nur eine Sommerwärme wie Petersburg, Quebeck in Amerika gleiche Sommerwärme mit Wien und gleiche Winterkälte mit Moskau, Satalz in Sibirien bei einer entseßlichen Winterkälte fast eben so warme Sommer als London u. dgl. m. Linien, welche durch Orte gleicher Sommerwärme gehen, werden Isothermen (von *ἴσος*, Sommer), und Linien, welche durch Orte gleicher Winterkälte gehen, Isochimenen (von *χειμα*, Winter) genannt.

Als die mittlere Lufttemperatur am Aequator kann man 27,5° annehmen. Die höchste Temperatur, bis zu welcher man das Thermometer in der heißen Zone in der Entfernung einiger Fuße vom Boden im Schatten hat steigen sehen, dürfte 45° bis 46° betragen. Auf dem Meere steigt dasselbe jedoch nicht über 30°. Die niedrigste auf der Erde überhaupt beobachtete Temperatur dürfte —58° betragen. In Deutschland kann man als die äußersten Grenzen der Lufttemperatur +38° und —32° annehmen.

§. 256. Temperatur des Bodens, der Quellen und des Meeres.

An den Veränderungen der Lufttemperatur nimmt auch die Oberfläche der Erde mehr oder weniger Theil. Die Größe dieser Schwankungen nimmt jedoch mit der Tiefe rasch ab und in einer gewissen Tiefe, welche aber für verschiedene Bodenarten verschieden ist, hören dieselben ganz auf, wahrnehmbar zu sein. In einer Tiefe von etwa 2 Fuß werden die täglichen, in einer Tiefe von 70 bis 80 Fuß auch die jährlichen Schwankungen der Temperatur des Bodens in unseren Breiten unmerklich. In der heißen Zone geschieht auch das letztere schon in der Tiefe von einigen Füßen.

Dringt man bis zu größeren Tiefen in die Erdrinde, so nimmt überall auf der Erde, in der heißen wie in der gemäßigten oder kalten Zone, die Wärme mit der Tiefe zu. Auf je 90 bis 100 Fuß Tiefe kann man eine Zunahme der Temperatur von 1° rechnen. Dieses Resultat ist durch Beobachtungen der Temperatur des Gesteins in Bergwerksschächten und der Temperatur des Wassers in Bohrlöchern erhalten worden. Die größte Tiefe, welche man auf diese Art erreicht hat, beträgt nur wenig über 2000 Fuß. Findet auch für größere Tiefen die Zunahme der Temperatur nach demselben Verhältnisse statt, so muß in 10,000 Fuß die Temperatur der des siedenden Wassers gleich sein; in der Tiefe von etwa 5 Meilen müßte auch der Granit sich im geschmolzenen Zustande befinden. Daß wirklich nur die äußere Erdrinde sich im festen Zustande befindet, innerlich aber eine geschmolzene Masse umhüllt, dafür sprechen besonders die vulkanischen Erscheinungen, die aus den Spalten der Erdkruste sich ergießenden feurig fließenden Laven.

Reichlich fließende Quellen zeigen fast durch das ganze Jahr eine ziemlich gleiche Temperatur. Die größte Wärme derselben fällt gewöhnlich in den September, die geringste in den März. Bei den meisten Quellen der gemäßigten Zone übertrifft ihre Temperatur in Folge der mit der Tiefe zunehmenden Erdwärme etwas die mittlere Lufttemperatur, in höheren Breiten steigt dieser Unterschied selbst bis auf mehrere Grade; über die heiße Zone fehlen noch hinreichende Beobachtungen. — Einige Quellen zeigen eine Temperatur, welche um vieles höher ist, als die mittlere Lufttemperatur, was zu dem Schlusse führt, daß dieselben größeren Tiefen entspringen. Aus dem Unterschiede zwischen der Temperatur einer Quelle und der mittleren Lufttemperatur läßt sich zufolge des oben Gesagten annähernd die Tiefe ihres Ursprungs berechnen.

Die Temperatur des Meeres ist, wie wir im Vorhergehenden schon bei mehreren Gelegenheiten bemerkt haben, weit geringeren Schwankungen unterworfen, als die Lufttemperatur. In unsern nördlichen Breiten ist das Meer im September am wärmsten, im März am kältesten. Im allgemeinen ist die mittlere Temperatur des Meeres an der Oberfläche von der mittleren Lufttemperatur nur wenig verschieden; in höheren Breiten jedoch übertrifft sie dieselbe bedeutend. In den niederen Breiten nimmt die Temperatur des Meerwassers mit der Tiefe ab. Selbst in der heißen Zone hat man aus sehr großen Tiefen Meerwasser geschöpft, welches eine Temperatur von weniger als 3° Grad zeigte. Diese Erscheinungen erklären sich durch das Strömen des kalten Wassers in der Tiefe von den Polen nach dem Aequator und durch das Abfließen des wärmeren Wassers an der Oberfläche von der heißen nach der kalten Zone hin.

In dem Bohrloche zu Neusalzwerk ohnweit Minden, welches eine Tiefe von 2150 Par. Fuß hat, ist man 1920 Fuß unter den Spiegel des Meeres gekommen. Die aus dieser Tiefe kommende Salzsole hat eine Temperatur von 33°, während die mittlere Lufttemperatur bei Neusalzwerk nur 9° betragen dürfte. — Auch im nördlichen Sibirien, wo im Sommer nur die Oberfläche des Bodens aufthaut, nimmt die Temperatur mit der Tiefe zu. In einem bei Jakuzk abgeteufsten Schachte wurden an den in den gefrorenen Boden eingesenkten Thermometern folgende Temperaturen beobachtet:

Tiefe engl. Fuß.	Temp.	Tiefe engl. Fuß.	Temp.
7	—18,1	150	—5,8
15	—12,5	200	—5,0
20	—11,0	250	—4,4
50	—8,0	300	—4,0
100	—6,8	350	—3,2

16 englische Fuß sind nahe gleich 15 Par. Fuß.

*§. 237. Historische Uebersicht.

1605. Drebbel in Holland erfindet das Thermometer, welches jedoch der festen Punkte noch entbehrt.
1687. Papin in Cassel stellt Versuche über die Elasticität des Wasserdampfes an.
1705. Newkomen in England construirt die erste atmosphärische Dampfmaschine.
1710. Fahrenheit in Danzig und Réaumur in Frankreich führen am Thermometer die noch jetzt gebräuchlichen festen Punkte ein.
1735. Hadley in England gibt die vollständige Erklärung der Passatwinde.
1763. Watt in England stellt Messungen der Elasticität des Wasserdampfes an und gibt der Dampfmaschine die Einrichtung, welche dieselbe im Wesentlichen noch gegenwärtig hat.
1763. Black in England weist die latente Wärme des Wassers nach.
1783. Saussüre erfindet das Haarhygrometer.
1788. Biotet in Genf stellt Versuche über die Reflexion der Wärmestrahlen an.
1798. Rumford in München bringt Wasser durch Reibung zum Sieden und spricht die Vermuthung aus, daß die Wärme auf Bewegung beruhe.
1800. Gay-Lussac findet, daß die Gase und Dämpfe für gleiche Temperaturzunahme sich gleich stark ausdehnen.
1802. Dalton in England entdeckt das nach ihm benannte Gesetz.
1804. Leslie in England stellt Untersuchungen über das Strahlungsvermögen der Körper, welche eine verschiedene Oberfläche haben, an.
1807. Die Dampfschiffe kommen zuerst in Amerika in Gebrauch.
1814. Wells in England begründet die Theorie des Thales.
1817. Alexander v. Humboldt stellt das System der isothermischen Linien auf.
1819. Daniell in England erfindet das nach ihm benannte Hygrometer.
1823. Faraday in England stellt über die Condensation der Gase entscheidende Versuche an.
1829. August in Berlin erfindet das Psychrometer.
1831. u. folg. Melloni zeigt, daß es verschiedenartige Wärmestrahlen gibt, welche von verschiedenen Körpern nach ungleichen Verhältnissen reflectirt oder durchgelassen werden.
1835. Forbes in England bewirkt eine Polarisation der Wärmestrahlen.
1842. Julius Mayer in Heilbronn stellt die mechanische Wärmelehre auf.
- 1843—49. Joule in England ermittelt durch genaue Versuche die Größe des mechanischen Wärmeäquivalents.
1847. Fizeau und Foucault weisen die Interferenz und
1848. Knoblauch die Beugung der Wärmestrahlen nach.
1868. Magnus in Berlin bestätigt durch Versuche die Annahme, daß auch die Fortpflanzung der Wärme im Innern der Körper auf transversalen Schwingungen der Moleküle beruht.

Anm. Schließlich mag noch Lesern, welche zur Anstellung von Versuchen und zur eigenen Anfertigung einfacher Apparate eine Anleitung wünschen, das folgende Buch empfohlen sein:

Strik: Physikalische Technik. 3. Aufl. Braunschweig, 1864.