



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

**Spiller, Philipp**

**Berlin, 1866**

Siebenter Abschnitt. Uebertragung von Schwingungen.

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-73841](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-73841)

größere Entfernung deutlicher sehen, so drückt man die beiden Augenlider zusammen oder sieht durch einen Spalt zwischen den Fingern. Wählt man zwei parallel dicht nebeneinander gelegte Messerschneiden, so ist die Deutlichkeit auffallend und hält man dabei den Spalt dem Auge ganz nahe, so erscheint eine große Anzahl dunkler paralleler Linien. Weil hierbei die Strahlen nach der Beugung mehr auseinander gehen, scheinen sie von einem näheren Punkte zu kommen und der Gegenstand erscheint somit vergrößert. (Benutzung zu Brillen?) Selbst wenn man dicht an einem einzelnen Körper vorüber sieht auf einen entfernten Gegenstand, erscheint dieser wegen der Beugung der Strahlen an jenem viel deutlicher.

## Siebenter Abschnitt.

### Uebertragung von Schwingungen.

Wenn von einem Stoffe Schwingungen ausgehen und sie treffen auf einen neuen Stoff entweder unmittelbar bei der Berührung oder durch einen Zwischenkörper (Uebertragung, Transmission, Wirkung auf die Entfernung), so können sie nicht bloß vom neuen Körper zurückgeworfen werden oder durch ihn dringen, sondern sind auch im Stande, den neuen Stoff zu neuen Schwingungen, entweder derselben Art, oder einer neuen Art mit Beibehaltung oder Veränderung der Schwingungszahl anzuregen und somit an ihm gleichartige oder neue verschiedenartige Erscheinungen zu zeigen. So wichtig und interessant die hither gehörigen Erscheinungen sind, so dunkel sind viele ihrem Wesen nach im Allgemeinen jetzt noch. Ueberall aber ist durchgreifend das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft. Wir wollen uns aber schon jetzt bemühen, durch feststehende Thatsachen in den verschiedenen Fällen eine klare Vorstellung der verschiedenen Vorgänge zu erlangen, wenn auch das rechte Licht erst nach der späteren Erforschung der Einzelheiten, namentlich in der Elektrizitätslehre, gewonnen werden kann.

Mittheilung. Die Uebertragung ohne Zwischenkörper ist eigentlich eine unmittelbare Mittheilung bei der Berührung der Körper. Sie findet zwar für alle Schwingungsarten und alle Körper statt, diese aber sind in sehr verschiedenem Grade befähigt, sich zu Schwingungen anregen zu lassen, wie wir es zum Theil schon angeführt haben.

Setzt man eine Spieldose auf lose Baumwolle oder Watte, so ist ihr Ton ziemlich dumpf; steht sie auf einem dünnen Brette über einem hohlen Raume, z. B. auf einem Klaviere, so ist der Ton viel klarer

und stärker; denn die Baumwolle läßt sich schwer, das Holz aber leicht zu ebenfolchen Tonschwingungen anregen.

Hält man ein Stück heißen Glases an Holz, so wird dieses nur langsam und schwer erwärmt, hält man es aber an Metall, so geht dessen Erwärmung schnell vor sich.

Scheint die Sonne auf einen mit Lampenruß stark geschwärzten Körper, so wird das Licht dadurch fast vollständig gehemmt; scheint sie aber auf eine weiße Glastafel, so geht es ziemlich gut durch.

Scheint die Sonne ferner auf frische Eidechseier, so werden dieselben selbstleuchtend, was man leicht erkennt, wenn man sie ins Finstere bringt; scheint sie aber auf einen Basaltstein, so wird er dadurch noch nicht leuchtend, wohl aber erwärmt.

Ebenso machen elektrische und magnetische Körper andere bei der Berührung sehr schwer oder leicht ebenfalls elektrisch und magnetisch. So ist es auch in vielen anderen, scheinbar verschiedenartigen Fällen.

Den Grad der Fähigkeit, die einem Körper dargebotenen Schwingungen eines anderen aufzunehmen, nennt man die Kapazität des Körpers.

Transmission. Sind zwei Körper räumlich getrennt, so ist eine Uebertragung der Schwingungen nicht anders, als durch einen geeigneten Zwischenkörper oder dazwischen befindlichen Stoff möglich. Dieses gibt die für uns oft so wunderbar scheinenden Wirkungen auf die Entfernung, zumal wenn dieser Stoff, wie der Weltäther, sich jeder unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmung entzieht. Die Größe und Art der Einwirkung des ersten Körpers auf den zweiten hängt jetzt nicht bloß von der Kapazität und Beschaffenheit des zweiten Körpers ab, sondern auch von der des Zwischenkörpers oder Leiters. Der Erfolg ist für verschiedene Leiter auch verschieden.

Je öfter die Zwischenkörper abwechseln, desto größer ist für alle Gattungen von Schwingungen die Abschwächung der Wirkung auf die Entfernung, welche nur für Stoffe von durchgängig gleicher Beschaffenheit abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen (Vergl. Bd. I. S. 59). Der Wechsel der Zwischenkörper lenkt die Schwingungen bei den verschiedenen Zurückwerfungen und Brechungen stets von ihrer ursprünglichen Richtung ab.

Wir gehen nun zu einzelnen Schwingungsarten und Wellenbewegungen über.

### 1. Uebertragung von Schallschwingungen.

Die Schallschwingungen werden von einem Körper eines gewissen Aggregatzustandes auf einen anderen nicht nur desselben, sondern auch eines anderen Zustandes sowohl bei der unmittelbaren Berührung, als auch auf die Entfernung übertragen; aber in den verschiedenen Fällen mit verschiedenem Erfolge. Der Weltäther ist zur Uebertragung von

Schallschwingungen wegen seiner außerordentlichen Zartheit völlig ungeeignet, wie der Versuch in der luftleer gemachten Glasglocke (Bd. I. S. 243, 15) gezeigt hat.

Die Uebertragung der Schallschwingungen eines festen Körpers, wie die einer tönenden Saite, auf einen luftigen ist am häufigsten

Um die Schwingungen eines festen Körpers, z. B. eines Stabes, einer tropfbaren Flüssigkeit mitzutheilen, kittet man jenen so an das Gefäß mit der Flüssigkeit, daß er noch etwas aus derselben hervorrage, um ihn durch Anstreichen zum Tönen zu bringen. — Hat man in einer halbkugelförmigen Glasglocke etwas Wasser und streicht sie an ihrem Rande so an, daß sie klar tönt, so sieht man, wie bei der Eintheilung der Glasfläche in Knoten und Bäuche auch die Wasserfläche in wirbelnd schwingende Bewegung mit einer gleichen Eintheilung geräth.

Die Schwingungen des Wassers lassen sich einem elastischen festen und luftigen Körper mittheilen. Um einen im Wasser erregten Schall außerhalb gut zu vernehmen, nimmt man eine nach unten kegelförmig grade oder gekrümmt sich erweiternde Röhre, verschließt die weitere Mündung mit einer elastischen Metallscheibe und bringt diese mit dem Wasserspiegel in Verbindung. Die Schwingungen des Wassers theilen sich der Platte und durch diese der Luft mit, so daß man mit dem Ohre am engen Ende des Rohres den im Wasser hervorgebrachten Schall deutlich wahrnimmt.

Das Zusammenschlagen von Steinen oder das Anschlagen einer im Wasser befindlichen Glocke hört man außerhalb desselben auch ohne besondere Mittel ganz gut. — Umgekehrt wird aber auch der Knall eines in der Luft abgeschossenen Gewehres im Wasser bis zu einer Tiefe von etwa 12 Fuß gehört. — Fische kommen zufolge eines Glockensignals zur Fütterung an die Oberfläche des Wassers. — Die Uebertragung der Schwingungen des Wassers auf die Luft geschieht leichter, als die umgekehrte. Man kann Schläge an die Taucherglocke in einer Tiefe von 30 Fuß noch ganz deutlich in der Luft hören, während ein über dem Wasserspiegel erzeugter Schall im Wasser viel schwerer hörbar ist.

Man kann die beim Tönen der Luft stattfindenden Schwingungen einem tropfbaren Körper, wie dem Wasser, oder einem festen, wie dem Holze, auch in sichtbarer Weise übertragen. Für den ersten Fall spannt man über das Ende einer offenen Orgelpfeife ein Häutchen schwach an und bringt es beim Tönen mit dem Wasser in Verbindung, für den zweiten Fall setzt man den festen Körper mit einem Holzringe in Verbindung, über welchen eine Haut gespannt ist, welche man mit ganz feinem trockenen Sande bestreut.

In Betreff der Fähigkeit der Körper, den Schall fortzuleiten, findet eine sehr große Verschiedenheit statt. Es gibt sehr gute und auch sehr schlechte Leiter. Je massiger und elastischer ein Körper ist, desto stärker leitet er im Allgemeinen den Schall, weil das Kraftmoment von

der Masse und der durch die Elastizität begünstigten Geschwindigkeit abhängig ist.

Wird eine angeschlagene Stimmgabel nur in der Luft gehalten, so ist ihr Ton schwach; setzt man sie aber mit dem Stiele auf einen hohlen Kasten oder auf ein Klavier, so ist er bedeutend stärker. — Wird die Stimmgabel auf den Hirnschädel oder auf die Zähne gesetzt, so pflanzen diese festen und sehr elastischen Körpertheile die Schallschwingungen mit fast unerträglicher Stärke unmittelbar zu dem Gehörorgane fort. — Taube können daher die Musik eines Klavieres wohl noch wahrnehmen, wenn sie auf seinen Resonanzboden einen Metallstab stellen und diesen an harte Theile des Kopfes oder ins Ohr bringen. — In den Schächten der Bergwerke und im Minenkriege hört man das Arbeiten auf größere Entfernung. Der Soldat auf Vorposten, der Waidmann, der Wilde legt sein Ohr auf den Erdboden, um die Tritte des Feindes oder des Wildes in großer Entfernung zu vernehmen. — Ein an einem Faden aufgehängter silberner Löffel klingt beim Anschlagen mittelst eines Schlüssel durch die Luft nur schwach; bringt man aber die beiden Fäden in die Ohren, so ist der Schall sehr stark.

Eine starke Männerstimme ist in der freien Luft bei Windstille auf etwa 800 Fuß hörbar; der feste und namentlich der gefrorne und somit gleichmäßiger erhärtete Erdboden pflanzt den Schall viel stärker fort. — Das Marschiren von einer Kompagnie Soldaten ist auf hartem Boden bei Nacht auf etwa 2000 Fuß, einer Eskadron Reiterei im Schritte auf 1800 Fuß, im Trabe oder Galopp aber auf 2600 Fuß, schweres Geschütz im Schritte auf 1600 Fuß, im Trabe auf 2400 Fuß vernehmbar. Werden die Räder und Hufe mit Stroh oder Lappen umwickelt, die steinige Straße mit Stroh belegt, so wird der Schall ungemein gedämpft.

In Betreff der Leitungsfähigkeit des Schalles folgen die nach den Längensfasern geschnittenen Holzarten in der Reihe: Tanne, Kampeche, Buchbaum, Eiche, Kirsche, Kastanie; die Metalle: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei; Fäden oder Schnüre: Därme, Haare, Seide, Hanf, Leinen, Wolle, Baumwolle. Marmor leitet nicht gut, wohl aber Glas, so daß uns letzteres z. B. das Straßengeräusch wenig abhält.

Eine wichtige Anwendung von der guten Fortpflanzung und Uebertragung des Schalles durch feste Körper hat man in der Medizin gemacht, denn man kann dadurch sogar das Innere unseres Leibes untersuchen und erforschen, ob die Organe der Brust und der Bauchhöhle sich in einem gesunden Zustande befinden, ob die Lunge verkümmert und unvollständig, ob andere Organe eine krankhafte Anschwellung erlitten u. dergl.

Das ganz einfache Instrument zu dieser Untersuchung, das Stethoskop, besteht nur in einem etwa 1 Fuß langen und  $1\frac{1}{4}$  Zoll dicken Stabe aus recht gleichmäßig beschaffenem Tannenholze, welcher an dem

auf den Leib zu setzenden Ende abgeflacht und an dem anderen, an welches man das Ohr dicht anlegt, in der Richtung der Axe etwas ausgehöhlt ist. Nur durch fleißige Beobachtungen vermag man sich die Fertigkeit anzueignen, aus den verschiedenartigen, durch das Instrument sehr verstärkt aus dem Inneren zu unserem Ohre gelangenden Geräuschen einen sicheren Schluß auf den Zustand der inneren Organe zu machen. Man hat zu dem Stetoskope bisher meist hartes Holz verwendet, aber trockenes Tannenholz dürfte mehr zu empfehlen sein.

Der verschiedene Grad der Leitungsfähigkeit der Körper für Schall-schwingungen ist natürlich auch bei der Wirkung auf die Entfernung durch Vermittelung von Zwischenkörpern maßgebend. Dabei suchen die Schwingungen sich in ihrer ursprünglichen Richtung zu erhalten und üben ihre ganze Kraft nur dann aus, wenn der in ihnen liegende Stoß senkrecht auf den getroffenen Flächentheil des zweiten Körpers auftrifft.

Wird eine gläserne oder messingne Klangscheibe mit einer zweiten, in derselben oder in einer parallelen Ebene liegenden durch einen Glas- oder Metallstab verbunden und bringt man auf der einen Scheibe einen Ton recht rein hervor, so gibt auch die andere den Ton und zeigt die zu diesem Tone bei ihr gehörige Klangfigur. Diese Figur ist aber nur dann genau dieselbe, wenn die beiden Scheiben in jeder Beziehung übereinstimmen, so daß die zweite, wenn sie beim selbstständigen Anstreichen den betreffenden Ton gibt, auch dieselbe Figur zeigt. Würden die beiden Scheiben durch einen wollenen, wenn auch dicken Faden verbunden, so bliebe die Erscheinung aus, weil der Faden zur Uebertragung der Schwingungen zu wenig geeignet ist. — Ist die zweite Platte aus ungebranntem Thone, so gibt sie keinen Ton und zeigt auch keine Figur.

Hat man an einem dünnen Faden in einer Glasglocke ein Schlagwerk aufgehängt oder dasselbe auf Watte gesetzt und pumpt man die Luft aus der Glocke, so verschwindet der Schall fast ganz, weil ihm der angemessene Leiter, nämlich die Luft, entzogen worden ist, und der Faden wegen seiner geringen Masse und die Watte wegen der häufigen Unterbrechungen in ihren Massenthelchen zur wirksamen Fortpflanzung der Wellen nicht geeignet sind.

Eine Abschwächung des Schalles findet überhaupt durch alle lockeren und viele Luft enthaltenden Körper statt, wie durch Teppiche, Strohmatten, Pelze, Filzdecken, losen Pappdeckel, Tuch, mit Sägespänen gefüllte Säcke u. dergl. — Man bringt also an einem Fortepiano das Forte hervor, wenn man die Saiten ganz frei und bloß legt; das Piano, wenn man einen Tuch- oder Lederstreifen mäßig andrückt; man dämpft den Ton der Violine durch die zwischen die Saiten geklemmte Sardine, bei Pauken und Trommeln, wenn man sie mit dünnem Florzeuge überkleidet.

Durch feuchte und neblige Luft hört man den Schall auch schwächer, als durch recht trockene; am Tage, im Sommer und in der heißen Zone schwächer, als in der Nacht, im Winter und in der kalten Zone. Am Tage fludet nämlich und vorzüglich in warmen Gegenden während der stärkeren Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonne eine fortwährend aufsteigende Luftströmung und ein Zufluß von untenher statt, wodurch die Luft ungleichmäßig elastisch wird, und im Sommer wird überdies durch die zu verschiedenen Höhen hervorragende Pflanzenwelt die Erdoberfläche rauher, als sie es im Winter und in den Polargegenden ist, wo die Schallwellen so häufige Unterbrechungen nicht erfahren. In Polargegenden, wo die Luft wegen ihrer niedrigen Temperatur dichter ist, hat man die menschliche Stimme über die Eisflächen hinweg bis auf 7000 Fuß vernommen und A. v. Humboldt vernahm das Getöse der Wasserfälle des Orinoko in der Nacht, wo in der Einöde nichts die Ruhe der Natur unterbrach, wohl dreimal stärker, als am Tage. — Wenn Biot seine Schallversuche an den Wasserleitungen in Paris erst in der Nacht von 1 bis 2 Uhr anstellen konnte, so ist noch zu berücksichtigen, daß das Geräusch einer großen Stadt die Wahrnehmung eines minder kräftigen Schalles oft unmöglich macht.

Die Resonanz. Bei der Uebertragung der Schallschwingungen kommt es aber nicht bloß auf die Beschaffenheit des Schallleiters, sondern noch auf den Stoff und das Spannungsverhältniß des anzuregenden Körpers und auf die Richtung an, in welcher die Schwingungen ihn treffen.

Hat der zweite Körper eine solche Spannung seiner Theile, daß er selbstständig denselben Ton geben würde, welchen ein anderer Körper wahrnehmen läßt; so wird er durch diesen auf die Entfernung zum Tönen angeregt, selbst wenn auch nur Luft zwischen ihnen ist. Da er den hervorgebrachten Ton gewissermaßen zurückgibt, so heißt diese Erscheinung Resonanz.

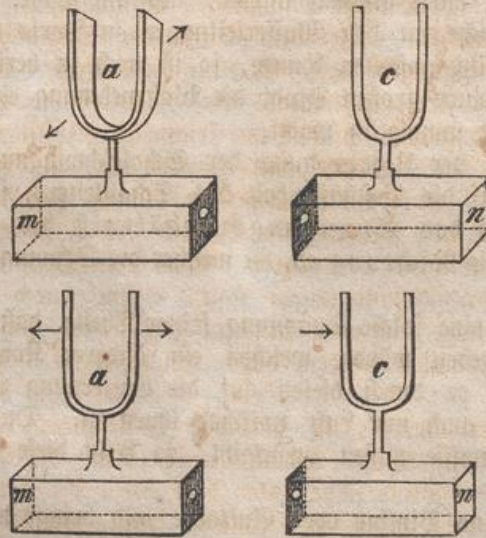
Liegt auf dem Tische eine Violine oder Gitarre und bringt man in einiger Entfernung davon mit einem dergleichen Instrumente oder irgendwie, auch singend, verschiedene Töne hervor, so werden die Saiten jenes Instrumentes sofort miltönen, wenn die ihnen zukommenden Töne hervorgebracht werden und selbst dann noch weitertönen, wenn auch der ursprünglich erregende Ton zu wirken aufgehört hat. Hier trägt also die Luft die Schwingungen des einen Instrumentes auf das andere über. — Auf dieses Miltönen gleichtöniger Saiten kann man sogar eine Methode gründen, ohne besonderes musikalisches Gehör, also ohne die Tonhöhe gut beurtheilen zu können, eine Gitarre gut zu stimmen.

Gibt eine angeblasene Luftsäule, welche sich in einer zylinderförmigen Glasröhre befindet, einen gewissen Ton und bringt man denselben Ton außerhalb dieser Pfeife irgendwie hervor, so tönt auch die Luft in der Pfeife, ohne daß sie selbst angeblasen worden ist und verstärkt somit

jenen Ton; sie hört aber zu tönen sofort auf und tönt nicht weiter, wie es bei der Saite der Fall war, wenn der erregende Ton unterbrochen wird, weil in ihr durch den Druck der äußeren Luft auf sie das Gleichgewicht sofort wieder hergestellt wird.

Bei dieser Anregung zum Mittönen ist in allen Fällen aber auch die Richtung, in welcher der zweite Körper von den Schwingungen des Leiters (des Zwischenkörpers) getroffen wird, wichtig. Nur wenn die Richtung dieser Schwingungen mit der übereinstimmt, in welcher der Körper selbstständig schwingend den Ton erzeugen würde, läßt sich ein kräftiges Mittönen oder Zurücktönen, d. i. eine kräftige Resonanz erwarten.

Jeder Körper sucht in einem zweiten Körper Schwingungen nur in derselben Richtung hervorzubringen.



(Fig. 317.)

kaum irgend vernehmlich mittönen, denn die Richtung der Schwingungen der Zinken von *a* bilden mit denen von *c* einen rechten Winkel, wie es die Pfeile andeuten. Stellt man aber beide Gabeln so, daß die breiten Seiten der Zinken beider parallel liegen, wie unterhalb angedeutet ist, so tönt die zweite Gabel sofort ganz stark mit und hört nicht auf, wenn man auch die Schwingungen der ersten Gabel durch das Anfassen hemmt. In diesem Falle stoßen die durch die Luft fortgepflanzten Schwingungen der ersten Gabel lothrecht auf die breiten Flächen der Zinken der anderen Gabel und bringen auf diese Weise sie auch in Schwingungen, obwohl die Luft im Verhältnisse zu Stahl eine außerordentlich geringe Masse hat, nämlich im Verhältnisse der spezifischen

Haben wir zwei vollkommen gleichstimmige Stimmgabeln *a* und *c* (Fig. 317), welche mit ihren Stielen auf zwei hohlen, nur an dem einen Ende *o* offenen Kästchen *m* *o* und *n* *o* aufgeschraubt sind, deren Luftsäulen auch denselben Ton vernehmen lassen und stellt man die beiden Gabeln zunächst so, daß die breiten Seiten der einen den schmalen der anderen zugekehrt sind; so wird, nachdem man *a* durch Anschlagen oder Anstreichen mittelst eines Violinbogens zum Tönen gebracht hat, *c*



Gewichte eine 6024 mal geringere. — Man stellt übrigens in allen Fällen die beiden Kästchen einander in derselben Richtung so gegenüber, daß die beiden Oeffnungen einander zugewendet sind, um das Mittönen der Luftsäulen zu erleichtern und erst, wenn die zweite Gabel auch tönt, kann man die Oeffnung ihres Kästchens dem Ohre des Beobachters zuwenden.

Es ist höchst wichtig, festzuhalten, daß die Schwingungen eines Körpers in einem anderen daran gränzenden ihre Richtung beibehalten wollen, oder daß sie den zweiten Körper zu Schwingungen in derselben Richtung anregen.

Will man die in einer Röhre mit enger Mündung enthaltene Luftsäule durch eine Stimmgabel zum Mittönen anregen, so muß man die flachen Seiten an ihren Enden, wo die Elongationen am weitesten sind, also die Schwingungskraft am größten ist, der Oeffnung gegenüber halten, um nämlich die Luftsäule zu Längenschwingungen anzuregen, die sie beim selbstständigen Tönen macht. — In dem Stiele der Stimmgabel finden bekanntlich Längenschwingungen statt. Stellt man denselben lothrecht auf die ebene Fläche des Resonanzbodens eines Klaviers, so wird dieser zu Querschwingungen angeregt, die er am leichtesten selbstständig auch macht. — Die Saiten der Guitarre oder Violine machen Querschwingungen, welche in der ihnen zunächst liegenden dünnen Holzfläche auch Querschwingungen erzeugen. Ist nun im Innern des Instrumentes ein dünnes Holzstäbchen zwischen der oberen und unteren Decke aufgestellt, so finden in ihm Längenschwingungen statt, welche durch die obere Decke hervorgebracht sind, die aber in dem Boden des Instrumentes wieder zu Querschwingungen werden, durch welche der Ton sehr verstärkt wird.

Fehlt daher dieses Querstäbchen, so hat das Instrument einen schwachen und hohlen Ton; daher heißt es auch die Stimme desselben. Man bringt die Stimme der Violine nahe unter dem Stege der Saiten an, weil dieser die Schwingungen derselben besonders kräftig fortpflanzt.

Die Telegraphendrähte werden, wenn sie nicht etwa mit Glatteis belegt sind, durch einen nicht in ihrer Richtung wehenden Wind in nichttönende Querschwingungen versetzt, aber diese gehen in den sie lothrecht stützenden Stangen als Längenschwingungen fort und folgen durch das Zusammenwirken der Schwingungen mehrerer Drähte so schnell aufeinander, daß sie zu Tonschwingungen werden. Man hört daher unter diesen Umständen die Telegraphenstangen oft auf weite Entfernungen hin tönen; man ist aber wirklich erstaunt über das innere Molekularleben der Holztheilchen, wenn man das Ohr dicht an eine solche Stange legt. Man kann die Stangen mit den Händen überall anfassen, ohne die Töne im geringsten zu stören, was ein Beweis davon ist, daß die Schwingungen in ihnen ebensogut Längenschwingungen sind, wie in dem Stiele der Stimmgabel, den man ja auch anfäßt, ohne das Tönen zu

hemmen. Eine querschwingende Violinsaite darf man nicht angreifen, wenn man den Ton nicht stören will.

Aus den beiden Umständen, daß die Wirkung der Resonanz dann am günstigsten ist, wenn abgesehen von der nothwendigen Elastizität des mittönenden Körpers die Richtungen der ankommenden Schwingungen möglichst lothrecht auf seine Hauptdimensionen sind und wenn er selbst geneigt ist, falls er selbstständige Schwingungen macht, in derselben Richtung zu schwingen und denselben Ton zu geben, folgen mit Nothwendigkeit die für den Bau von musikalischen Instrumenten zu befolgenden Grundsätze.

Die Saiten eines Klaviers oder einer Harfe schwingen transversal, sie stoßen die Luft in ihrer eigenen Richtung fort und diese Stöße gelangen zu den Holzflächen des Instrumentes, welche aus parallelen Längensfasern zusammengesetzt sind und am leichtesten transversal schwingen. Ist nun, wie beim Klaviere (auch bei der Violine, dem Violon, der Guitarre u. s. w.), die Holzfläche parallel mit den Saiten und ihnen nahe; so ist die Bedingung für das Mitschwingen am günstigsten, zumal wenn nicht nur die tiefstönigen langen Fasern unter den langen, die kurzen hochstönigen Fasern unter den kurzen Saiten sich befinden, sondern wenn auch die Fasern mit den über ihnen befindlichen Saiten möglichst gleichstimmig sind. Sind aber, wie bei der Harfe, diese Bedingungen weit weniger erfüllt, so kann auch das Mittönen nicht in so hohem Grade stattfinden und deshalb sind Harfentöne verhältnißmäßig nur schwach oder die Resonanz ist beim Klaviere weit stärker, als bei der Harfe.

Der Stoff des Resonanzbodens hat natürlich einen entschiedenen Einfluß auf die Eigenthümlichkeit oder den Charakter des Tones. Dies zeigt sich recht auffallend nicht nur beim Klaviere, jenachdem man zum Resonanzboden Holz oder Metall verwendet, sondern auch bei dem zu den Blasinstrumenten verwendeten Materiale. Der Ton der Holzinstrumente (Flöte) ist im allgemeinen weich und sanft, der der Metallinstrumente hart und durchdringend und dies auch je nach den Metallkompositionen in verschiedenem Grade. Berühmt war in dieser Beziehung, namentlich in früheren Zeiten, die Hornmusik der Russen, welche man 1 Meile weit hörte. — Der rauschende Ton des Tam-Tam wird nur durch die Eigenthümlichkeit der Metallkomposition und dadurch erreicht, daß es aus Theilen zusammengesetzt ist, in denen die Stärke und Geschwindigkeit des Schalles sehr verschieden ist. Daher die so merkwürdige Erscheinung, daß bei ihm nach einem einmaligen Anschlagen der einige Zeit anhaltende Schall abwechselnd stärker und schwächer wird.

Aus dem Mitschwingen und der Resonanz des Schalles erklären sich noch viele Erscheinungen: z. B. nicht nur die Wirkung eines einzelnen Instrumentes, sondern auch die eines ganzen Orchesters wird verstärkt, wenn es sich auf einem abgesonderten hohlen Fußboden befindet.

Der Eindruck desselben Instrumentes oder derselben Stimme ist in verschiedenen Räumen sehr verschieden. Sind die Wände aus sehr unelastischem Materiale, so ist der Klang ein matter und hohler. — Bei der sogenannten Maultrommel gewährt, wie beim Sprechen, die Mundhöhle mit ihren festen und weicheren Theilen (Zähne, der elastische Gaumen) die Vortheile der Resonanz.

## 2. Uebertragung von Wärmeschwingungen.

Bei der Mittheilung und Uebertragung der Wärmeschwingungen von einem Körper zu einem anderen ohne und mit einem Zwischenkörper zeigen sich ähnliche Verschiedenheiten in der Leichtigkeit und Schnelligkeit der Aufnahme derselben, wie wir sie bei dem Schalle kennen gelernt haben; überdies aber wird eine Veränderung des Volumens und des Aggregatzustandes der Körper hervorgebracht.

Wenn ein Körper eine bestimmte Temperatur oder einen bestimmten Wärmegrad besitzt, so sind seine kleinsten Massentheilchen in einem bestimmten Schwingungszustande, d. h. jedes einzelne vollendet in einer gewissen Zeit eine gewisse Anzahl von Schwingungen mit einer gewissen Weite und demnach liegt in dem Körper eine bestimmte Kraft, welche ein Produkt aus der Masse  $M$  und ihrer Temperatur  $T$  ist, gleichwie das Kraftmoment eines Körpers (vergl. Bd. I. S. 46) das Produkt seiner Masse und Geschwindigkeit war; denn die Schwingungskraft eines jeden Massentheilchens hängt ja ab von der durch die Schwingungsweite und Schwingungszahl bedingten Geschwindigkeit.

Die Schwingungskraft zweier gleichartigen und gleichen Massentheilchen kann dieselbe sein, wenn auch ihre Schwingungszahlen und Schwingungsweiten verschieden sind, wenn nur zur größeren Schwingungsweite des einen die angemessene kleinere Schwingungszahl gehört. Die Kraft des Stoßes eines aufgehängten Pendels in seinem untersten Punkte kann auch eine bestimmte sein, wenn es das eine Mal eine große Schwingungsweite bei kleiner Schwingungszahl, das andere Mal eine angemessene große Schwingungszahl bei kleiner Schwingungsweite hat.

Sind aber zwei Massentheilchen von verschiedener Art in Schwingungen, so ist ihre Schwingungskraft bei gleicher Geschwindigkeit verschieden und das mit der geringeren Masse wird entweder einer größeren Schwingungszahl oder einer größeren Schwingungsweite oder beides in vergrößertem Maße bedürfen, um dieselbe Schwingungskraft mit dem massigeren zu haben.

Bei der Mittheilung und Uebertragung der Wärmeschwingungen von einem Körper zu einem zweiten kommt aber noch der innere Zusammenhang und die Gestalt der Massentheilchen in Betracht, welche in dem Vorgange theils eine größere oder geringere Verzögerung, theils sogar eine völlige Umwandlung der Bewegungsart und somit

eine vollkommen veränderte Erscheinung hervorbringen können: durch Wärmeschwingungen können Schall, Elektrizität, Magnetismus und auch Licht erzeugt werden.

Wenn Wärme auch wieder nur Wärme erzeugt, so wird doch eine bestimmte Wärmequelle (Wärmekraft) im Stande sein, den einen Körper mehr auszudehnen oder die Schwingungsweite seiner Theilchen zu vergrößern, den anderen mehr zu erwärmen oder die Schwingungszahl zu vermehren, und endlich den Aggregatzustand verschiedener Körper mit ungleicher Wärme zu verändern, in allen Fällen also bei verschiedenem Widerstande in verschiedenartigen Körpern das Gleichgewicht herzustellen.

Je mehr Wärme im zweiten Falle ein Körper zu einer bestimmten Temperaturerhöhung bedarf, desto größer ist seine Wärmekapazität. Er wird also auch, wenn er eine große Wärmekapazität besitzt, im Stande sein, durch eine geringe Abnahme seiner Temperatur die eines anderen Körpers mit geringerer Kapazität bedeutender zu erhöhen.

Wir werden nun von diesen drei Fällen zunächst die beiden ersten einer besonderen Betrachtung unterwerfen, während der dritte Fall in der besonderen Wärmelehre behandelt werden soll, weil in ihm Zerstörungen des ursprünglichen Zusammenhanges der Massentheilchen zur Sprache kommen, welche bei anderen Schwingungsercheinungen zwar auch vorkommen, aber in ihren Folgen praktisch weniger wichtig sind. So kann man z. B. ein schnell abgekühltes Glas zertrümmern, wenn man den Ton recht kräftig hineinschreit, den es selbst durch Resonanz gibt; ferner bewirkt das Licht chemische Zersetzungen und durch Elektrizität kann man Gegenstände nicht nur zertrümmern, sondern auch Metalle schmelzen.

Von dem ersten Falle werden wir zunächst nur das erwähnen, was uns als Hilfsmittel für den zweiten und eigentlich hierher gehörigen Fall nothwendig ist. Das Uebrige findet in der besonderen Wärmelehre seinen Platz.

#### a. Veränderung des Volumens der Körper durch Wärme.

Paßt eine sehr gut abgedrehte eiserne Kugel in einen eben solchen Ring ganz genau, so daß sie, wenn beide einerlei Wärmegrad besitzen, grade durch ihn geht und erwärmt man dann die Kugel, während der Ring seine Temperatur behält; so geht die Kugel nicht mehr durch den Ring, denn sie hat ein größeres Volumen angenommen, es hat sich also nicht nur die Anzahl der Molekularschwingungen, sondern auch deren Weite vergrößert.

Weil in verschiedenen Körpern der Grad des Zusammenhanges der Massentheilchen ein sehr verschiedener ist, wird dieselbe Wärme in ihnen auch eine verschiedene Ausdehnung hervorbringen und selbst an demselben Körper wird bei gleichmäßiger Zunahme der Wärme seine Ausdehnung

nicht innerhalb aller Gränzen ganz dieselbe sein müssen; denn ist bei zunehmender Wärme der Zusammenhang der Theilchen eines Körpers schon sehr gelockert, so wird eine geringere Wärmeerhöhung eine größere Ausdehnung desselben bewirken können, als es bei einer geringeren Wärme desselben Körpers und derselben Wärmeerhöhung der Fall war.

Wir können im Allgemeinen aus der zunehmenden Ausdehnung eines Körpers zwar einen Schluß ziehen auf die Zunahme seiner Wärme, aber es muß auch das wichtige Bedürfniß einer genaueren Wärmemessung befriedigt werden; denn unser Gefühl ist ein sehr trügerischer Richter. Kommt z. B. Jemand aus einem sehr kalten, ein Anderer aus einem sehr warmen Raume in ein mäßig geheiztes Zimmer, so wird jener es gemüthlich warm, dieser aber kalt finden. Ja sogar beide Hände sagen gleichzeitig uns das Gegentheil, wenn wir sie in laues Wasser halten, nachdem die eine einige Zeit in ganz kaltem, die andere in ganz warmem gesteckt hatte.

**Wärmemessung.** Unter allen Körpern ist das Quecksilber ganz vorzüglich geeignet zur Wärmemessung, denn es wird erst bei sehr großer Kälte fest und bei sehr großer Hitze luftig und hat innerhalb einer weiten Gränze bei gleichmäßig zunehmender Wärme auch eine gleichmäßige Ausdehnung. Die Flüssigkeiten vergrößern ihren Raum bei zunehmender Wärme nach allen Richtungen hin gleichmäßig, aber nicht bedeutend. Um daher auch geringere Ausdehnungen noch erkennen zu lassen, setzt man eine fadenförmige Quecksilbersäule in einer engen Glasröhre mit einer in einem kleinen Gefäße (Kugel, Zylinder) eingeschlossenen etwas größeren Quecksilbermenge in Verbindung und bringt an jener eine Eintheilung in gleiche Theile an.

Für die Eintheilung des anzubringenden Maßstabes oder der Skale bedarf man aber zweier Punkte, zu welchen ein ganz bestimmter Wärme-grad gehören muß. In dieser Beziehung ist es wichtig, daß ein bestimmter fester Körper unter übrigens gleichen Umständen stets dann flüchtig wird, wenn er eine ganz bestimmte Wärme angenommen hat und daß der erhaltene flüchtige auch nur bei einer bestimmten Wärme luftig wird. Dadurch erhält man zwei feste Punkte für die weitere Theilung eines Instrumentes, welches nun ein Wärmemesser oder Thermometer genannt wird, obwohl man damit allein ein bestimmtes absolutes Maß noch nicht gefunden hat.

Zur Anfertigung von Thermometern nimmt man enge Glasröhren von überall genau gleicher Weite (kalibrierte Röhren). Um eine Röhre in dieser Beziehung zu prüfen, bringt man in sie ein kurzes Quecksilbersäulchen, verschleibt dieses langsam durch den Druck einer am Ende festgebundenen Kautschukblase und mißt mit einem feinen Zirkel die Quecksilbersäule überall. Die Röhre ist nur dann brauchbar, wenn die Länge des Quecksilbers stets unverändert bleibt. Würde die Quecksilbersäule an einer Stelle kürzer, so wäre die Röhre daselbst zu weit; würde sie

länger, so wäre die Röhre dort zu eng und in beiden Fällen unbrauchbar. — An das eine Ende der Röhre wird dann eine Kugel geblasen und diese, sowie ein Theil der Röhre mit luftfreiem und reinem Quecksilber gefüllt. Um die in der Röhre noch befindliche Luft herauszutreiben, wird das Quecksilber erhitzt und endlich die Röhre schnell zugeschmolzen. Ehe man aber die Skale machen kann, muß man diese Röhre mit dem Quecksilber noch einige Monate liegen lassen, weil das Glas, namentlich die Kugel, während langer Zeit sich noch verengt.

Die Skale, welche entweder auf die Glasröhre selbst, was am besten ist, oder auf einen Streifen von weißem Milchglase oder auch auf Papier, Holz und dergl. dahinter getragen wird, erhält man auf folgende Weise. Man hält das Instrument bis zu Ende des Quecksilbers in ein Gemenge aus geschabtem Eise (auch Schnee) und destillirtem Wasser, bis das Ende Quecksilbers in der Röhre an einer bestimmten Stelle stehen bleibt, welche man mit Null bezeichnet (vorkünftig durch einen feinen Strich mit einem Diamanten). Wie lange noch Eis im Wasser ist, ändert sich der Stand des Quecksilbers in der Röhre nicht. Nun erwärmt man das Wasser; die Quecksilbersäule in der Röhre und darin befindlichen Instrumentes steigt und wenn das Wasser lebhaft kocht, so behält sie in den sich daraus entwickelnden Dämpfen unmittelbar darüber eine ganz bestimmte Länge, und so hat man den zweiten festen Punkt.

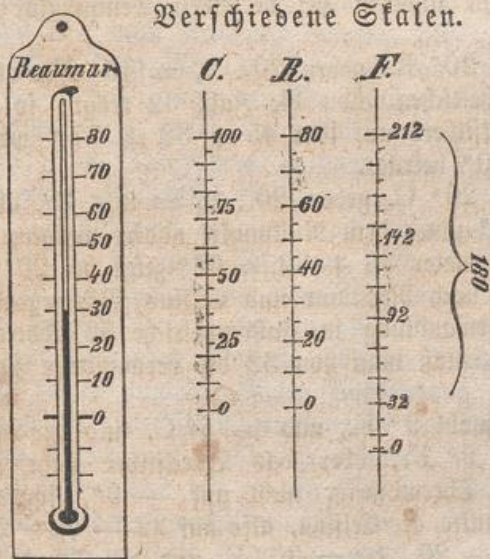
Die Entfernung zwischen jenem Schmelz- und diesem Siedepunkte wird nun in eine beliebige Anzahl gleicher Theile getheilt und solche Theile, welche man Grade nennt, werden noch von beiden Punkten ab- und aufwärts aufgetragen; die ersteren, also unter Null befindlichen, heißen Kältegrade und werden kurz mit — (Minus), die letzteren Wärmegrade, und werden mit + (Plus) bezeichnet, ohne daß wir meinen dürfen, jene Grade bezeichneten einen Mangel an Wärme: sie geben nur einen geringeren Grad von Wärme an, als ihn das schmelzende Eis besitzt. Den Grad der Wärme eines Körpers nennen wir seine Temperatur.

Berücksichtigung des Barometerstandes. Wollen beim Sieden des Wassers die aus ihm sich entwickelnden Dämpfe von der Wasserfläche aus in die Luft übergehen, so muß ihre Druckkraft oder eigentlich Schwingungskraft einwenig größer sein, als die Druckkraft der Atmosphäre. Da uns die Barometerbeobachtungen gelehrt haben, daß der Atmosphärendruck veränderlich ist, so wird auch der Kochpunkt des Wassers nach ihm sich richten; nämlich bei größerem Luftdrucke wird das Wasser mehr erwärmt werden müssen, damit seine Dämpfe aus ihm sich entwickeln können, als bei geringerem. Es ist also bei der Anfertigung der Skale genauere Thermometer und namentlich solcher, mit welchen man von verschiedenen Orten aus vergleichende Beobachtungen anstellen will, durchaus nothwendig, entweder alle Instrumente bei dem-

selben mittleren Luftdrucke, wofür man 76 Zentimeter annimmt, anzufertigen oder, weil dies nur selten statthast ist, auf dem Thermometer ausdrücklich anzugeben, bei welchem Barometerstande die Skale gemacht worden ist, um für feinere Beobachtungen dann die nöthige Verbesserung und Zurückführung auf einen gemeinschaftlichen Luftdruck vorzunehmen, indem ja für einen größeren Luftdruck die Grade zu groß, für einen kleineren zu klein sind.

Endlich ist noch eine andere Vorsicht zu berücksichtigen, um der Skale nicht einen falschen Siedepunkt zu geben. Es ist nämlich ermittelt, daß das Wasser beim Sieden in Metallgefäßen eine höhere Temperatur hat, als in irdenen oder in Glasgefäßen und auch die Dämpfe haben eine etwas größere ( $0,15^\circ$ ) Wärme. Um also übereinstimmende Siedepunkte zu erhalten, bezeichnet man dieselben nur dann, wenn die Kugel und Röhre nicht in dem Wasser selbst, sondern in den Dämpfen von reinem (entweder aus Schnee gewonnenem oder destillirtem) Wasser sich befinden. Mit fremden Körpern (z. B. Salz) versehenes Wasser hat einen anderen Siedepunkt. Salzwasser, z. B. Meerwasser, hat einen tieferen Gefrierpunkt (wenn dieses zugleich der Schmelzpunkt wäre) und einen höheren Siedepunkt. — Enthält das Wasser Luft, so ist seine Kohäsion geringer und es siedet daher bei einer niedrigeren Temperatur, als möglichst luftfreies Wasser.

#### Verschiedene Skalen.



(Fig. 318.)

tesimal-Grade gebraucht werden, so sind doch in verschiedenen Ländern noch die anderen Thermometer üblich, in Deutschland namentlich das von Reaumur, in Nordamerika das von Fahrenheit. Es ist also die Angabe zur Verwandlung der Grade des einen Thermometers in die

Celsius theilte (Fig. 318) die Entfernung vom Schmelzpunkte bis zum Siedepunkte in 100, Reaumur in 80 und Fahrenheit in 180 gleiche Theile, wobei letzterer am Nullpunkte der beiden ersten die Zahl 32 hatte, weil sein Nullpunkt durch Erzeugung einer größeren Kälte mittelst einer Mischung aus Salz und Schnee erhalten worden war. Wenn auch in wissenschaftlichen Werken jetzt meist die Eintheilung nach Celsius, also die hunderttheiligen oder Zen-

des anderen so lange noch nothwendig, als die Völker noch nicht durch gemeinschaftliches Uebereinkommen den Gebrauch derselben Skale angenommen haben, was allerdings zur Vermeidung von Rechnungen ganz erwünscht wäre.

Um die Verwandlung der Grade verschiedener Skalen in einander vorzunehmen, dient folgende Ueberlegung.

80° R. geben 100° C. oder 180° F., also  $4° R. = 5° C. = 9° F.$  Daraus ergibt sich, daß

$$1° R. = \frac{1}{4}° C. = \frac{1}{4}° F.,$$

$$1° C. = \frac{1}{5}° R. = \frac{1}{5}° F. \text{ und}$$

$$1° F. = \frac{1}{9}° R. = \frac{1}{9}° C. \text{ ist.}$$

Da  $1° R. = \frac{1}{4}° C.$  sind, so geben z. B. 20° R. in Graden nach Celsius  $20 \cdot \frac{1}{4} = 5$ , oder man muß, um aus Graden nach R. Zentesimalgrade zu erhalten, jene mit  $\frac{1}{4}$  multiplizieren.

Ferner ist  $1° C. = \frac{1}{5}° R.$ , aus 20° C. werden also  $20 \cdot \frac{1}{5} = 4$ ° R. oder man muß die Anzahl der Zentesimalgrade mit  $\frac{1}{5}$  multiplizieren, um Grade nach R. zu erhalten.

Für die Fahrenheit'schen Grade ist die Verwandlung etwas unständlicher, weil es hier nicht blos darauf ankommt, die Längenausdehnungen der Grade verschiedener Thermometer ineinander zu verwandeln, sondern aus dem Stande des Quecksilbers in dem einen Thermometer den Stand desselben im anderen bei derselben Temperatur zu ermitteln.

1° R. gibt  $\frac{1}{4}° F.$  und 20° R. geben  $20 \cdot \frac{1}{4} = 5$ ° F., aber da der Nullpunkt des Fahrenheit'schen schon die Zahl 32 trägt, so ist der wirkliche Stand des Quecksilbers auf ihm  $5 + 32 = 37$ °, wenn der auf dem Reaumur'schen 20° beträgt.

1° C. gibt  $\frac{1}{5}° F.$  und 20° C. geben  $20 \cdot \frac{1}{5} = 4$ ° F., aber auch hier müssen noch die 32° unter dem Nullpunkte addirt werden, so daß das Fahrenheit'sche Thermometer  $4 + 32 = 36$ ° zeigt bei 20° C.

Zeigen die Thermometer nach Reaumur und Celsius Wärmegrade, so muß man nach ihrer Verwandlung in Fahrenheit'sche 32 addiren; zeigen sie aber Kältegrade, so muß man von 32 die verwandelte Zahl abziehen.

Es geben z. B. 5° C. wohl 9° F., und — 5° C. sind der Längenausdehnung nach zwar — 9° F., aber das Quecksilber steht für — 5° C. im Fahrenheit'schen Thermometer nicht auf — 9°, sondern 9° unter 32 oder dem Nullpunkte des Celsius, also auf  $32 - 9 = 23$ .

Oder — 20° C. geben —  $20 \cdot \frac{1}{5} = 4$ ° F. und der Stand bei letzterem ist  $32 - 4 = 28$ , d. h. 4° unter dem Fahrenheit'schen Nullpunkte.

Sollen Fahrenheit'sche Grade in andere verwandelt werden, so kommt es darauf an, ob die gegebene Zahl über oder unter 32 und im letzten Falle, ob sie noch über oder unter Null liegt.



Ist die gegebene Zahl größer als 32, so muß man von ihr zunächst 32 abziehen und die erhaltene Zahl für das Thermometer nach Reaumur mit  $\frac{1}{4}$ , für das nach Celsius mit  $\frac{1}{5}$  multiplizieren.

Zeigt z. B. das Fahrenheit'sche Thermometer 86 Grade, so steht das Quecksilber  $86 - 32 = 54$  Fahrenheit'sche Grade über dem Nullpunkte der anderen Thermometer. Da nun  $1^\circ \text{F.} = \frac{1}{5}^\circ \text{C.}$  sind, so betragen  $54^\circ \text{F.}$  in Graden nach Celsius  $54 \cdot \frac{1}{5} = 30^\circ$  und in Graden nach Reaumur  $54 \cdot \frac{1}{4} = 24^\circ$  Wärme.

Zeigt das Fahrenheit'sche Thermometer 14 Grade, so steht das Quecksilber in ihm  $32 - 14 = 18$  Fahrenheit'sche Grade unter dem Nullpunkte der anderen Thermometer; folglich ist der Stand nach Celsius  $18 \cdot \frac{1}{5} = 10^\circ$ , und nach Reaumur  $18 \cdot \frac{1}{4} = 8^\circ$  Kälte.

Zeigte das Fahrenheit'sche Thermometer  $-4^\circ$ , so stände das Quecksilber in ihm  $32 + 4 = 36$  Fahrenheit'sche Grade unter dem Nullpunkte der anderen, was  $36 \cdot \frac{1}{5} = 20^\circ \text{C.}$  und  $36 \cdot \frac{1}{4} = 16^\circ \text{R.}$  Kälte gibt.

Man kann also für die Verwandlung der Fahrenheit'schen Grade in andere die Regel aufstellen: ist die gegebene Gradzahl größer, als 32, so zieht man 32 von ihr ab; ist sie kleiner als 32, so zieht man sie von 32 ab, und gibt sie Kältegrade an, so addirt man sie zu 32. In allen Fällen wird dann die erhaltene Zahl mit der betreffenden Verhältnißzahl  $\frac{1}{5}$  oder  $\frac{1}{4}$  multipliziert, jenachdem man Grade nach Celsius oder nach Reaumur erhalten will.

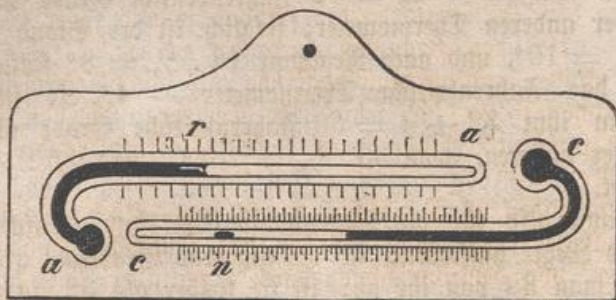
Man kann die Quecksilberthermometer anwenden bis zu  $+360$  und  $-35^\circ \text{C.}$ ; aber darüber hinaus kommt man in jenem Falle dem Siedepunkte ( $+400^\circ \text{C.}$ ), in diesem dem Gefrierpunkte ( $-40^\circ \text{C.} = 32^\circ \text{R.}$ ) des Quecksilbers zu nahe, so daß die Ausdehnung desselben nicht mehr gleichmäßig ist.

Da Weingeist bis jetzt noch nicht zum Gefrieren gebracht worden ist, sondern bei einer Kälte von mehr als  $90^\circ$  nur zähflüssig wird, so dient er zur Anfertigung von Thermometern für große Kälte. Wegen seiner leichten Verwandlung in Dünste bei zunehmender Wärme ist er aber zur genaueren Messung höherer Temperaturen nicht geeignet und wegen seiner ungleichmäßigen Ausdehnung muß seine Skale nach der eines guten Quecksilberthermometers regulirt werden. Um ihn in den weißen Glasröhren leichter zu erkennen, ist er mit Karmin gefärbt.

Thermometer mit großen Kugeln haben einen trägen Gang, weil sich die größere Quecksilbermasse darin nicht so schnell gleichmäßig durchwärmt, wie in einer kleineren; wenn sie aber eine enge Röhre besitzen, so sind die Gradabtheilungen länger, als in einer weiten und man kann leichter kleine Unterabtheilungen ablesen. Man hat demzufolge Thermometer angefertigt, auf denen man noch 0,01 eines Fahrenheit'schen Grades ablesen konnte. — Recht empfindliche Thermometer, welche jeden Temperaturwechsel schnell anzeigen sollen, müssen eine kleine

Kugel und natürlich auch eine enge Röhre haben. — Sogenannte Liebesthermometer.

Es ist für manche Zwecke erwünscht, die höchste und niedrigste Temperatur, welche in einer gewissen Zeit, z. B. an einem Tage, oder an einem gewissen Orte, z. B. in einem Raume zur Malzbereitung, stattgefunden haben, zu wissen, ohne daß man die Messung selbst grade zu dieser Zeit vornimmt. Zu diesem Zwecke dient ein horizontal liegendes Doppelthermometer, der Thermometrograph oder das Maximum- und Minimumthermometer (Fig. 319), von denen das eine cc



(Fig. 319.)

Quecksilber, das andere aa Weingeist enthält. Auf jenem schwimmt ein etwas hervorragendes Zylinderchen n aus Stahl, in diesem ein hohles r aus Glas mit einem kleinen Knöpfchen, welches grade noch untertaucht.

Das Quecksilber nimmt bei seiner Ausdehnung das Zylinderchen zwar mit fort, läßt es aber beim Zusammenziehen liegen, so daß es die Stelle für die höchste Temperatur angibt; der Weingeist nimmt beim Zusammenziehen das Glaskörperchen auch mit fort, weil das Knöpfchen die Grenzfläche der Flüssigkeit wegen ihres etwas größeren Zusammenhanges nicht durchbricht, läßt es aber bei der Ausdehnung an der Stelle der niedrigsten Temperatur liegen, indem der Weingeist an ihm vorübergeht.

Hat man die Beobachtung am Instrumente gemacht, so stellt man die Thermometer lothrecht mit der Quecksilberkugel nach unten, klopft leise daran und die Schwimmer gehen, weil die Thermometer eine entgegengesetzte Lage haben, wieder an die Oberflächen der beiden Flüssigkeiten.

Will man genauere Untersuchungen über die Temperatur der freien Atmosphäre anstellen, so ist die Aufstellung des Thermometers wichtig: es darf nicht an einer Stelle hängen, wohin die Sonne kommt, wenn es auch nicht grade zur Beobachtungszeit ist; denn die Körper haben durch das Bescheinen von der Sonne Wärme angenommen, welche sie längere Zeit der Umgebung, also auch dem Thermometer abgeben; es

darf nicht gegenüber von Gegenständen angebracht werden, auf welche die Sonne scheint, weil es dann durch die strahlende Wärme über die Lufttemperatur erwärmt würde; es darf niemals dicht an der Wand eines bewohnten Hauses hängen, weil ihm sonst von dem Hause Wärme mitgetheilt würde; es darf endlich auch nicht nahe an dem Erdboden hängen, um nicht seinen Temperaturverhältnissen ausgelegt zu sein. Am besten ist es, wenn man es im Freien an einer stets beschatteten Stelle etwa 5 bis 6 Fuß über dem Erdboden frei aufhängen kann.

Besondere Einrichtungen hat man den Thermometern gegeben, welche zur Messung der Temperaturen des Erdbodens und tiefer Gewässer (in Meeren und artesischen Brunnen) verwendet werden.

Man wendet auch die atmosphärische Luft zur Wärmemessung theils für gewöhnliche, theils für sehr hohe Temperaturen von Feuern an. Instrumente für den letzteren Zweck heißen Feuermesser oder Pyrometer.

**Luftthermometer.** Man hat durch Vergleichung mit dem Quecksilber gefunden, daß die Luft zwischen  $-25^{\circ}$  C. und  $100^{\circ}$  C. eine gleichmäßige Ausdehnung hat wie das Quecksilber und daß zwei Thermometer, von denen das eine durch Quecksilber, das andere durch Luft die Wärme mißt, innerhalb dieser Gränze miteinander genau übereinstimmen, daß aber darüber hinaus das Quecksilber etwas höhere Temperaturen anzeigt, als die Luft, d. h. daß sich Quecksilber in einem größeren Verhältnisse ausdehnt als Luft, wenn auch beide um gleichviel erwärmt werden. Die Ausdehnung der Luft findet bis zu  $+350^{\circ}$  der Wärmezunahme verhältnißmäßig statt, so daß also die Luft mehr geeignet ist, als das Quecksilber zur Messung von höheren Wärme-graden.

Man würde aus einem Gefäßbarometer (Bd. I. S. 210) ein Luftthermometer erhalten, wenn man die Oeffnung der Kugel zuschmilzt; weil dann über dem Quecksilber in ihr Luft ist, welche bei der Erwärmung sich ausdehnt, auf das Quecksilber mehr drückt und somit den Quecksilberstand in der langen Röhre erhöht. Setzt man die Luft in der Kugel nacheinander der Temperatur des Null- und der des Siedepunktes aus, so kann man auch leicht die Skale bekommen; aber da das Quecksilber gleichzeitig an den Temperaturveränderungen theilnimmt, so stört es den Einfluß der Ausdehnung der Luft und macht eine etwas umständliche Verbesserung des beobachteten Resultates nothwendig.

Wenn dagegen bei einem Thermometer von der gewöhnlichen Form statt des Quecksilbers in der Kugel und einem Röhrentheile sich Luft befindet und diese nur durch ein Tröpfchen Quecksilber von der äußeren Luft abgesperrt ist, so ist zwar die Ausdehnung des Quecksilbers von geringerem Einflusse, aber hier wirkt der veränderliche äußerliche, durch den Barometerstand angegebene Luftdruck störend und auch hier bedarf die Beobachtung einer Verbesserung, und zwar nach dem mariotteschen Gesetze.

Die Ausdehnung der Luft durch die Wärme wird ferner zur Messung sehr kleiner Wärmeunterschiede angewendet bei den Differenzialthermometern. An eine horizontal gestellte Glasröhre, in deren Mitte sich eine kleine Menge mit Karmin gefärbter Schwefelsäure befindet, schließen sich zwei lothrechte Schenkel mit Kugeln oder Gefäßen von ganz dünnem Glase oder Metalle, welches letztere das Instrument empfindlicher macht. Wird das eine Gefäß wärmer, so geht die Flüssigkeit nach dem anderen hin um so weiter, je größer der Temperaturunterschied ist. Es lassen sich durch Vergleichen mit anderen Thermometern leicht die nöthigen Eintheilungen vornehmen.

**Luftpyrometer.** Endlich kann auch die Luft zur Messung sehr hoher Wärmegrade, oder zu Pyrometern verwendet werden. Man versteht ein kugelförmiges hohles Platingefäß mit einer feinen Röhre und setzt es dem Feuer aus, dessen Temperatur bestimmt werden soll. Nachdem die Hitze so viele Luft herausgetrieben hat, als es bei der grade stattfindenden Ausdehnung derselben geschehen muß, wirft man es ins Wasser oder hält die Mündung der Röhre unter Quecksilber und es dringt nun bei der stattfindenden Abkühlung um so mehr Flüssigkeit in das Gefäß, je mehr Luft entwichen oder je heißer der Raum gewesen ist. Aus der verschwundenen Luftmenge läßt sich die vorhanden gewesene Ausdehnung der zurückgebliebenen und ihre Temperatur bestimmen.

**Metallthermometer.** Man kann auch feste Körper, namentlich Metalle, zur Messung der Wärme verwenden. Die Erfahrung lehrt, daß verschiedene Metalle bei derselben Wärmezunahme in verschiedenem Grade sich ausdehnen; Eisen z. B. weniger als Messing. Nietet man oder walzt man zwei gleichlange Streifen von diesen Metallen aneinander und liegen sie bei einer gewissen und für beide Metalle gleichen Temperatur in grader Richtung, so krümmt sich der Doppelfstreifen, wenn die Temperatur sich ändert und zwar so, daß das Eisen bei Zunahme derselben auf der inneren, bei Abnahme auf der äußeren Seite der Krümmung liegt.

Ein Metallthermometer erhält man nach diesen Erfahrungen, wenn man aus zwei sich sehr verschieden ausdehnenden Metallen einen gekrümmten Doppelfstreifen anfertigt, das eine Ende desselben befestigt und das andere auf den kurzen Arm eines kleinen Hebels wirken läßt, dessen längerer Arm einen gezahnten Bogen trägt. Wenn nun die Zähne desselben in ein kleines Getriebe eingreifen, dessen Ase einen etwas längeren Zeiger trägt, so wird eine nur geringe Bewegung am freien Ende des Metallstreifens eine sehr deutliche des Zeigers geben und die Bewegungen des letzteren werden die Zu- oder Abnahme der Temperatur anzeigen, deren Höhe man durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer auf dem Instrumente verzeichnet.

Da die Verminderung der Dicke und Vergrößerung der Länge des Streifens die Empfindlichkeit des Instrumentes vermehrt, so hat

Breguet ihn nur  $\frac{1}{100}$  Linie dick angefertigt, spiralförmig gekrümmt und das freie Ende mit einem Zeiger versehen, dessen Ende sich über einem eingetheilten Kreise bewegt. Ein solches Instrument ist sehr empfindlich.

Bringt man auf dem Rande der Eintheilung zwei leicht bewegliche Schieber an, welche man zu beiden Seiten dicht an den Zeiger legt, um durch ihn bei der Bewegung sich verschieben zu lassen; so gibt dies einen Thermometrographen.

Metallpyrometer. Auf die Erfahrung gestützt, daß jedes Metall und jede Metalllegirung nur bei einer bestimmten Temperatur aus dem festen Zustande in den tropfbar-flüssigen übergeht, hat man auch Metallpyrometer angefertigt. Nimmt man zwischen dem Schmelzpunkte des Silbers und dem des Goldes 10 Stufen an, so wird man zum Silber 10 Prozent vom Golde und nach und nach immer 10 Prozent mehr zusetzen, um die Zwischenstufen zu erhalten. Werden zwischen Gold und Platin 100 Stufen angenommen, so setzt man nach und nach immer 1 Prozent von letzterem mehr zu. Zu den Versuchen verwendet man nur ganz kleine Kügelchen (wie ein Stechnadelkopf groß) und bekommt die Zahl der Grade durch Vergleichung mit dem früher erwähnten Luftpyrometer.

Wedgwood fertigte Thonzylinder von genau gleicher Größe, setzte sie dem Feuer aus, dessen Hitze er bestimmen wollte, steckte sie, nachdem sie hinreichend lange darin gewesen waren, zwischen die Schenkel eines Winkels aus zwei eingetheilten Metallschienen und schloß aus der Tiefe, bis zu welcher sie hineingingen, auf den Temperaturgrad des Feuers. Der Thon zieht sich nämlich im Feuer um so mehr zusammen, je höher die Temperatur desselben ist, weil er anfänglich das mit Hartnäckigkeit festgehaltene Wasser mehr und mehr verliert und dann noch zusammentritt. Große Genauigkeit gewähren diese Pyrometer nicht.

Ein äußerst empfindliches Thermometer, namentlich auch für den Einfluß der strahlenden Wärme, werden wir in der besonderen Elektrizitätslehre kennen lernen.

#### b. Wärmekapazität.

Nachdem wir von den durch die Wärme hervorgebrachten Ausdehnungsercheinungen, welche eine Folge der Vergrößerung der Schwingungsweite der Molekel sind, nur das für die Wärmemessung Unentbehrlichste angeführt haben, weil nun häufiger Angaben über Temperaturgrade zu machen sind, gehen wir zu den Erscheinungen der Wärmekapazität über.

Wenn in einen bestimmten abgesperrten Raum verschiedenartige Körper mit verschiedener Temperatur gebracht werden, so hat sich nach einer gewissen Zeit die Temperatur aller ausgeglichen: die kälteren sind wärmer, die wärmeren aber kälter geworden, so daß alle bei der

Messung mit einem Thermometer gleiche Wärme zeigen, obwohl z. B. Quecksilber und alle Metalle sich kälter anfühlen, als Wasser, Holz u. a. Körper.

Bei diesem Austausch der Temperaturen tritt sowohl die strahlende Wärme auf, als auch die geleitete. Jene wirkt durch die Luft auf entfernte Körper erwärmend ein, ohne die Luft selbst zu erwärmen und an ihr eine durch das Thermometer erkennbare höhere Temperatur zu zeigen. Hält man einem heißen Ofen einen Papierschirm gegenüber, so schneidet man die Wärmestrahlung ab und dennoch zeigt ein jenseits des Schirmes befindliches Thermometer nach wie vor dieselbe Temperatur. Der Schirm selbst wird aber dabei wärmer. Daß auch hier lockere poröse Körper und solche, bei denen ein öfterer Wechsel des Stoffes vorhanden ist, auf die Verbreitung der Wärme schwächend oder hemmend einwirken oder daß sie schlechte Leiter sind, ist wohl selbstverständlich.

Diese Ausgleichung hängt also wesentlich mit der Leitungsfähigkeit der Körper für die Wärme und mit der Kapazität für das Annehmen und Festhalten der Wärmeschwingungen zusammen.

Man hat vorzüglich drei Methoden, die letztere zu untersuchen: die Mischungs-, die Schmelzungs- und die Abkühlungsmethode.

Wir betrachten zunächst gleichartige Stoffe.

1) Gießt man zu 1 Quart Wasser von  $40^\circ$  Wärme 1 Quart von  $20^\circ$ , so hat das Ganze nach dem Umrühren eine Temperatur von  $30^\circ$ ; also das arithmetische Mittel aus den beiden Temperaturen: das erste Quart verliert so viel, als das zweite gewinnt.

Um das Resultat genau zu erhalten, muß man das Gefäß, worin die Vermischung geschieht, vorher schon auf  $30^\circ$  Wärme bringen, besonders, wenn es aus einem gut leitenden Stoffe besteht, widrigenfalls seine Temperatur einen abändernden Einfluß hat.

Sind die Mengen der beiden gleichartigen Körper von verschiedener Temperatur ungleich, so ist zu berücksichtigen, daß die ganze Wärmekraft  $w$  eines Körpers das Produkt aus seiner Masse  $m$  und Temperatur  $t$ , oder  $w = mt$ , folglich  $t$  oder die Temperatur jedes Theiles  $= \frac{w}{m}$  ist.

Wenn nun zu 10 Quart von  $20^\circ$ , deren Wärmekraft  $10 \cdot 20 = 200$  ist, 15 Quart von  $50^\circ$  mit der Wärmekraft  $15 \cdot 50 = 750$  gethan werden; so ist die Summe der Wärmekräfte  $10 \cdot 20 + 15 \cdot 50 = 200 + 750 = 950$ , welche sich auf die Gesamtmasse  $10 + 15 = 25$  gleichmäßig vertheilt. Dividirt man jene Summe 950 mit der Summe der Massen 25, so erhält man 38. Auch hier noch gleichen sich Gewinn und Verlust gleicher Massen aus.

Sind allgemein  $M$  und  $m$  die Massen,  $T$  und  $t$  die dazu gehörigen Temperaturen, so ist das Resultat nach der Verbindung  $\frac{MT + mt}{M + m}$ ,

welches vollkommen mit den Bd. I. S. 399 vom Stöße angeführten Betrachtungen übereinstimmt. Verlust und Gewinn an der Temperatur ungleichwarmer Körper bei ihrer Berührung stehen in ähnlicher Beziehung zu den Stoffen wie Verlust und Gewinn an Geschwindigkeit. Es ist in den beiden Fällen wesentlich dasselbe Naturgesetz.

Ein ganz anderes Verhalten zeigt sich, wenn verschiedenartige Stoffe zueinander gethan werden.

Ein Pfund Wasser von 60° und 1 Pfund Leinöl von 90° geben untermengt 70°, also verliert Leinöl 20°, während Wasser nur 10° gewinnt. — Wird 1 Pfund Wasser von 90° zu 1 Pfund Leinöl von 60° gethan, so gibt das 80° im Gemenge, so daß Leinöl 20° gewinnt, während Wasser nur 10° verliert. — Daraus folgt, daß die Wärmekapazität des Wassers doppelt so groß, als die des Leinöls ist.

Ein Pfund Wasser von 20° und 1 Pfund Eisen (vielleicht in Feilspännen) von 60° geben 24° oder 1 Pfund Wasser von 60° und 1 Pfund Eisen von 20° geben 56°. Also wird Eisen durch dieselbe Wärme 9 mal mehr erwärmt, als Wasser, oder die Kapazität des Wassers ist 9 mal größer, als die des Eisens.

Bei Quecksilber zeigt sich sogar eine 33 mal größere Kapazität des Wassers. Ueberhaupt aber hat das Wasser die größte Wärmekapazität von allen Körpern, weshalb man sie auch als Maßeinheit für die der übrigen Körper angenommen hat.

Diese das Wasser auszeichnende Eigenschaft ist für die Dekonomie des Hauses und der Natur von großer Wichtigkeit.

Gegenstände, welche in der Nähe auch nur von mäßig warmem Wasser sich befinden, sind dem Erfrieren nicht leicht ausgesetzt, weshalb man im Winter in die Keller, in welche der Frost leicht dringt, Gefäße mit Wasser zum Schutze der Vorräthe stellen kann.

Stellte man in abgesperrte Stuben im Sommer bei großer Hitze Gefäße mit kaltem Wasser in der Höhe auf, so würde dies zur Abkühlung der Luft bedeutend beitragen.

Um nämlich 1 Pfund Wasser auch nur um 1 Grad zu erwärmen, müssen 4 Pfund Luft, welche einen Raum von etwa 57 Kubikfuß (2¼ : 32 . 4) einnehmen, um 1 Grad sich abkühlen. Demnach werden 26 Pfunde Wasser erforderlich sein, um einen Stubenraum von 26 . 57 = 1482 Kubikfuß Rauminhalt um 1 Grad kälter zu machen, wenn das Wasser sich auch nur um 1 Grad erwärmt. Stellt man also 26 Pfd. Brunnenwasser von 10° Wärme in eine so große Stube, worin die Luft eine Temperatur von 20° zeigt, so ist nach Ausgleichung der Wärme in dem Raume die Luft nur noch 15° warm.

Davon ließe sich in der heißen Jahreszeit wohl ein praktischer Gebrauch machen, wobei man die Gefäße mit dem Wasser möglichst hoch zu stellen hat, weil die von ihnen abgekühlte Luft herabfällt und die nach oben gehende warme ihre höhere Temperatur fortwährend dem

kälteren Wasser abgeben kann, während, wenn das Gefäß auf den Dielen stände, nur die untersten Luftschichten abgekühlt würden und die oberen eine viel längere Zeit noch warm blieben.

Daß durch Eis, welches man in der Höhe aufstellt, der angegebene Zweck weit vollständiger und schneller erreicht wird, darf wohl kaum erst erwähnt werden. Der bedeutende Erfolg läßt sich aus folgenden Thatfachen ermesen.

Wenn man 1 Pfund Eis von  $0^{\circ}$  in ein Gefäß mit  $45\frac{1}{2}$  Pfund Wasser von  $14^{\circ}$  bringt, so schmilzt das Eis darin und erniedrigt die Temperatur auf  $12^{\circ}$ , wobei man den Versuch in einem Zimmer von  $12^{\circ}$  anstellt, um einen störenden Einfluß zu vermeiden. Um also Eis von  $0^{\circ}$  in Wasser von  $12^{\circ}$  zu verwandeln, ist die Wärme von  $2^{\circ}$  in den  $45\frac{1}{2}$  Pfund Wasser oder von  $91^{\circ}$  in 1 Pfund Wasser nothwendig und um Eis in Wasser nur von  $0^{\circ}$  zu verwandeln, sind  $91 - 12 = 79$  Wärmeeinheiten erforderlich, wenn man unter einer Wärmeeinheit diejenige Wärme versteht, welche im Stande ist, 1 Pfund Eis von  $0^{\circ}$  in Wasser von  $0^{\circ}$  zu verwandeln. Es würde demnach auch 1 Pfund Wasser von  $79^{\circ}$  C. (eigentlich  $79,25^{\circ}$ ) zu 1 Pfund Eis oder Schnee von  $0^{\circ}$  gethan, Wasser von nur  $0^{\circ}$  geben.

Auch in dem großen Haushalte der Natur ist die bedeutende Wärmekapazität des Wassers von Nutzen, denn Küstenländer und Inseln haben eine geringere Wintertälte zu ertragen, als die Binnenländer unter derselben geographischen Breite bei gleicher absoluter Höhe. Die gemäßigte Temperatur, welche man das Seeklima nennt, folgt noch aus anderen Gründen, welche wir später werden kennen lernen; für die milde Wintertemperatur liegt der Grund vorzüglich in der großen Wärmekapazität des Wassers.

2) Die Schmelzungsmethode besteht darin, daß man untersucht, wie viel Eis von  $0^{\circ}$  die verschiedenen Körper von gleichem Gewichte im luftleeren Raume zu schmelzen im Stande sind, wenn sie dabei um gleichviele Wärmegrade abgekühlt werden. Das Verhältniß der dadurch erhaltenen Wassermengen ist auch das der Wärmekapazitäten. Die zu den Versuchen geeignete Vorrichtung heißt der Eiskalorimeter.

3) Die Abkühlungsmethode. Um die Wärmekapazität der Gase zu untersuchen, läßt man sie bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke durch ein Schlangenrohr im Wasser von bestimmter niedriger Temperatur gehen.

Von verschiedenen Gasen werden verschiedene Mengen in verschiedenen Zeiten das Wasser um eine gewisse Anzahl von Graden erwärmen oder verschiedene Gase werden in bestimmter Zeit eine ungleiche Temperaturerhöhung in ihm hervorbringen. In jenem Falle verhalten sich die Wärmekapazitäten der Gase wie umgekehrt die verwendeten



Mengen, in diesem Falle grade wie die durch sie hervorzebrachten Temperaturerhöhungen.

Bedingungen für die Wärmekapazität. Die Wärmekapazität eines bestimmten Körpers wächst mit der Zunahme seiner Temperatur und seines Volumens. Beides läßt sich aus der angenommenen Natur der Wärme erklären.

Hat nämlich ein Körper eine höhere Temperatur angenommen, so hat sich die Schwingungszahl und die Schwingungsweite (vermehrte Ausdehnung), also überhaupt die Schwingungskraft seiner Massentheilchen vergrößert. Sie werden daher und weil sie den Beharrungszustand festhalten wollen, einer neuen Kraft (Zuführung von Wärme) einen größeren Widerstand entgegensetzen, als bei der früheren niedrigeren Temperatur, um selbst eine gewisse Wärmezunahme zu zeigen.

Nimmt ferner eine bestimmte Menge von Massentheilchen bei einer bestimmten Temperatur einen bestimmten Raum ein, so ist jedes Theilchen in einem bestimmten Schwingungszustande, d. h. es macht in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Anzahl von Schwingungen mit einer bestimmten Weite. Wird nun denselben Massentheilchen gestattet, einen größeren Raum einzunehmen, so bleibt zwar ihre Schwingungskraft, aber da sich die Weite der Schwingungen vermehrt hat, so muß die Anzahl sich vermindern, welches eine Erniedrigung der Temperatur ist. Soll also bei und trotz der Vergrößerung des Volumens eines Körpers in ihm eine gewisse Wärmezunahme erreicht werden oder soll die durch die Ausdehnung des Körpers bewirkte Verkleinerung der ursprünglichen Schwingungszahl um dieselbe Größe vermehrt werden; so muß ihm mehr Wärme zugeführt werden, als wenn er sein kleineres Volumen mit jener ursprünglichen Schwingungszahl behalten hätte.

Die Zunahme des Volumens eines Körpers, mag sie nun durch Erhöhung seiner Temperatur oder durch Verminderung des auf ihn ausgeübten Druckes hervorgebracht worden sein, ist aber nur so lange mit einer Vergrößerung der Wärmekapazität des Körpers verbunden, als derselbe seinen Aggregatzustand nicht ändert.

Es ist wohl an sich klar, daß Verkleinerung des Volumens auch eine Verminderung der Wärmekapazität zur Folge haben muß.

Freie und gebundene Wärme. Man pflegt gewöhnlich zu sagen, daß, wenn ein Körper eines bestimmten Aggregatzustandes veranlaßt wird, sein Volumen zu vergrößern, Wärme gebunden wird oder das Gefühl von Kälte entsteht und daß, wenn ein Körper sein Volumen verkleinert, Wärme frei und fühlbar (auch meßbar) wird; mir scheinen aber diese Ausdrücke wenig oder gar nicht geeignet, ein klares Licht auf den eigentlichen Vorgang, welcher so außerordentlich oft beobachtet werden kann, zu werfen. Man wird sich folgende Vorstellung zu machen haben.

Wird das Volumen eines Körpers verkleinert, so vermehrt sich die Anzahl und vermindert sich die Weite der Schwingungen; wird das Volumen des Körpers größer, so vermindert sich die Anzahl und vermehrt sich die Weite der Schwingungen. In beiden Fällen bleibt die Schwingungskraft des Ganzen unverändert, im ersten aber wird die Temperatur höher, im zweiten niedriger.

Wenn die atmosphärische Luft von der Erdoberfläche aus in höhere Gegenden steigt, wo sie einem geringeren Drucke ausgesetzt ist, so dehnt sie sich aus und wird kälter. — Soll eine bestimmte Luftmenge eine bestimmte Temperaturerhöhung erfahren, so bedarf sie, wenn sie dasselbe Volumen beibehalten soll, weniger Wärme, als wenn sie unter einem bestimmten Drucke sich frei ausdehnen kann, weil im ersten Falle, also mit Beibehaltung der Schwingungsweite, die Schwingungszahl leichter vermehrt werden kann, als wenn die Weite sich gleichzeitig vergrößert. Wird atmosphärische Luft um 0,1 ihres Volumens zusammengedrückt, so bewirkt dies eine Temperaturerhöhung von 11,5°, bei 0,9 schon 103,5°; zum Anzünden des Schwammes durch Luft im pneumatischen Feuerzeuge ist eine Temperatur von 288° erforderlich.

Dämpfe sind beim Ausströmen kälter als vorher. — Durch das Ausströmen von verdichteter atmosphärischer Luft, welche die Temperatur der Umgebung hat, kann Wasser in Eis verwandelt werden. — Läßt man flüssige Kohlensäure in einen luftleeren kalten Raum als einen dünnen Strahl strömen, so ist die dabei entwickelte Kälte (60°) so groß, daß die Kohlensäure als weißlicher Schnee niederfällt.

Wenn chemische Verbindungen einen kleineren Raum einnehmen, als die Summe der Räume der Mischungsantheile vor der Vereinigung; so entwickelt sich Wärme, welche bisweilen recht bedeutend ist: Wasser mit Alkohol, weit mehr Wasser mit konzentrierter Schwefelsäure. Ebenso, wenn ein flüssiger Körper sich mit einem festen verbindet oder selbst zu einem festen wird: Wasser mit ungelöschtem Kalk.

Daß durch die Verdichtung eines Körpers Wärme erzeugt wird, zeigt sich auch beim Prägen der Metalle zu Münzen, beim Hämmern derselben, beim Feuer schlagen mit Stahl und Stein u. dergl.

Kältemischungen. Wenn chemische Verbindungen einen kleineren Raum einnehmen und wenn tropfbare Körper zu festen werden, zeigt sich Wärme, welche durch das Thermometer angezeigt wird (Wärme wird frei). Wenn dagegen eine Körperverbindung einen größeren Raum einnimmt und wenn feste Körper zu tropfbaren werden, zeigt sich eine durch das Thermometer wahrnehmbare Abkühlung (Wärme wird gebunden). Der letztere Umstand ist es vorzüglich, den man zur künstlichen Erzeugung von Kälte benutzt hat.

Wenn 1 Theil Schnee zu 1 Theil verdünnter Schwefel- oder Salpetersäure gethan wird, so geht die Temperatur von  $-7^{\circ}$  bis auf etwa  $-51^{\circ}$  zurück. Werden Salpeter, Glaubersalz, Salmiak u. a. in

Wasser aufgelöst, so sinkt die Temperatur des letzteren. — 1 Theil Kochsalz mit 3 Theilen Schnee von  $0^{\circ}$  geben —  $17^{\circ}$ .

Ueberraschend ist die Wahrnehmung, daß etwas kaltes Wasser, welches sich in einer dünnen und flachen Metallschale auf Schnee befindet, zu Eis wird, während der Schnee in einem Metallbecken auf glühenden Kohlen geschmolzen wird. Der Schnee entzieht die ihm zum Schmelzen erforderliche Wärme der ganzen Umgebung, also nicht bloß den darunter befindlichen Kohlen, sondern auch dem Wasser darüber.

### 3. Die Mittheilung und Uebertragung von Lichtschwingungen.

Der gewaltige Verbrennungsprozeß, welcher an der Sonne stattfindet, setzt den absolut elastischen Weltäther in schwingende Bewegung. Wenn nun diese Schwingungen die irdischen Körper, in denen der Weltäther auch vorhanden ist, treffen; so erleiden sie je nach der Beschaffenheit ihres Stoffes und seines Zusammenhanges sehr verschiedenartige Veränderungen. Wenn irdische Körper verbrennen, so gibt dies nicht einen wesentlichen Unterschied.

Diese Veränderungen, von denen wir bereits die Zurückwerfung, Brechung und Beugung kennen gelernt haben, zeigen sich noch in anderen Erscheinungen.

Die Insolation. So wie ein tönender Körper einen anderen entfernten Körper durch einen geeigneten irdischen Zwischenkörper auch zum Mitschwingen veranlassen kann, ebenso ist ein leuchtender Körper fähig, einen entfernten zweiten Körper durch den jedenfalls dazwischen befindlichen Weltäther zum Mitteleuchten zu bringen. In dieser Beziehung ist besonders die Sonne wichtig, welche, wenn sie die irdischen Körper bescheint, den Aether in vielen derselben veranlaßt, leuchtend mitzuschwingen, so daß er selbst dann noch fortschwingt, wenn ihre unmittelbare Einwirkung, welche man Insolation nennt, schon längst aufgehört hat. Es ist grade so, als wenn eine zum Mitschwingen gezwungene Stimmgabel selbst dann noch selbstständig weiter schwingt, wenn man auch die erregende Gabel bereits gehemmt hat; oder wenn ein durch einen zweiten Körper erwärmter Körper seine Wärme nicht sofort verliert, wenn auch die Wärmequelle beseitigt wird.

Flußspath ist in dieser Beziehung ausgezeichnet, indem er nach der Insolation noch wochenlang leuchtend bleibt; der Diamant, weißes Papier, Eierschalen, durchgeglühte Austerschalen und mehre künstlich dargestellte Körper, wie der bologneser Leuchtstein, der kantonische, der osanische Phosphor. Jener besteht aus kalzinirten Austerschalen, welche in Schichten abwechselnd mit Schwefelblumen in einem Schmelztiegel stark geglüht werden; dieser aus arseniksaurem Baryt, welcher mit Tragant zu Pasten geformt und geglüht wird. Das Präparat von Wach leuchtet sogar unter Wasser und Del. Weißgebrannte Austerschalen werden nur

dünn mit einer Auflösung von Schwefelarsenik in Ammoniak bestrichen, nach dem Eintrocknen mit Schwefel bestreut und in einem verschlossenen Tiegel ausgeglüht.

Gäbe es Körper, welche die Lichtschwingungen völlig unverändert durchließen, so würden sie vollkommen durchsichtig und für uns unsichtbar sein, und andere Körper in ihrer ganzen Gestalt, Farbe und Beschaffenheit durch sich erkennen lassen.

Gestatten Körper allen Lichtstrahlen von beliebiger Färbung den Durchgang unverändert, so heißen sie wasserhell.

Gäbe es ferner Körper, welche unter allen Umständen gar kein Licht durchließen, sondern dasselbe in sich vernichteten, so wären sie vollkommen undurchsichtig. Körper, welche nur in dünnen Lagen die Spuren der Umrisse anderer Körper erkennen lassen, sind durchscheinende.

Es entspricht kein Körper den beiden ersten Bedingungen, denn selbst die dunstfreie atmosphärische Luft wirft das Licht nach allen Richtungen zurück oder zerstreut es, wodurch, wie wir wissen, die Tageshelle entsteht. Man kann deshalb auf dem Gipfel eines hohen Berges, wo es in der Umgebung keinen das Licht zurückwerfenden Gegenstand gibt, einen Körper am Tage in allen Richtungen, in denen er auch von der Sonne nicht unmittelbar beleuchtet wird, erkennen. Je höher man in die Atmosphäre gelangt, desto weniger wird Licht zerstreut, desto mehr entfernt sich die Farbe des Himmels von dem Hellblauen ins Dunkelblaue und Schwarze, wie es der lichtlose Weltraum zeigt.

Es ist also sehr natürlich, daß die Gestirne um so herrlicher glänzen, auf je höheren Bergen man sie bei heiterer Atmosphäre betrachtet.

Hemmung der Lichtwellen. Auch hier, wie bei den Schall- und Wärmewellen, wird die Uebertragung der Schwingungen durch irdische Körper sehr gehemmt, ja völlig unterbrochen, wenn der Stoff mit anderen Stoffen häufig abwechselt, wie z. B. Glas mit Luft, Luft mit Wasserdünsten, Wasser mit Luft bei schäumendem Wasser. So ist eine weiße Glastafel durchsichtig, wenn man aber dasselbe Glas in kleine Stücken zerschlägt oder pulverisirt, wobei es zwischen den Glastheilchen viele Luft enthält; so ist es völlig undurchsichtig. Matt geschliffenes Glas ist nur durchscheinend. Wenn man in solchen Fällen zu dem festen Körper einen flüssigen thut, welcher beinahe dieselbe lichtbrechende Kraft besitzt, so wird der undurchsichtige durchscheinend oder dieser selbst durchsichtig. Wasser und Oele bewirken dies schon in vielen Fällen, wie wir es bei der Brechung bereits erwähnt haben.

Farbig durchsichtige Körper. Manche Körper lassen von dem weißen Lichte nur eine bestimmte Farbe durch und vernichten die anderen Farben des Weiß und jede andere Farbe, außer der von ihnen durchgelassenen, verändern oder vernichten sie. Solche farbig durchsichtige Körper haben also nur für eine bestimmte Farbe eine Resonanz

oder sie gestatten nach ihrem Spannungsverhältnisse dem Aether nur eine bestimmte Anzahl von Schwingungen. Ein rein rothes Glas ist nur durchsichtig für die rothen und undurchsichtig für die übrigen einfachen Farben: ein weißer Gegenstand erscheint durch dasselbe roth und rothe Strahlen werden bei ihrem Durchgange nur wenig geschwächt. Ebenso gibt es grünes Glas, welches nicht blos grünes, sondern auch gelbes und blaues Licht, die in ihrer Verbindung grün geben, nicht aber rothes durchläßt. Daher geben ein rothes und ein solches grünes Glas, von denen jedes für sich durchsichtig ist, einen für die Strahlen des Tageslichtes völlig undurchsichtigen Körper.

Der elektrische Funke ist durch alle farbigen Gläser in der betreffenden Farbe sichtbar und sogar bei einer undurchsichtigen Zusammenstellung zweier Gläser. Dies scheint eine Bestätigung der früher schon aufgestellten Ansicht zu sein, daß der elektrische Funke eine Erscheinung stehender Schwingungen des Weltäthers ist, welcher alle Körper durchdringt.

Farbig undurchsichtige Körper werfen von dem auf sie fallenden weißen Lichte eben nur die Farbe zurück, in welcher sie uns erscheinen, während sie die übrigen im weißen Lichte enthaltenen vernichten oder sie haben eben nur für diese eine Farbe eine echoartige Resonanz. Werden diese farbigen Körper durch die ihnen eigenthümliche Farbe beleuchtet, so erscheinen sie in einem solchen Lichte viel glänzender.

Die Farben der Körper sind sehr selten einfache. Man erkennt dieses daran, daß man sie durch ein Prisma ansieht: die einfachen Farben zeigen sich unverändert, die zusammengesetzten werden aber in ihre einfachen Farben zerlegt. Grün bleibt entweder Grün oder wird in Blau und Gelb zerlegt. Die zusammengesetzten Farben zeigen also die auf weißem Grunde durch ein Prisma angeesehenen Körper mit farbigen Rändern.

Ein Körper heißt schwarz, wenn er die Lichtstrahlen weder zurückwirft, noch durchläßt, sondern alle vernichtet; er ist also nicht ein Leiter des Lichtes. Ein Körper heißt weiß, wenn er alle Strahlen des weißen Lichtes, sowie die Strahlen farbigen Lichtes in der betreffenden Farbe zurückwirft. Grau wird er genannt, wenn er nur wenig weißes Licht zurückwirft, ohne es zu zerlegen. Absolut schwarze und weiße Körper gibt es nicht, sie würden uns unsichtbar sein.

Es ist bemerkenswerth, daß derselbe Körper oft anderes Licht durchläßt, als er zurückwirft. Milchglas zeigt vom weißen Lichte rothes durchgelassenes und bläulich-weißes zurückgeworfenes; durch ganz dünnes auf weißes Glas geklebtes Blattgold erscheinen Gegenstände grünlich, also läßt Gold grünes Licht durch, während es gelbes zurückwirft; Silber läßt blaues durch, wirft weißes zurück; Wasser läßt rothes durch (herrliche Erscheinung bei dem Tauchen in die Meerestiefe), wirft blaues zurück, ähnlich wie die Lakmuskinktur. Man nennt diesen Farbenwechsel

das Opalifiren der Körper, weil der Opal diese Eigenschaft in einem angenehmen Grade zeigt.

Der Schatten. Die Wellenbewegungen aller Gattungen werden in den verschiedenen Fällen durch verschiedene Körper abgeschnitten. Die Kreiswellen durch einen in die tropfbare Flüssigkeit gestellten hinreichend breiten festen Körper; die Schallwellen durch viele Körper so, daß man jenseits derselben den Schall nicht hört; die Wellen der strahlenden Wärme sind jenseits der meisten Körper nicht mehr vorhanden; ebenso werden die Schwingungen elektrischer Natur und die Lichtschwingungen oft abgeschnitten.

Ist ein Körper undurchsichtig und ist er dem Lichte ausgesetzt, so ist der Raum jenseits, abgesehen von dem nicht bedeutenden Einflusse der Beugung, in einer gewissen Abgränzung lichtlos oder der Körper bewirkt einen Schatten. Wäre nur ein leuchtender Punkt vorhanden, so würde man die Gränze des Schattens leicht dadurch finden, daß man von diesem Punkte aus die gradlinigen Strahlen nach allen in der Oberfläche des Körpers liegenden und der äußersten Gränze desselben angehörigen Punkten zieht und diese von da aus verlängert. Diese Verlängerungen liegen in der Gränzfläche des Schattens, der übrigens für unseren Fall ins Unendliche fortgeht. Ist der undurchsichtige Körper eine Kugel, so ist der Schatten kegelförmig mit der Spitze im leuchtenden Punkte und sein Querschnitt wächst mit zunehmender Entfernung von der Kugel.

Ist der leuchtende Körper nicht punktförmig, sondern von größerer Ausdehnung, so gibt es hinter dem Körper zwar Raumtheile, welche von keinem Punkte des leuchtenden Körpers Licht erhalten, und dieses ist der Kernschatten; aber auch andere, welche von einzelnen Punkten erleuchtet werden, und diese geben den Halbschatten.

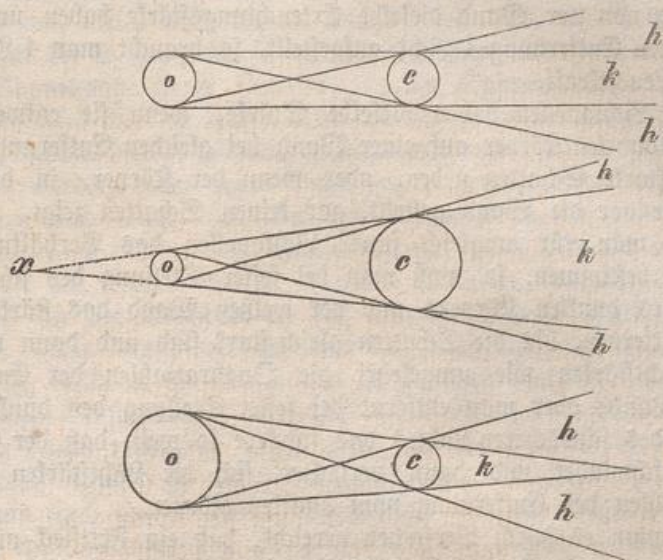
Nehmen wir an, daß der leuchtende und der beleuchtete undurchsichtige Körper kugelförmig sind, wie es bei den Himmelskörpern stattfindet, so können wir uns drei Fälle denken, welche durch die Fig. 320 dargestellt werden:

1) Beide Körper,  $o$  und  $c$ , sind gleich. In diesem Falle ist der Kernschatten  $k$  zylindrisch.

2) Ist der leuchtende Körper  $o$  kleiner, als der beleuchtete, so ist der Kernschatten ein sich erweiternder Kegel, dessen Spitze  $x$  noch hinter dem leuchtenden liegt.

3) Ist der leuchtende Körper  $o$  größer, als der beleuchtete, wie es bei der Sonne und den Planeten der Fall ist, so läuft der Kernschatten kegelförmig spitz zu und hat als Basis den größten Sonnendurchschnitt.

In allen drei Fällen umschließt der Halbschatten  $h$  den Kernschatten mantelförmig und erweitert sich dabei mit zunehmender Entfernung.



(Fig. 320.)

Der von einem dunklen Körper bei Sonnenschein erhaltene Schatten ist nur dicht am Körper scharf begränzt, in einiger Entfernung ist die Gränze desselben kaum zu erkennen. Dies rührt theils von der Strahlenbeugung, theils von der Lichtzerstreuung und Zurückwerfung der benachbarten Körper her.

Photometrie. Auf hohen Berggipfeln ist der Kontrast zwischen Licht und Schatten bedeutender, als unter gleichen Umständen auf der Tiefebene; denn dort geht von dem Sonnenlichte durch Zerstreuung weniger verloren als hier und dort wird der Schatten durch zurückgeworfenes und zerstreutes Licht weniger beleuchtet als hier. Der Schatten von weißem Lichte wird unter übrigens gleichen Umständen um so schwärzer, je stärker das Licht ist. Nehmen wir nacheinander ein Talglicht, ein Wachlicht, das Licht von gutem Petroleum, elektrisches Licht, das Licht eines Magnesiumdrahtes, so wird ein bestimmter Stab auf eine weiße Wand in bestimmter Entfernung einen zunehmend schwärzeren Schatten werfen, wenn jene Beleuchtungen einzeln verwendet werden. — Für jedes bestimmte Licht wird aber auch der Schatten um so schwärzer, je näher man es der Wand und dem Stabe bringt. Wir wissen bereits aus einem allgemeinen Gesetze (Vd. I. S. 59), daß die Stärke der Beleuchtung einer Wand zunimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung des Lichtes von ihr abnehmen; d. h. in der halben Entfernung ist die Beleuchtung und die Erleuchtung viermal, in dem Drittel der ursprünglichen Entfernung neunmal größer, als in der einfachen Entfer-

nung. Man könnte demnach auch sagen: will man in der doppelten Entfernung von der Wand dieselbe Erleuchtungsstärke haben und ist in der einfachen Entfernung 1 Licht aufgestellt, so braucht man 4 Lichte von derselben Leuchtkraft.

Zwei Lichtquellen haben dieselbe Stärke, wenn sie entweder von demselben dunklen Körper auf einer Wand bei gleichen Entfernungen von ihm gleichstarke Schatten geben, oder wenn der Körper, in die Mitte zwischen sie vor die Wand gestellt, gar keinen Schatten zeigt.

Will man für ungleich starke Lichtquellen das Verhältniß ihrer Leuchtkraft bestimmen, so muß man bei fester Stellung des schwächeren Lichtes, des dunklen Körpers und der weißen Wand das stärkere Licht so weit entfernen, bis die Schatten gleich stark sind und dann verhalten sich die Lichtstärken wie umgekehrt die Quadratzahlen der Entfernung von der Wand; oder man entfernt bei fester Stellung des dunklen Körpers und des schwächeren Lichtes das stärkere so weit, daß der Schatten beider verschwindet und dann verhalten sich die Lichtstärken wie die Quadratzahlen der Entfernung vom dunklen Körper.

Hat man es durch Versuchen erreicht, daß ein Fettfleck auf einem Papierschirme beim Ausschlusse alles fremden Lichtes und einer Beleuchtung von jeder seiner beiden Seiten unsichtbar geworden ist; so ist er beiderseitig gleich stark erleuchtet und es verhalten sich die Lichtstärken wie die Quadratzahlen der Entfernungen vom Flecken. Jenachdem der Fleck stärker von hinten oder von vorn erleuchtet ist, wird er hell auf dunklerem Grunde oder dunkel auf hellerem Grunde erscheinen.

Panotypen, bei welchen Bilder durch reduziertes Silber auf Glas dargestellt sind, zeigen im zurückgeworfenen Lichte, wenn man hinter das Bild eine schwarze Platte legt, positive Bilder; dagegen im durchgelassenen Lichte, oder wenn man das Bild gegen das Licht hält, negative, weil das Silber undurchsichtig ist. Jenachdem nun das obere Licht stärker oder schwächer ist, als das untere, zeigt sich das Bild beziehungsweise positiv oder negativ und bei gleicher Lichtstärke ist es unsichtbar. Läßt man daher die beiden Seiten eines solchen Bildes von verschiedenen Lichtquellen bescheinen, so hat man in der allmählichen Ablendung der stärkeren bis zum Verschwinden des Lichtes ein Maß für die relative Stärke der Lichte.

Will man in ökonomischer Beziehung Untersuchungen anstellen, so ist natürlich der Preis des Erleuchtungsmateriales und die Zeitdauer der Erleuchtung in die Rechnung zu ziehen. Besonders wichtig sind in neuerer Zeit dergleichen Untersuchungen in Betreff der Leuchtkraft des Gases mit Benutzung der Normallampe von Bunsen geworden.

Verfinsterungen. Wenn ein Körper in den Kernschatten eines anderen tritt, so wird er unsichtbar; im Halbschatten erscheint er um so weniger erleuchtet, je näher er dem Kernschatten ist. Dies zeigt sich u. a. bei den Mondfinsternissen ziemlich deutlich, wo der Mond



auf der Westseite in den Schatten der Erde tritt, die Verfinsterung auf ihm also von Osten nach Westen fortschreitet. Da die Erde in einer Ellipse um die Sonne geht, so hat ihr Schatten eine verschiedene Länge: in der Sonnennähe ist er 182408, in der Sonnenferne 188640, im Mittel 185453 Meilen lang. Der Mond ist in der Erdnähe 48921, in der Erdferne 54604 Meilen entfernt und würde bei jedem Vollmonde verfinstert werden, wenn seine Bahn gegen die der Erde nicht sehr geneigt wäre und wenn ihre Durchschnittspunkte in die Zeit des Voll- und Neumondes fielen. Es können jährlich bis 3 Mondfinsternisse eintreten und die Dauer erreicht 3 bis 4 Stunden, da die Größe des Schattens die des Mondes an der Durchgangsstelle ungefähr dreimal übertrifft. Wie lange die Verfinsterung noch eine nur theilweise oder partiale ist, erscheint der Erdschatten grau; beim Eintritte der gänzlichen oder totalen Verfinsterung verschwindet der Glanz des Mondes, er erscheint in einem röthlichen Lichte und nur wenn er in die Mitte des Erdschattens eintritt, ist um sie ein nächtliches Dunkel.

Wenn auch unmittelbares Sonnenlicht auf den Mond nicht mehr gelangen kann, so empfängt er meist doch noch durch die Lichtbrechung in der Atmosphäre einiges Licht, welches je nach ihrer Beschaffenheit verschieden gefärbt erscheint.

Schon im Alterthume hat man die Mondfinsternisse fleißig beobachtet und selbst vorauszusagen vermocht. Paulus Aemilius gewann die Schlacht von Pydna gegen die Macedonier vorzüglich dadurch, daß er seinen Soldaten die Mondfinsterniß voraus sagte, während diese durch sie erschreckt wurden, und Kolumbus schlichterte die ihn bedrohenden Kariben durch Vorausbestimmung einer Mondfinsterniß ein.

Tritt der Mond zwischen die Erde und Sonne, wie es in der Zeit des Neumondes der Fall ist, so kann er uns die Sonnenscheibe theilweise oder ganz verdecken und dies nennt man eine partiale oder totale Sonnenfinsterniß, obwohl die Sonne als solche nicht verfinstert wird. Die theilweise Verfinsterung kann auch ringförmig sein. Da der Mond viel kleiner, als die Erde ist, so sind diese Finsternisse nicht auf der ganzen Tagseite der Erde erkennbar und selbst die totalen nur auf einer schmalen Zone. Die Finsterniß schreitet von dem Westrande der Sonne nach dem Ostrand fort und zeigt sich, wie Fig. 321 an-



(Fig. 321.)

denket, mit so scharf abgegränztem Rande des Mondes, daß man die dort befindlichen Berge besser erkennt, als beim Vollmonde. Erst wenn der Mond wenigstens zwei Drittel der Sonnenscheibe bedeckt, findet eine be-

merkliche Abnahme der Tageshelle statt und die Schatten sind etwas schärfer begränzt, da der Halbschatten geringer wird.

Erscheint der Durchmesser des Mondes kleiner, als der der Sonne, so kann die Finsterniß eine ringförmige (Fig. 322) werden, aber die Zeit von der Bildung bis zur Durchbrechung des Ringes währet nur etwa 3 bis 4 Minuten und die durch die Figur dargestellte Ansicht nur einen Augenblick. Der Himmelsgrund erscheint dabei weniger dunkel als die Mondscheibe.



(Fig. 322.)



(Fig. 323.)

Die interessantesten sind die totalen Sonnenfinsternisse (Fig. 323), welche auch nicht über 3 bis 4 Minuten dauern und in einer höchstens 35 Meilen breiten Zone auf der Erde sichtbar sind. Die nächste für Berlin tritt erst am 19. August 1887 vormittags ein.

Der Himmel wird dabei so dunkel, daß man einzelne Fixsterne und Planeten mit bloßem Auge erkennt; die Wolken zeigen sich grünlich schwarz und die tief schwarz erscheinenden Gebirge haben gegen den stahlgrauen Himmel eine scharfe Begränzung; die Schatten der Gegenstände verschwinden, es wird aber nicht so dunkel, als daß man nicht noch die Gegenstände erkennen könnte; die Gesichter sehen auffallend

bleich aus. Die Blumen schließen ihre Kelche, die Blätter von Akazien senken sich herab, die Insekten fliegen schon herum, die Vögel setzen sich zur Ruhe. Mit dem Verschwinden der Finsterniß erwacht die Natur aus diesem kurzen Traume.

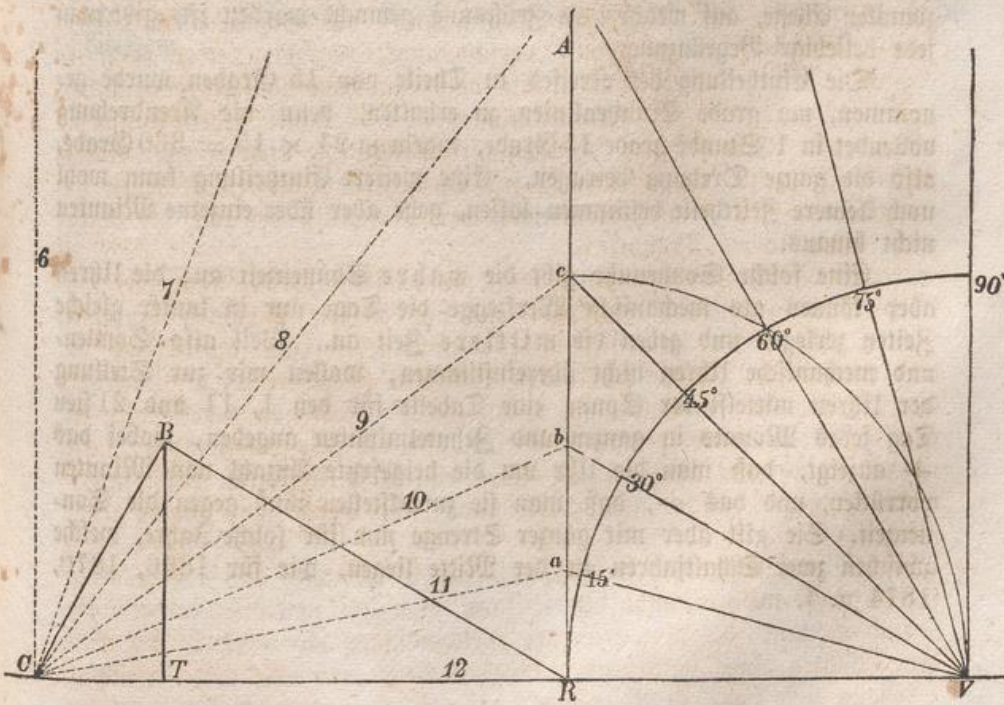
Ist die Finsterniß wirklich total, so erscheint die Mondscheibe pechschwarz und ringsum eine Lichtkrone mit weißen Strahlen erborgten Lichtes, wie es die Polarisation desselben ergeben hat; die Sonne hat also eine Hülle, welche von ihren Strahlen erleuchtet wird; innerhalb dieser Hülle aber erkennt man, wenn die Verfinsterung sichelförmig ist, selbstleuchtende hervorspringende Stellen von oft sehr bedeutender Masse, welche sich bei der Beobachtung einer einzelnen Finsterniß zwar unveränderlich zeigen, später aber verschwinden und durch ganz andere ersetzt werden

Sonnenuhren. Von dem Schatten, welchen die Sonne hinter einem dunklen Gegenstande bildet, kann man zu Zeitbestimmungen Gebrauch machen, da ja wegen der gleichmäßigen Umdrehung der Erde der Schatten eines feststehenden Gegenstandes auch eine ganz bestimmte Drehung und zwar in Beziehung auf die Sonne nach der entgegengesetzten Seite annehmen muß.

Bei der scheinbaren Wanderung der Sonne von Osten über Süden nach Westen geht der Schatten eines lothrecht auf den Horizont gestellten Gegenstandes von Westen über Norden nach Osten.

Man hat schon im Alterthume vor mehr als 3000 Jahren und auch später, namentlich ehe man noch die Uhren mit Räderwerken kannte, diesen Gedanken aufgenommen und Sonnenuhren für verschieden liegende Flächen angegeben. Wenn auch der aufmerksame Landbewohner, welcher seine Arbeiten auf die Tageszeiten eintheilen will, oft auf eine wunderbare Weise aus dem Stande der Sonne über dem Horizonte auf die Tagesstunde richtig schließt; so sind doch gute Sonnenuhren bei dem dort so häufigen Mangel richtig gehender anderer Uhren ein Bedürfnis und deshalb wollen wir die Konstruktion einer solchen für eine horizontale Ebene angeben.

Zuerst zieht man auf der horizontal gestellten Ebene die Mittagslinie, d. h. die Linie, in welche der kürzeste Schatten eines senkrecht auf sie gestellten Stabes fällt. Man kann dazu auch den Polarstern anwenden, ohne einen bedeutenden Fehler zu begehen, da die Verlängerung der Erdaxe fast genau auf ihn trifft. Man lotet nämlich von ihm aus vor der horizontal gestellten Ebene und zeichnet auf ihr die Linie, welche durch die Lothlinie bedeckt wird.



(Fig. 324.)

Spiller, Physik. II.

In Fig. 324 bedeutet CRV die von Süden (C) nach Norden (V) gehende Mittagslinie. Auf sie wird lothrecht das rechtwinklige Dreieck CBT gestellt, bei welchem der Winkel bei C gleich sein muß der geographischen Breite oder der Polhöhe des Ortes, wo die Sonnenuhr aufgestellt werden soll. Dann zieht man in der erweiterten Ebene des Dreiecks auf der CB im Punkte B die senkrechte BR, trägt die TR von R an auf, so daß  $RV = TR$  ist, zeichnet mit VR als Radius einen Kreis um V und trägt auf seine Peripherie von R aus Bogen von  $15^\circ$  wiederholt auf. Wenn nun auf CV in R die Lothrechte RA errichtet, V mit den Theilungspunkten der Peripherie verbunden wird, diese Verbindungslinien bis an die RA verlängert und die Treffungspunkte, wie a, b, c... mit C verbunden werden; so sind CV, Ca, Cb, Cc u. s. w. die Vormittagsstundenlinien, welche als Schattenlinien der scharf begränzten Hypotenuse CB des aufgestellten Dreiecks erscheinen, und die Nachmittagsstundenlinien bekommt man, wenn man dieselbe Zeichnung auf der entgegengesetzten Seite der CV entwirft. Will man die Stundenlinien vor 6 Uhr früh und nach 6 Uhr abends erhalten, so muß man die Stundenlinien 7, 8 über C hinaus verlängern, um die Stundenlinien 7 und 8 abends und die hier nicht gezeichneten Stundenlinien 4 und 5 nachmittags auch über C verlängern, um die Stundenlinien 4 und 5 Uhr früh zu erhalten. Der horizontalen Ebene, auf welcher die Zeichnung gemacht worden ist, gibt man jede beliebige Begränzung.

Die Eintheilung des Kreises in Theile von 15 Graden wurde genommen, um grade Stundenlinien zu erhalten, denn die Umdrehung vollendet in 1 Stunde grade 15 Grade, indem ja  $24 \times 15 = 360$  Grade, also die ganze Drehung betragen. Eine weitere Eintheilung kann wohl noch kleinere Zeittheile bestimmen lassen, geht aber über einzelne Minuten nicht hinaus.

Eine solche Sonnenuhr gibt die wahre Sonnenzeit an; die Uhren aber können als mechanische Werkzeuge die Tage nur in lauter gleiche Zeiten zerlegen und geben die mittlere Zeit an. Weil also Sonnen- und mechanische Uhren nicht übereinstimmen, wollen wir zur Stellung der Uhren mittelst der Sonne eine Tabelle für den 1, 11 und 21 sten Tag jedes Monats in ganzen und Zehntelminuten angeben, wobei das + anzeigt, daß man die Uhr um die beigesezte Anzahl von Minuten vorrücken, und das —, daß man sie zurückstellen muß gegen die Sonnenzeit. Sie gilt aber mit ganzer Strenge nur für solche Jahre, welche zwischen zwei Schaltjahren in der Mitte liegen, wie für 1866, 1870, 1874 u. s. w.

Jan. 1.	+ 3,9	Mai 1.	— 3,0	Sept. 1.	— 0,1
" 11.	+ 8,2	" 11.	— 3,8	" 11.	— 3,4
" 21.	+ 11,6	" 21.	— 3,7	" 21.	— 6,9
Febr. 1.	+ 13,9	Juni 1.	— 2,5	Okt. 1.	— 10,3
" 11.	+ 14,5	" 11.	— 0,7	" 11.	— 13,2
" 21.	+ 13,9	" 21.	+ 1,4	" 21.	— 15,3
März 1.	+ 12,6	Juli 1.	+ 3,5	Nov. 1.	— 16,3
" 11.	+ 10,2	" 11.	+ 5,1	" 11.	— 15,8
" 21.	+ 7,4	" 21.	+ 6,1	" 21.	— 14,0
April 1.	+ 4,0	Aug. 1.	+ 6,1	Dez. 1.	— 10,8
" 11.	+ 1,1	" 11.	+ 5,0	" 11.	— 6,6
" 21.	— 1,3	" 21.	+ 3,0	" 21.	— 1,7

Auf den Polen der Erde wäre die Sonnenuhr sehr leicht zu erhalten. Man theilt nämlich nur einen horizontalen Kreis in 24 gleiche Theile. — Unter dem Aequator würde man die Scheibe am bequemsten lothrecht in seine Richtung stellen und auf den beiden Seiten für die beiden Hälften des Jahres die Eintheilung machen. Eine Sonnenuhr ist nur dann für alle Orte brauchbar, wenn der Schatten sich auf einer dem Aequator parallelen Ebene in dem einen halben Jahre auf der einen, in dem anderen auf der anderen Seite projiziren kann. Sonnenuhren auf Zylinder-, Kegel- und Kugelflächen sind schwieriger anzufertigen.