



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

**Spiller, Philipp**

**Berlin, 1866**

Siebente Abtheilung. Schwingende Molekularbewegungen überhaupt.

---

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

## Siebente Abtheilung.

### Die schwingenden Molekularbewegungen.

#### Erster Abschnitt.

##### Allgemeine Erscheinungen.

Wir kommen jetzt zu einer großen Klasse von zusammengehörigen Erscheinungen, welche dadurch höchst merkwürdig und wunderbar sind, daß sie zwar an der Körperwelt durch verschiedene unserer Sinne, wie durch das Gehör, das Gefühl, das Gesicht, erkannt werden, daß man aber an diesen Körpern selbst eine Veränderung ihres Zustandes nicht wahrnimmt. Hierher gehört u. a. das Tönen der in einer Flöte befindlichen Luftsäule, die Erwärmung eines Steines, welcher den Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, das Telegraphiren durch einen Kupferdraht, das Leuchten der Gestirne und anderer Körper, die Anziehung eines magnetisirten Stahlstabes gegen Eisen.

Man hat bis in die neueste Zeit geglaubt, und leider scheinen es Manche selbst jetzt noch zu glauben, daß diese und ähnliche Erscheinungen von einem besonderen Stoffe herrühren, daß also von dem leuchtenden Körper eine feine Materie ausströme, welche auf unser Auge wirke; daß die elektrischen und magnetischen Erscheinungen durch eine eigenthümliche Flüssigkeit erzeugt würden; ja daß es einen Wärmestoff gäbe, welcher einer Ansammlung fähig sei. In Beziehung auf den Schall hat man freilich den Gedanken, daß er durch einen im schallenden Körper wirkenden Stoff hervorgebracht werde, nicht aufkommen lassen, weil hier die sinnliche Wahrnehmung in sehr vielen Fällen den Schall als eine Bewegungsercheinung erkennen läßt. Hat man nämlich eine lange und wenig gespannte Saite aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht, so sieht man deutlich, wie sie durch eine Reihe von Schwingungen, deren Breite immerfort geringer wird, endlich in Ruhe kommt; je mehr man aber die Saite anspannt oder je mehr man sie verkürzt oder je mehr

man Beides thut, desto weniger gelingt es, die einzelnen Schwingungen durch das Auge zu erkennen und zu zählen, bis sie endlich bei hinreichender Kürze und Spannung, namentlich einer dünnen Saite, unserer Wahrnehmung durch das Auge sich völlig entziehen, aber dem Ohre als hoher Ton noch wahrnehmbar sind.

Hier haben wir also schon einen Fall, daß schwingende Bewegungen der Theilchen eines Körpers vorhanden sind, ohne daß wir dieselben sehen. Wir sehen aber überhaupt Bewegungen dann nicht, wenn sie entweder allzu langsam oder allzu rasch sind. Die Bewegung des Stundenzeigers einer Taschenuhr ist ein Beispiel vom ersten, der Flug einer abgeschossenen Büchsenkugel eines vom zweiten Falle.

Daraus ergibt sich, daß wir mit unserem Urtheile über das Vorhandensein oder den Mangel von Bewegung sehr vorsichtig sein müssen. Namentlich sind es die schwingenden Bewegungen der Molekel, d. h. der Atomgruppen, aus welchen jeder Körper besteht, er mag ein einfacher oder ein zusammengesetzter sein, welche sich unserer unmittelbaren Wahrnehmung meistens entziehen, auf deren Vorhandensein wir aber durch richtige Schlüsse bei scheinbar ganz verschiedenartigen Erscheinungen zurückkommen. Es sind grade die herrlichsten Entdeckungen und Nutzanwendungen derselben, welche diesem Gebiete angehören und die Physik in neuerer Zeit so höchst interessant und fürs praktische Leben so gemein fruchtbar gemacht haben.

Wegen der Wichtigkeit dieser Schwingungsercheinungen und um dieselben auch unter den räthselhaftesten Umständen mit Leichtigkeit erklären zu können, müssen wir zu den früheren Angaben über die Schwingungen beim Pendel noch einige allgemeine Betrachtungen anführen.

**Erregende Kräfte.** Die Kräfte, welche Schwingungen hervorbringen und erhalten, sind verschieden. Bei einem Pendel war es die Anziehungskraft der Erde, welche den Pendelkörper, nachdem er aus der Ruhelage gehoben und losgelassen worden war, nach der tiefsten Stelle unter dem Aufhängepunkte, d. h. nach dem Gleichgewichtspunkte hinzog. Zieht man eine angespannte Saite seitwärts und läßt sie los, so werden alle ihre Theilchen nach der ursprünglichen Lage, der Ruhe- oder Gleichgewichtslage, zurückgezogen. Es ist die Elastizität oder das Bestreben aller Theilchen, in ihrer natürlichen Lage bleiben oder sie erlangen zu wollen, so lange thätig, bis dieses Ziel endlich erreicht ist. Tropfbare Flüssigkeiten befinden sich in der Gleichgewichtslage, wenn das Niveau derselben in Ruhe ist, also alle in gleicher Tiefe unter ihm befindlichen Theilchen einen gleichen Druck erleiden und ausüben. Wenn man aber auf dem Niveau, z. B. des Wassers, eine Vertiefung bildet, indem man etwa eine Metallkugel hineinfallen läßt; so gerathen die Theilchen auch unter dem Niveau in schwingende, auf- und abwärts gehende Bewegungen, die man sehr leicht erkennen kann, wenn man in

das Wasser etwas pulverisirten Bernstein streut, welcher das spezifische Gewicht des Wassers hat. Man sieht deutlich, wie die Bernsteinstückchen auf- und abwärts schwingen: abwärts wegen ihres Gewichtes, aufwärts wegen des Gegendruckes des unter ihnen befindlichen Wassers. — Auch die luftigen Körper können durch schnelle Stöße, plötzliche Verdichtungen und Verdünnungen, zu Schwingungen angeregt werden, wobei dann ihre Elastizität und das Bestreben, sich überallhin ins Gleichgewicht zu setzen, wirksam sind. — Als höchst wichtig, ja unentbehrlich für den Haushalt der ganzen Natur, werden wir die Schwingungen des Weltäthers erkennen.

Unter allen Umständen besteht eine ganze Schwingung aus Hin- und Rückweg der Massentheile eines Körpers; aber sowohl der Hin-, als auch der Rückweg hat zwei Theile, welche durch die Gleichgewichtslage gebildet werden. Von den vier einzelnen Theilen einer ganzen Schwingung werden unter allen Umständen die beiden nach der Gleichgewichtslage hin, also der erste und dritte, mit beschleunigter Bewegung; die beiden von der Gleichgewichtslage weg, also der zweite und vierte, mit verzögerter Bewegung zurückgelegt.

**Schwingungskraft.** Hängen an zwei Fäden von gleicher Länge zwei ungleich schwere Kugeln, welche man um einen gleichen Winkel erhebt; so ist die Stoßkraft der leichteren Kugel in dem tiefsten Punkte eine geringere, als die der schweren. Wenn gleich gewichtige Kugeln um ungleiche Winkel gehoben und dann losgelassen werden, so gehört zum kleineren Winkel eine kleinere Stoßkraft im tiefsten Punkte. Werden zwei Kugeln von gleichem Gewichte an ungleich langen Fäden um gleiche Winkel gehoben, so hat die am längeren Faden eine geringere Stoßkraft.

Ein schwingender Körper oder ein schwingendes Körpertheilchen hat seine größte Kraft in dem Gleichgewichtspunkte, weil dort die größte Geschwindigkeit stattfindet. Diese Kraft wollen wir Schwingungskraft, Schwingungsintensität, nennen. Sie hängt in gradem Verhältnisse von der Masse des schwingenden Körpers und von der im Gleichgewichtspunkte erlangten Geschwindigkeit ab; die letztere selbst aber wächst mit der Zunahme der Weite der Schwingungen bei bestimmter Dauer einer jeden einzelnen und mit der Abnahme der Dauer (oder Zunahme der Anzahl in bestimmter Zeit) der Schwingungen bei bestimmter Weite. Nehmen Masse, Weite und Schwingungszahl zugleich zu, so findet das Wachsen der Schwingungskraft in erhöhtem Maße statt.

Bei jedem schwingenden Körper nimmt die Schwingungskraft eines bestimmten Theiles ab mit der Zeit und die verschiedener Theile mit ihrer Entfernung vom Erregungsorte, denn die Schwingungsweite vermindert sich von dort an nach und nach, bis der Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Der Grund dieser Verminderung liegt nicht blos in den äußeren Widerständen durch die einen schwingenden Körper umgebenden Stoffe,

sondern auch in den schwingenden Körpern selbst, deren Stofftheile fortwährend die ursprüngliche Gleichgewichts- oder Ruhelage gegen einander annehmen wollen.

Schwingt z. B. eine Saite in der Luft, so muß sie dieselbe verdrängen und ihren Widerstand mit Kraftverlust überwinden; aber da die Saite auch eine Formveränderung erleidet, so kommen ihre Theilchen in eine veränderte Lage, bei deren Wiedererstrebung sie aneinander sich reiben, was ebenfalls mit einem Kraftaufwande verbunden ist. Durch Beides wird die Schwingungsweite, also auch die Schwingungskraft eines bestimmten Theilchens nach und nach vermindert. Das Bestreben der Theilchen eines Stoffes, also auch der des Weltäthers, ihre Gleichgewichtslage festzuhalten, ist es auch, welches die Schwingungsweite und somit die Kraft der Schwingung mit zunehmender Entfernung von der Stelle, in welcher die Störung des Gleichgewichtes stattfand, vermindern läßt. Schlägt man z. B. irgendwo auf einen Stab, auf eine Scheibe, läßt man einen Stein auf einen ruhigen Wasserspiegel fallen, bringt man in der Luft einen Knall oder eine Explosion hervor, erwärmt man einen Körper an einer Stelle oder erzeugt man Licht, Elektrizität, Magnetismus; so wird die Weite der Schwingungen vom Erregungsorte an mit zunehmender Entfernung immer kleiner, so daß also auch die Schwingungskraft und der damit in Verbindung stehende Grad der Wahrnehmbarkeit abnimmt.

Diese einfachen Betrachtungen lassen uns den Vorgang bei den wichtigsten Erscheinungen erkennen. Wir können z. B. daraus entnehmen, daß die große Kraft heißer Dämpfe nicht aus Bewegungen des so außerordentlich zarten Weltäthers (vergl. S. 17, Bd. I.) zu erklären möglich ist, sondern nur aus denen der Massentheile des um außerordentlich viel gewichtigeren Dampfes selbst; ferner daß ein Körper wärmer oder kälter wird, jenachdem er einen kleineren oder größeren Raum einzunehmen gezwungen wird. Diese und unzählige andere Thatfachen werden wir aber erst an den geeigneten Stellen auf die einfachen Naturgesetze zurückführen.

**Schwingungsarten.** Um das Verständniß der verschiedenen Vorgänge zu erleichtern, müssen wir zunächst noch die Richtungen, in welchen die Körpertheile bezüglich der Abmessungen des ganzen Körpers schwingen, näher angeben. Unter den Körpern sind in Betreff der drei Ausdehnungen zwei Arten besonders hervorzuheben: die linienförmigen und die flächenförmigen Körper; bei jenen überwiegt die Länge (Stricknadel, angespannte Saite), bei diesen die Länge und Breite (Metallscheibe, Trommelfell).

Hinsichtlich der Schwingungsrichtung können wir drei Arten von Schwingungen unterscheiden:

1) Die Querschwingungen, bei welchen jeder Theil des Körpers sich in einer Ebene bewegt, die auf der Hauptrichtung oder den

Hauptrichtungen desselben lothrecht steht. Wird das eine Ende einer Stricknadel festgeklemmt, das andere aus der Gleichgewichtslage gebracht und losgelassen; so machen alle Theile Querschwingungen, deren Weite nach der befestigten Stelle hin abnimmt. Ebenso ist es, wenn man auf einen an seinen beiden Enden befestigten Stab oder Streifen von Stahl, Glas, Holz u. a. in der Mitte einen Schlag ausübt oder eine angespannte Saite seitwärts zieht und losläßt, oder das angespannte Fell einer Trommel, eine Glas- oder Metallscheibe (Tam-Tam) anschlägt; nur daß die Schwingungsweite von der Mitte nach den Enden abnimmt.

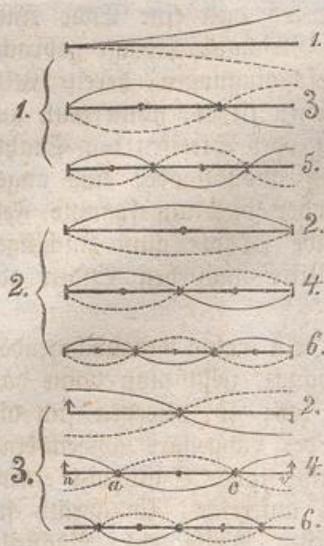
2) Die Längenschwingungen. Ist ein ruhig herabhängender Gummischlauch durch ein Gewicht mäßig gespannt, zieht man dann das Gewicht noch etwas nach unten und läßt es los; so bewegen sich die Theilchen des Schlauches in der Richtung der Längensaxe abwechselnd auf- und abwärts. Wenn man eine angespannte lange Saite mit einem Violinbogen unter einem recht spitzen Winkel anstreicht, so geräth sie ebenfalls in Längenschwingungen. In gleicher Weise ein Glasstab, welchen man mit einem geharzten oder feuchten Tuchflecke der Länge nach reibt. Noch andere Fälle lernen wir später kennen.

3) Die drehenden Schwingungen. Wenn man das einen Gummischlauch, einen Faden u. dergl. spannende Gewicht wiederholt ringsum dreht, ohne es zu heben und dann losläßt; so machen die Theile des Schlauches um seine Aze hin- und hergehende krummlinige Bahnen, deren Weite nach und nach abnimmt, bis endlich die Ruhe eintritt.

### Wellen.

Durch die Schwingungen der Theile eines Körpers wird seine Form und Dichtigkeit geändert. Jeder Theil des Körpers, welcher zwischen den Gränzen dieser Veränderung enthalten ist und dessen Bestandtheile eine ganze Schwingung vollenden, heißt eine Welle. Die Wellen sind je nach den Abmessungen und den Aggregatzuständen der Körper verschieden.

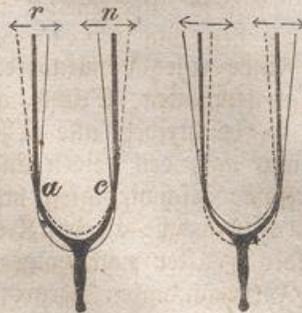
Seilwellen. Bewegt man das freie Ende eines dünnen, etwa 8 Fuß langen, angebundenen und nicht angespannten Seiles oder Gummischlauches zuerst langsam im Kreise, so beschreiben alle Theile desselben auch Kreise, welche von der Mitte aus nach den beiden Enden kleiner werden. Bei etwas vergrößerter Drehungsgeschwindigkeit bildet sich in der Mitte eine Stelle, ein Knotenpunkt, welche an der Kreisbewegung nicht theilnimmt, während die beiden Hälften nach entgegengesetzter Richtung sich drehen. Je mehr die Geschwindigkeit vergrößert wird, desto mehr Knotenpunkte entstehen. Die letzteren sind stets das Zeichen der Vernichtung der entgegengesetzten Bewegungen der beiden



(Fig. 255.)

Kohrstöckchens oder Stahlstreifens kleine Kreise, so bilden sich mit zunehmender Geschwindigkeit mehr und mehr Knotenstellen, wobei der Stab in eine ungrade Anzahl von Theilen sich zerlegt, wenn man die Entfernung von einem Knoten bis zur Mitte des nächsten Bauches einen Theil nennt. — Ein an beiden Enden befestigter Stab theilt sich, wie eine angespannte Saite, in eine grade Anzahl gleicher Theile. — Ist der Stab an beiden Enden frei, so ist die Anzahl der Theile zwar auch eine grade, aber von jedem Ende bis zum nächsten Knoten ist nur je ein Theil. Die Fig. 255 deutet die drei Fälle an.

Wenn der Stab in der zweiten Zeichnung des dritten Falles gekrümmt und die Mitte mit einem Stiele oder Halter versehen ist, so hat man eine Stimmgabel, Fig. 256, wobei freilich wegen der Verdickung des Stabes am Stiele die beiden Knotenpunkte einander näher gerückt sind. Weil die Richtungen der Schwingungen zu beiden Seiten entgegengesetzt sind, so schwingen die Enden *r* und *n* der Zinken abwechselnd zu einander oder von einander, wie es die Pfeile andeuten.



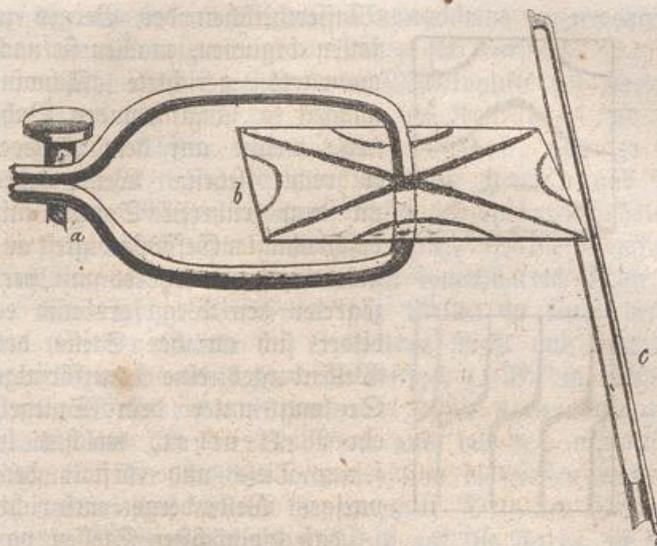
(Fig. 256.)

benachbarten Theile und theilen das ganze Seil in lauter gleiche Theile. Die Stellen mit den weitesten Schwingungen heißen Bäuche.

Eine angespannte Saite kann man leicht zwingen, eine beliebige Anzahl von Knotenpunkten zu bilden. Theilt man sie z. B. in vier gleiche Theile, setzt auf die Theilpunkte und anderwärts kleine Papierreiter, hält die Saite am Ende des ersten Viertels in nur wenigen Punkten fest und streicht seine Mitte so an, daß ein klarer Ton entsteht; so werden alle Reiter mit Ausnahme der auf den Theilungspunkten befindlichen abgeworfen und dieses sind also ruhende Knotenpunkte, während die Mitten der Theile am weitesten schwingen und Bäuche sind.

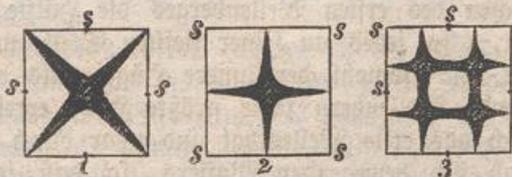
Stabwellen. Beschreibt man mit dem einen Ende eines dünnen und langen

Flächenwellen. Einen flächenförmigen Körper, z. B. eine Glascheibe, ein Paukenfell, kann man sich aus lauter linienförmigen Streifen zusammengesetzt



(Fig. 257.)

feinem, trockenem Sande bestreut, sie etwa in ihrer Mitte mit möglichst geringer Berührung zwischen eine Schraubenzwinde *a* einklemmt und sie an dem matt gearbeiteten Rande mit einem Violinbogen *c* so anstreicht, daß ein recht klarer Ton entsteht. Der Sand wird von den schwingenden Stellen weggeworfen, lagert sich auf die ruhenden und bildet so je nach den Tönen einer bestimmten Scheibe, ihrem Materiale, der Stellen, an denen oder wie sie angestrichen oder gedämpft wird, die mannigfaltigsten Klangfiguren. Wenn man quadratische Tafeln bei *o* einspannt und bei *s* anstreicht, so entstehen u. a. die Figuren (Fig. 258),



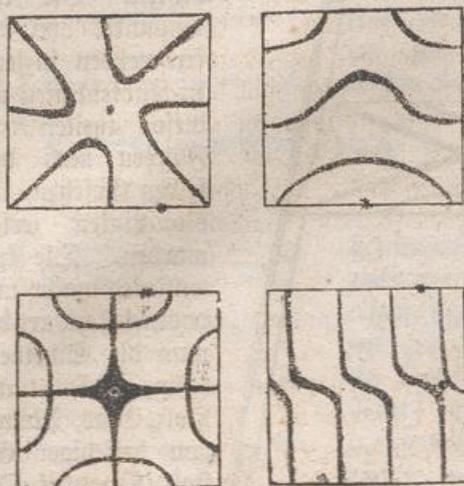
(Fig. 258.)

wo die aus den Tafeln gemachten parallelen Streifen einen oder zwei Knotenpunkte haben. Fig. 1 und 2 enthält den Umfang je einer Welle, aber 3 den von vieren. Die Stellen, an welchen angestrichen wird, sind stets Bäuche; aber in 3 ist auch die Mitte des inneren Quadrates der Bauch. Fig. 259 zeigt noch vier andere Klangfiguren.

**Kreiswellen.** Läßt man eine Metallkugel oder dergl. auf den ruhigen Spiegel eines Gewässers fallen, so bildet sich rings um die Stelle, an welcher sie eindringt, ein über den Spiegel sich erhebender kreisförmiger Wasserkranz, ein Wellenberg; denn das verdrängte Wasser weicht nach oben aus, weil es dort, nämlich an der Luft, den geringsten Widerstand findet. Von dem Augenblicke an, in welchem die

denken. Die Knotenpunkte von diesen werden in jenen zu Knotenlinien und diese theilen die Flächen nach denselben Gesetzen, wie die Linien zerlegt wurden. Die Knotenlinien macht man dadurch sichtbar, daß man die Scheibe *b* (Fig. 257) (aus Holz, Glas, Metall) von beliebiger Gestalt (Quadrat, Oblongum, Dreieck, Kreis, Ellipse) mit

den Stellen, an welchen angestrichen wird, sind stets Bäuche; aber in 3 ist auch die Mitte des inneren Quadrates der Bauch. Fig. 259 zeigt noch vier andere Klangfiguren.



(Fig. 259.)

fem sind u. s. w. Nun sind zwei Viertel der Schwingung vollendet.

Von dem Augenblicke an, in welchem der erste Wellenberg sinkt und sich das erste Wellenthal zu bilden anfängt, entsteht durch das wie auf schiefen Ebenen von der Mitte des Berges nach beiden Seiten abfließende Wasser in der Mitte, wo die Kugel einfiel, ein Hügel über dem Spiegel und nach außen ein neuer Wellenberg mit größerem Radius. Jener ist durch sein Sinken die Veranlassung zu einer zweiten selbstständigen Folge von einander verdrängenden Wellen, dieser setzt die erste Wellenbewegung nach außenhin fort.

Wenn die Wassertheilchen des ersten Wellenberges die Hälfte der Schwingung vollendet haben, also jedes an seiner tiefsten Stelle unter dem Niveau angekommen ist, hat sowohl der innere Hügel, als auch der zweite nach außen liegende Wellenberg seine größte Höhe erreicht. Sowie beide sinken, füllt sich das erste Wellenthal und zwar durch den Druck des von beiden herab sich bewegenden Wassers, so daß jedes Wassertheilchen dieses Wellenthales mit beschleunigter Geschwindigkeit bis zum Niveau und mit verzögerter bis zum höchsten Punkte, darüber hinaus gehoben wird und so die beiden letzten Viertel der Schwingung vollendet.

Wegen des Beharrungswiderstandes des ruhenden Wassers werden nicht nur an derselben Stelle die Höhen und Tiefen der Wellenberge und Thäler nach und nach kleiner, sondern auch nach außenhin in demselben Systeme. Die Ruhelage tritt endlich in der Mitte zuerst ein. Die Wellenbewegung schreitet zwar nach außenhin fort, nicht aber das Wasser, wie es ein darauf gelegtes Stückchen Holz deutlich zeigt, welches

Wassertheilchen des Berges zu fallen beginnen, machen sie nach auswärts gerichtete Schwingungen in länglichrunden Bahnen, welche auf dem Spiegel lothrecht stehen. Wenn jedes an dem früheren Spiegel mit beschleunigter Geschwindigkeit angekommen ist, setzt es mit verzögerter den Weg fort und es bildet sich an der Stelle des Wellenberges eine kränzförmige Senkung unter dem Spiegel, ein Wellenthal, welches in seiner Tiefe und Gestalt dem vorigen Wellenberge entspricht, so daß die höchsten Stellen von jenem jetzt die tiefsten von die-

nur Hebungen und Sentungen abwechselnd unterworfen ist, ohne daß es von dem Mittelpunkte der Wellen sich entfernt.

Zieht man Strahlen vom Mittelpunkte der Kreiswellen, Wellenstrahlen, so sind die Theile derselben, über und unter welchen die Berge und Thäler liegen, deren Breiten, und die Entfernungen ihrer höchsten und tiefsten Punkte sind ihre Höhen und Tiefen; die Entfernung der tiefsten Stellen zweier benachbarten Thäler ist die Breite der ganzen Welle und ihre Höhe ist die Summe aus Höhe und Tiefe von einem Berge und dem benachbarten Thale.

Die Höhe und Breite der Wellen in einer bestimmten Flüssigkeit sind von der Stärke der erregenden Kraft und von der Tiefe der ganzen Flüssigkeit abhängig. Je heftiger z. B. ein Sturm, desto bedeutender die Wellen; die Wellen der Ostsee haben eine geringere Höhe und Breite, als die der Nordsee, und die des atlantischen Ozeans eine größere. Der Schiffer erkennt schon in großer Entfernung an den kurzen gekräuselten Wellen die geringere Tiefe der Gewässer. Beim Meere hat die Tiefe noch einen Einfluß auf die Farbe, in welcher das Wasser erscheint; bei geringeren Tiefen ist es grünlich, bei großen blau gefärbt.

Die Geschwindigkeit des Fortschreitens einer Welle hängt von ihrer Höhe und Breite ab; sie beträgt auf offenen Meeren z. B. bei 10 Fuß Breite und 10 Fuß Tiefe 4,87 englische Meilen, bei 100000' Breite und Tiefe aber 487,79 engl. Meilen. Die Wellen kommen öfters früher an, als der Wind, welcher sie erregte. Das Erdbeben im Golf von Jeddo führte die Welle bis nach San Franzisko.

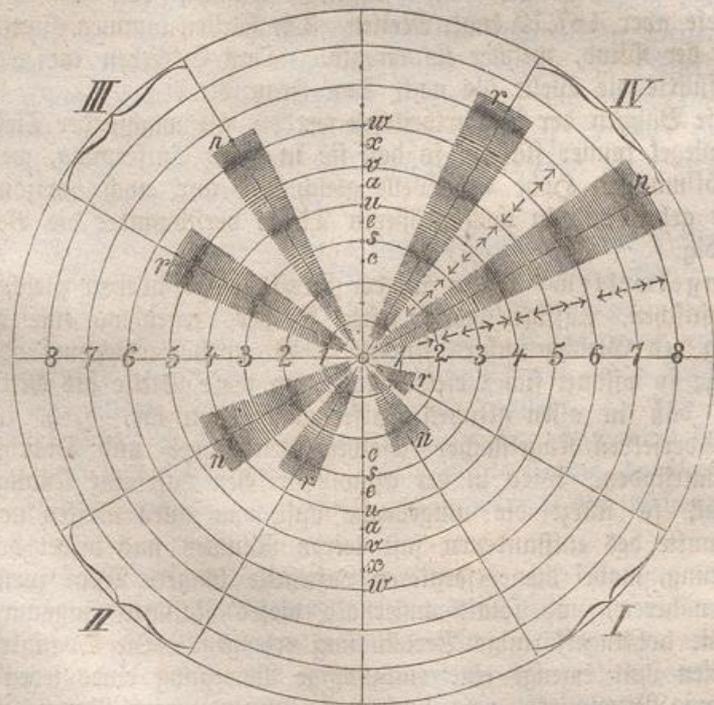
Die Bahnen der Wassertheilchen werden mit wachsender Tiefe unter dem Spiegel immer flacher, so daß sie in einer Entfernung, welche der etwa 350maligen Höhe der Welle gleich ist, nur noch horizontal hin und her gehen und in noch größeren Tiefen verschwindet die Bewegung vollständig.

Kugelwellen. Wenn in der Masse eines überall gleich dichten und elastischen, flüssigen oder festen Körpers irgendwo eine plötzliche Störung des Gleichgewichtes eintritt, z. B. durch Verdichtung oder Verdünnung; so pflanzt sich dieselbe rings um diese Stelle als Mittelpunkt so fort, daß in allen gleichen Entfernungen von ihr, d. h. in allen Punkten derselben Kugelfläche, dieselben Bewegungs- und Dichtigkeitszustände stattfinden. Wird in der atmosphärischen Luft eine Knallgasblase verbrannt, so stürzt die umgebende Luft von allen Seiten nach dem Mittelpunkte des entstandenen fast leeren Raumes und bildet dort eine Verdichtung, wobei die entfernteren Lufttheile längere Wege zurücklegen, als die näheren, und somit außerhalb dieses Raumes ringsum gleichzeitig eine hohlkugelförmige Verdünnung erzeugen. Die Spannkraft der verdichteten Luft erzeugt eine rückgängige Bewegung eines jeden Theilchens vom Mittelpunkte weg nach dem luftverdünnten Raume und dadurch wird hier dann eine fast ebenso starke Verdichtung hervorgebracht,

als sie in der Mitte stattfand. Während sich hier das Gleichgewicht durch den Widerstand der nicht zu beseitigenden Luft bald herstellt, schreitet die hohlkugelförmige Verdichtungs- und Verdünnungswelle nach außenhin fort, ohne daß ein bestimmtes Lufttheilchen mehr, als eine ganze Schwingung macht und daher hören wir auch nur einen einfachen Knall.

Ein solcher Knall kann auch hervorgebracht werden, wenn aus einem kleinen festen Körper (Schießpulver, Knall Silber) plötzlich ein luftiger von viel größerer Ausdehnung gebildet wird, welcher die umgebende Luft ringsum plötzlich verdrängt, so daß sie dann in den gebildeten Raum zurückstürzt.

Werden an einem bestimmten Orte eines Körpers wiederholt Störungen des Gleichgewichtes irgendwie hervorgebracht, so bilden sich in ihm auch wiederholt aufeinander folgende Kugelmellen. Dieses ist u. a. der Fall, wenn man eine angespannte und etwa mit einem Finger seitwärts gezogene Saite losläßt. Bei ihrem Hingange (erste Hälfte der Schwingung) verdichtet sie vor sich die Luft; bei ihrem Rückgange (zweite Hälfte der Schwingung) gestattet sie ihr die Verdünnung an derselben ersten Stelle, wobei gleichzeitig die Verdichtung nach außenhin fort-



(Fig. 260.)

schreitet. Nach Vollendung dieses ersten Stoßes ist an der ersten Stelle die erste Verdichtungs- und Verdünnungs- und an der zweiten vorwärts liegenden Stelle die erste Verdichtungswelle entstanden.

In Fig. 260 versinnlicht I den Vorgang des ersten von o ausgehenden Stoßes. Durch den Hingang von o in der Richtung or wird in 1. die Verdichtung erzeugt, durch den Rückgang ebendasselbst, wie es in on bei 1. dargestellt ist, die Verdünnung, wobei gleichzeitig in 2. die erste Verdichtung gebildet wird.

Die Folgen eines zweiten Stoßes zeigt II. Durch den Hingang wird in or die erste Verdichtung nach 3 verlegt, und bei dem Rückgange in on nach 4, während in 3 an derselben Stelle jetzt die Verdünnung ist. III zeigt in dem Strahle or den Erfolg von  $2\frac{1}{2}$  und in on den von 3 Schwingungen des o und in IV ist die Darstellung auf 4 Schwingungen ausgedehnt, so daß in or der Zustand bei dem Hingange und in on der bei dem Rückgange versinnlicht ist. Die beigelegten Pfeile geben die Bewegungsrichtung der Massentheilchen während der beiden Hälften der Schwingung an.

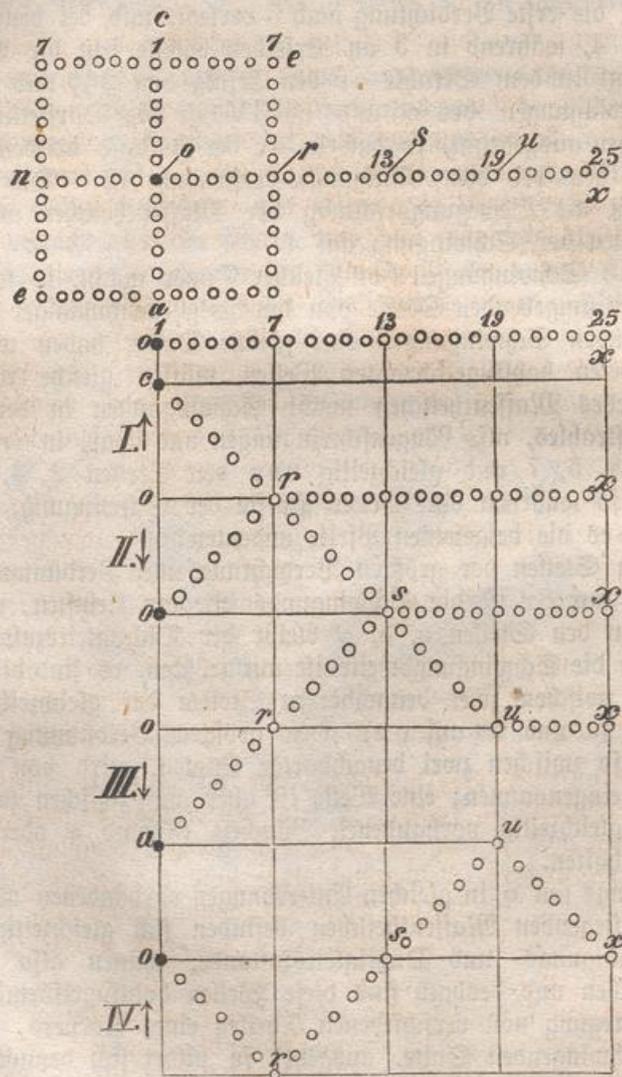
Wenn o Schwingungen von gleicher Dauer macht, so werden auch die in einem umgebenden Stoffe von durchweg gleichmäßiger Beschaffenheit entstehenden Schwingungen eine gleiche Dauer haben und die dadurch gebildeten hohlkugelförmigen Wellen müssen gleiche Abmessungen besitzen. Jedes Massentheilchen macht Schwingungen in der Richtung seines Kugelstrahles, also Längenschwingungen und zwar, in or nach den Stellen 1, 3, 5, 7 und gleichzeitig von den Stellen 2, 4, 6, 8; in on aber, also während der zweiten Hälfte der Schwingung, grade umgekehrt, wie es die beigelegten Pfeile andeuten.

An den Stellen der größten Verdichtung und Verdünnung, wie in s und in u auf or ist die Schwingungsweite am kleinsten, es sind die Knoten; an den Stellen c, e, a bleibt der Dichtigkeitszustand unverändert, aber die Schwingungsweite ist am größten, es sind die Bäuche. Der Raum zwischen zwei benachbarten Stellen der gleichzeitig größten Verdichtung (u und w auf on) oder größten Verdünnung (s und v auf on), also zwischen zwei benachbarten Knoten, wird von einer ganzen Welle eingenommen; eine Welle ist aber auch zwischen zwei benachbarten und gleichzeitig vorhandenen Bäuchen (c und a oder e und x auf on) enthalten.

Die rings um o in gleichen Entfernungen vorhandenen also in einer Kugelfläche liegenden Massentheilchen befinden sich gleichzeitig in demselben Schwingungs- und Dichtigkeitszustande, können also seitwärts nicht entweichen und deshalb sind diese Wellen hohlkugelförmig. Wenn auch die Erregung von verschiedenen Theilen eines Körpers, wie z. B. von einer schwingenden Saite, ausgeht; so bildet sich dennoch in einer gewissen Entfernung von ihm aus allen Kugelwellen der einzelnen Punkte eine einzige Welle, deren Mittelpunkt der Halbirungspunkt der Saite

ist, da die von allen Punkten erregten Verdichtungen und Verdünnungen gleichzeitig eintreten und in einem bestimmten zusammenhängenden Stoffe auch gleichzeitig fortgepflanzt werden.

Weltätherschwingungen. Die Schwingungen des Weltäthers sind es, welche u. a. die Fortpflanzung des Lichtes und der Wärme von der Sonne aus zu unserer Erde und den übrigen Planeten und Nebenplaneten und überallhin in den Weltraum vermitteln. Es ist erst der neuesten Zeit gelungen, diese Thatsache nicht nur über allen Zweifel zu



(Fig. 261.)

erheben, sondern auch den betreffenden Untersuchungen eine Schärfe zu verleihen, welche einen hohen Triumph des menschlichen Verstandes begründet. Die Grundvorstellung zu den oft sehr verwickelten, aber ebenso interessanten Erscheinungen werden wir gewinnen, wenn wir uns den Weltäther als aus lauter außerordentlich kleinen und absolut elastischen Kügelchen bestehend denken, welche so dicht gedrängt aneinander liegen, daß sie keine anderen Zwischenräume lassen, als die, welche eben nur durch die Kugelgestalt bedingt sind. Stört eine Kraft das Gleichgewicht eines einzigen Kügelchens, so pflanzt die Störung sich auf alle übrigen augenblicklich fort.

Wir können uns die Kügelchen in Schichten mit aufeinander lothrechten Reihen gelagert denken, wovon in Fig. 261 ee eine im Innern nicht ausgefüllte Schicht und darunter eine Reihe von 25 Kügelchen dargestellt ist. Wird nun das hier in der Mitte vollgezeichnete Kügelchen durch eine bestimmte Kraft von o nach c hin bewegt, wie es I zeigt; so wird es, weil es allseitig von anderen umgeben ist, mit abnehmender Geschwindigkeit nur eine gewisse Strecke, z. B. bis c sich bewegen und dort einen Augenblick ruhen. Das zweite rechts daran gränzende Kügelchen der Reihe wird zwar dieser Bewegung folgen, aber nur auf eine kürzere Strecke und so wird jedes folgende umfoweniger weit aus seiner Ruhelage gebracht, je entfernter es ist, bis es endlich eines, hier r oder das 7te gibt, welches noch ruht, während das erste seine größte Entfernung von der Ruhelage erreicht hat. Nun ist das erste Viertel der Schwingung vollendet.

Jetzt wird c durch die Elastizität des vor seiner Bahn liegenden Aethers mit derselben Kraft nach o zurückgehen gezwungen, mit welcher es weggedrängt wurde, so daß es in derselben Zeit wieder hier ankommt (II), wobei sich die Bewegung in der horizontalen Reihe so fortgepflanzt hat, daß das r die Gränze seines Weges erreicht, die darauf folgenden mehr und mehr zurückgeblieben sind und s oder das 13te soeben noch in Ruhe ist. Nun ist das zweite Viertel der Schwingung vollendet und dabei der Weg des r so groß, wie der des o war.

Da o in seiner ursprünglichen Lage mit einer gewissen Geschwindigkeit angekommen ist, so setzt es seine Bewegung jenseits bis zu derselben Gränze nach a fort und auch alle übrigen verfolgen einen Rückweg über ihre frühere Gleichgewichtslage hinaus, welcher dem Hinwege gleich ist, wodurch sie in die Lage III kommen und ein Fortschreiten der Bewegung von s bis u stattfindet. Das dritte Viertel der Schwingung ist vollendet.

Endlich geht o von a aus wieder in seine Ruhelage zurück (IV) und hat dann eine ganze Schwingung vollendet, r aber erst drei Viertel, s eine halbe, u nur ein Viertel und zwischen o und x ist eine ganze Welle enthalten.

Die Dauer einer Schwingung ist auch die Zeit, in welcher die Welle um ihre ganze Länge fortschreitet. Dieses Fortschreiten geschieht aber mit einer außerordentlichen Geschwindigkeit, theils wegen der absoluten Elastizität des Weltäthers, theils weil durch den Vorgang in ihm Verdichtungen und Verdünnungen in der Richtung des Fortschreitens nicht stattfinden.

Die geschilderte Wellenbewegung ist aber von  $o$  aus nicht bloß in einer Richtung (Strahl), sondern in allen denkbaren von ihm ausgehenden Richtungen vorhanden. In der Schicht  $ee$  findet von  $o$  bis  $n$  dieselbe Bewegung statt, wie von  $o$  bis  $r$  und genau dieselbe gleichzeitig auch von  $o$  aus in jeder auf der Schicht  $ee$  lothrecht durch  $o$  gelegten Reihe, so daß rings um  $o$  in der Kugel mit dem Radius  $or$  das erste Viertel der Welle enthalten ist. Die ganze Welle reicht bis  $x$ . Ueberhaupt befinden sich alle Aethertheilchen, welche in irgend einer Kugelfläche liegen, zu welcher  $o$  der Mittelpunkt ist, in demselben Schwingungszustande. Die Schwingungen der Aethertheilchen finden in Beziehung auf einen bestimmten Kugelradius in allen möglichen Ebenen statt und sind Querschwingungen, während sie beim Knalle in der Luft Längenschwingungen waren.

#### Die sinnliche Wahrnehmung von Molekularschwingungen.

Niemand wird jetzt noch glauben, daß durch das Reiben oder Hin- und herbewegen eines Körpers an einem zweiten ein neuer Stoff erzeugt werde, oder daß das Körperliche sich schaffen ließe, sondern die Ueberzeugung festhalten, daß nur der Zustand der Körper oder ihrer kleinsten Massentheilchen geändert werden kann. Bleibt der Körper als Ganzes an seinem Orte, so kann nur eine Molekularbewegung eingetreten sein oder die in der Reibung liegende lebendige Kraft ist übertragen worden auf die Molekel und hat in ihnen eine schwingende Bewegung innerhalb sehr enger Gränzen erzeugt, da sie den Zustand des Körperganzen entweder gar nicht oder bei verhältnißmäßig sehr großen Elongationen nur den Aggregatzustand verändert.

Diese schwingenden Molekularbewegungen erzeugen je nach ihrer Beschaffenheit (Schwingungszahl, Schwingungsweite, Bewegungen der Molekel mit den Gleichgewichtspunkten, Bewegungen um diese Punkte, einfache Schwingungen, zusammengesetzte) und nach dem Wesen des Stoffes verschiedenartige sinnliche Empfindungen.

Die Reibung des geharzten Violinbogens auf der angespannten Saite erzeugt in dieser als Schall hörbare Schwingungen. Reibt man Holz oder Metall an Holz oder Stein u. dergl., so entstehen als Wärme fühlbare Schwingungen in den geriebenen Körpern. Die Massentheilchen werden durch das Reiben aus ihrer früheren Gleichgewichtslage gebracht und wollen immer wieder dahin zurückkehren, was

sie aber nach dem Beharrungsvermögen darüber hinaus fortführt, wodurch vollständige Schwingungen erzeugt werden.

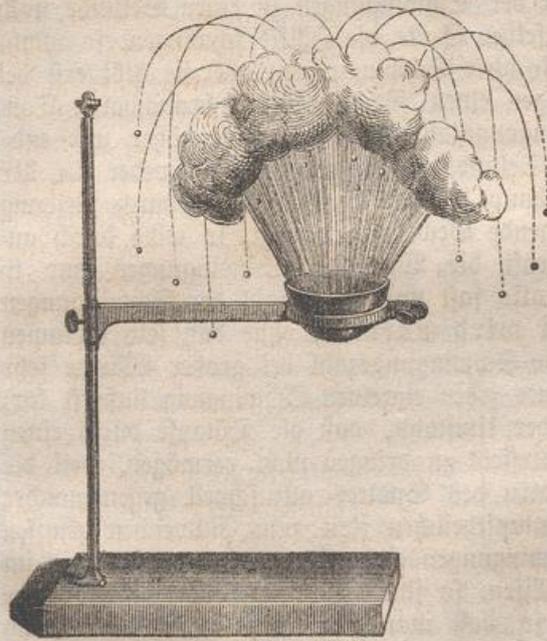
Wird ein Stück Eisen (Nagel, Messer) an einen rasch gedrehten trockenen Schleiffstein gedrückt, so wird das Eisen nicht nur sehr heiß, sondern geräth in sichtbare Lichtschwingungen, indem glühende Theile von ihm in geschmolzenem Zustande abspritzen. In diesem Falle sind also fühlbare und sichtbare Schwingungen gleichzeitig vorhanden.

Es ist hier schon eine Stufenleiter in den Erscheinungen zu erkennen, indem durch Vermehrung der Anzahl von Schwingungen aus dem Schalle die Wärme und aus dieser Licht entsteht; aber weder allzulangsame, noch allzurasche Schall-, Wärme- und Lichtschwingungen sind sinnlich wahrnehmbar. Läßt man eine schlaffe Saite schwingen, so ist die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde noch zählbar. Läßt man von derselben Saite die Hälfte schwingen, so macht sie in der Sekunde doppelt so viele Schwingungen, aber sie gibt erst bei 16 Stößen oder Schwingungen einen für die Musik brauchbaren Ton. Bei Vermehrung der Schwingungszahl wird der Ton höher und endlich (etwa bei 36000 in 1 Sekunde) so hoch, daß er weder in der Musik brauchbar, noch überhaupt hörbar ist. — Wird durch Reibung in den Molekeln eine schwingende Bewegung erzeugt, so wird durch andauernde Einwirkung der Kraft die Weite der Schwingungen nur in einem sehr geringen Grade, also fast nur die Anzahl der Schwingungen vermehrt, d. h. der Körper wird wärmer, ohne daß sein Volumen sich sehr vergrößert. Daß die Schwingungszahl bei großer Wärme sehr bedeutend oder die Dauer einer jeden einzelnen Schwingung äußerst kurz sein muß, zeigt uns u. a. der Umstand, daß die Dämpfe durch einen feinen Spalt des glühenden Kessels zu dringen nicht vermögen, weil die Wassertheilchen an den Rändern des Spaltes allzusehr schnell gegeneinander schwingen, als daß den Dampfteilchen Zeit zum Entweichen gelassen würde. Sind die Wärmeschwingungen eines Körpers allzurasch, wie im geschmolzenen weißglühenden Eisen, so sind sie, wenigstens während einer kurzen Zeit, nicht fühlbar, so daß man ohne alle Gefahr die Hand einige Augenblicke in solches Eisen halten kann; denn die Massentheilchen kommen wegen der Kürze der Dauer einer jeden einzelnen Schwingung nicht zu einer wirksamen Berührung mit der Hand. Je schwerer ein Metall schmilzt, d. h. je größer die Wärme ist, bei welcher es in den flüssigen Zustand übergeht, desto gefahrloser ist der Versuch, weil bei vermehrter Schwingungszahl die Dauer einer jeden einzelnen um so geringer ist. In soeben schmelzendes Zinn die Hand zu stecken, ist nicht anzurathen.

Daß die Wärme in Schwingungen der Massentheile der irdischen Körper selbst besteht, kann man leicht auch erkennen, wenn man eine Eisenstange an dem einen Ende heiß macht und einen kalten Wassertropfen auf sie in die Nähe der heißen Stelle bringt; denn man sieht,

wie derselbe durch die Bewegungen des Eisens fort nach der kälteren Stelle gedrängt wird, indem die Schwingungen nach der heißeren hin eine größere Weite und Geschwindigkeit besitzen; es ist als wenn der Tropfen auf einer schiefen Ebene herabginge. Läßt man eine größere Wassermenge auf eine lebhaft glühende und genau horizontal gelegte Metallplatte fallen, so rundet sie sich an ihrer Gränze ab, weil die Schwingungsstöße ringsum dieselbe Kraft haben.

In einem lebhaft glühenden Platintiegel wird ein kalter Wassertropfen einige Zeit lang hin und her geworfen, ohne das Metall zu benetzen und ohne allmählich zu verdampfen, bis er endlich, in seinem Inneren gleichmäßig durchwärmt, in einem Augenblicke in Dampf sich verwandelt. Der Leidenfrostsche Tropfen.

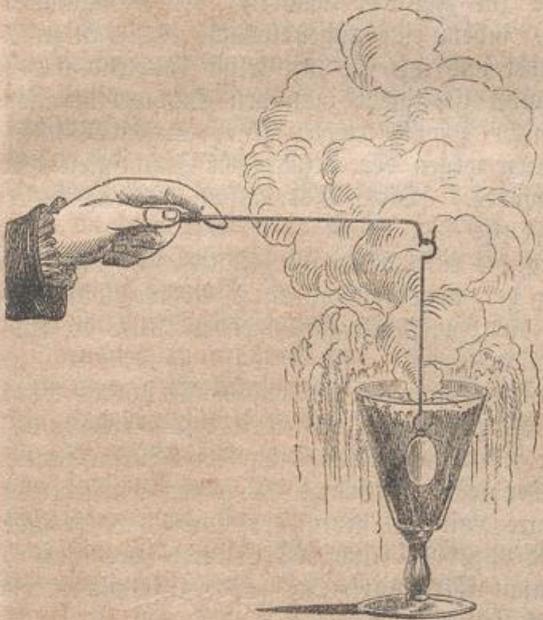
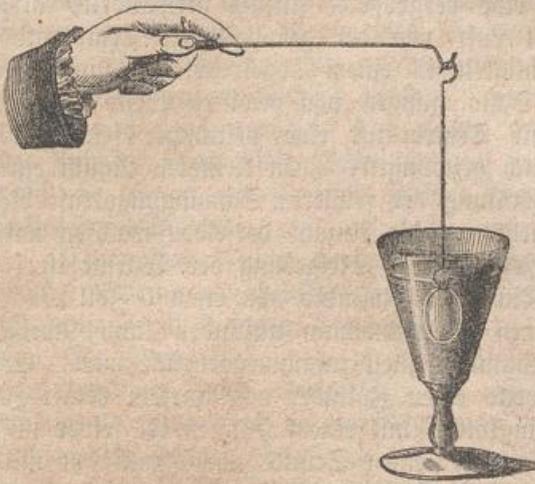


(Fig. 262.)

Wird ein glühender Silber- oder Platintiegel von ziemlich bedeutender Metallstärke (Fig. 262) schnell mit kaltem Wasser erfüllt, so bleibt die ganze Wassermenge anfänglich ruhig liegen, ohne daß sie an dem Metalle haftet oder dasselbe benetzt. Wenn aber der Tiegel nicht weiter erwärmt wird, so kühlt er allmählich ab, das Wasser kommt mit ihm mehr und mehr in Berührung, wodurch es erwärmt wird, und wenn jene Abkühlung und diese Erwärmung dem Kochpunkte des Wassers nahe ist, so beginnt dieses plötz-

lich aufzuwallen und löst sich in ganz kurzer Zeit völlig in Dampf auf.

Ganz interessant ist die Umkehrung des Versuches, indem sich dieselbe Grundanschauung über das Wesen der Wärme geltend macht. Hängt man (Fig. 263) ein eiförmiges und glühend gemachtes Stück Silber in einen Becher mit kaltem Wasser, so wird jenes nicht benetzt, wenn man es auch langsam auf- und abwärts bewegt, sondern das Wasser läßt rings um das Metall einen freien Raum. Ebenso bleiben glühende Glasmassen, welche man ins Wasser taucht und bald wieder herauszieht, trocken und springen auch nicht. Bei dem Abkühlen des Metalles findet endlich eine Berührung mit dem Wasser und eine lebhaftere unmittelbare Uebertragung der Schwingungen statt, man



(Fig. 263.)

hört ein Sausen, das Wasser beginnt zu fieden und brauset plötzlich heftig über.

Wie durch die Uebertragung einer lebendigen Kraft selbst ein kalter Körper durch einen kalten bedeutend erwärmt werden kann, davon gibt u. a. die Methode, wie man in dicke Kupferplatten die Nietenlöcher macht, ein interessantes Beispiel. Ein Stahlzapfen, welcher langsam durch eine kräftige Dampfmaschine bewegt wird, durchsticht die Platten und der herausfallende Kupferzapfen ist glühend heiß. Hier hat die langsame Bewegung einer großen Masse in einer kleinen, nämlich dem Kupferzapfen, eine sehr rasche Bewegung, zwar nicht seiner ganzen Masse, wohl aber seiner Molekel hervorgebracht. Daß aber in sehr rascher Molekularbewegung, selbst eines zarten Stoffes, auch eine große Kraft liegen muß, zeigen uns die Wirkungen des Dampfes.

Wir werden zwar erst in der Wärmelehre die besonderen, hierher gehörigen Betrachtungen anführen, aber einen Fall, welcher eine auffallende Ähnlichkeit zwischen

Schall- und Wärmeschwingungen enthält, wollen wir noch erwähnen. Wenn nämlich eine Saite durch eine bestimmte Kraft zu tönenden Schwingungen angeregt worden ist und man verkürzt die Saite von dem einen Ende an; so wird der Ton ein höherer, zu welchem mehr Schwingungen gehören, als zu dem ersten. Die ursprüngliche Schwingungskraft der ganzen Saite ist nach deren Verkürzung auf einen kleineren Theil derselben beschränkt und daher wird die frühere größere

Weite der Schwingungen in eine vergrößerte Anzahl verwandelt, also der Ton ein höherer. — Ist Luft von der gewöhnlichen Temperatur (selbst im Winter) und Dichtigkeit in einem abgesperrten Raume, so können die Lufttheilchen nur Schwingungen von gewisser Weite machen, deren Anzahl für eine gewisse Temperatur eine bestimmte sein wird. Wird nun dieselbe Luft plötzlich gezwungen, einen kleineren Raum einzunehmen, so muß mit Beibehaltung der früheren Schwingungskraft die Weite der Schwingungen abnehmen, die Anzahl derselben wachsen und somit die Wärme sich vergrößern. Diese Steigerung der Wärme ist so bedeutend, daß man durch sie in einem Zylinder von etwa 5 Zoll Länge und  $\frac{1}{2}$  Zoll Durchmesser, einen Feuerschwamm anzünden kann, wenn die Luft nur auf  $\frac{1}{6}$  ihres Raumes schnell zusammengedrückt wird. Es ist angemessen, zu diesem Zwecke einen Zylinder von starkem Glase zu nehmen, in welchen ein Messingkolben mit einem Häkchen an seiner unteren Fläche zum Einklemmen eines kleinen Stückes Schwamm gut und ziemlich leicht beweglich paßt. Man sieht dann wie namentlich bei etwas feuchter Luft die Wasserdünste im Zylinder während des Zusammendrückens nebelartig erscheinen, indem eine augenblickliche Ueberfüllung der Luft mit Dünsten stattfindet und wie die Luft selbst leuchtend wird. Sowie der Schwamm angezündet ist, zieht man den Stempel heraus, weil sonst der Schwamm nicht sowohl wegen eines augenblicklichen Mangels an Sauerstoff, sondern wegen der allzugroßen Feuchtigkeit der Luft bald wieder verlöschen würde. Diese Vorrichtung ist das Luft- oder pneumatische Feuerzeug.

Es ist also natürlich, daß die Luft, wenn ihr gestattet ist, sich auszudehnen, wie wenn sie von der Erdoberfläche an in höhere Schichten der Atmosphäre steigt, kälter wird, weil mit zunehmender Weite die Anzahl der Schwingungen abnimmt.

Daß die Wärmeerscheinungen ihren Grund vorzüglich in der Molekularbewegung der irdischen Körper, nicht des Weltäthers haben, beweist das große Kraftmoment selbst des zarten Dampfes. Wenn ferner ein Würfel von Eisen auf einer festen Unterlage bei seiner Erwärmung im Stande ist, eine ungeheure Last zu heben, so kann das in ihm thätige Kraftmoment nur das Produkt seiner Masse und der außerordentlich großen, natürlich nicht fortschreitenden, sondern schwingenden Geschwindigkeit seiner Molekel sein.

Wird irgend ein Körper, wie die Luft oder selbst Wasser, plötzlich und kräftig zusammengedrückt oder wird er anhaltend genug gerieben, so entwickelt sich in ihm Licht. Auch hier findet nur eine Uebertragung einer lebendigen Kraft, aber auf einen Stoff von enormer Feinheit, nämlich den Weltäther, statt, welcher in noch viel raschere Schwingungen gerathen muß, als die viel massigeren Theile der irdischen Körper. Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß der Weltäther nicht nur im Weltraume außerhalb der irdischen Körper vorhanden ist, sondern daß

er auch, wie es die Physik in der Lichtlehre nachweist, die irdischen Körper durchdringt. Wenn also die massigen Molekel der irdischen Körper Wärmeschwingungen machen, welche kräftig genug sind, um den zarten Aether zu hinreichend raschen Schwingungen anzuregen, so sehen wir die Schwingungen als Licht, oder wir haben die Empfindung des Lichtes. Sind diese Schwingungen noch zu langsam oder schon zu rasch, so können wir sie nicht sehen; eine Thatsache, auf welche wir später zurückkommen.

Durch das Reiben werden aber nicht nur entzückende Töne, wohlthätige Wärme und belebendes Licht erzeugt, sondern auch noch andere Bewegungsercheinungen hervorgezaubert. Reibt man eine Siegellack- oder Glasstange mit einem trockenen Wollenfleck, oder streicht man mit ganz trockener Hand wiederholt über ein Stück Maschinenpapier hin, besonders während es an einer warmen Ofenfachel liegt; so zeigen diese und andere Körper ganz neue und auffallende Erscheinungen: sie ziehen andere ganz leichte Körper, wie Papierschnitzchen, Strohtheilchen, Stücke von dem Marke der Sonnenrosenstaude, an; man sieht im Dunkeln beim Anziehen einen matten Lichtschein und hört, wenn die Kraft etwas stärker hervortritt, ein Knistern; die angezogenen Körper werden dann losgelassen. Wenn das Maschinenpapier bei seiner Anfertigung über die erwärmten Zylinder schleifend gedreht wird, so zeigen diese Thatsachen sich oft recht kräftig, so daß, wenn man in die Nähe solchen Papierses einen langen Metalldraht mit kurzen Unterbrechungen hält, nicht blos an dem genäherten Ende, sondern auch an jeder Unterbrechungsstelle ein Funken erscheint, und man in der Hand sogar eine kleine Erschütterung bemerkt.

Diese und selbst noch andere im Gefolge vorhandenen Erscheinungen nennt man elektrische. Es ist auch hier keinem Zweifel unterworfen, daß die Massentheilchen durch das Reiben aus ihrer natürlichen Ruhelage in eine neue und erzwungene gebracht worden sind, in welcher sie auf andere Körper unmittelbar oder durch Zwischenstoffe, und wenn es selbst auch nur der Weltäther wäre, als Kraft, welche man Elektrizität nennt, bewegend einwirken.

Es gibt endlich Eisenerze, welche, wenn sie zu Tage gefördert worden sind, Eisen und eisenhaltige Körper anziehen, sie festhalten und es bewirken, daß auch Stahl diese Anziehung zeigt, wenn man ihn vorher mit solchem Eisenerze bestrichen oder gerieben hat.

Außer dem Eisen sind noch einige andere Körper zur Entwicklung dieser Kraft, welche man Magnetismus nennt, fähig.

Wir haben somit durch das Reiben eines Körpers an einem zweiten fünf verschiedene Erscheinungen, welche nur die Folge von fünf verschiedenen Bewegungszuständen sein können, kennen gelernt. Wir werden diese Erscheinungen in den betreffenden Abschnitten als Schwingungszustände besonderer Art, ferner den so höchst merkwürdigen Zusammen-

hang unter den verschiedenen Schwingungsarten und den Uebergang aus der einen in die andere näher untersuchen.

### Wellenstrahlen.

Aus den angeführten Betrachtungen ergibt sich, daß die sinnliche Wahrnehmung der Schwingungen durch ihre Richtung in den Wellenstrahlen bedingt ist. In den Strahlen der Schallwellen finden Längenschwingungen, in denen der Lichtwellen aber Querschwingungen statt; in jenem Falle finden Stöße in der Richtung der nach dem Inneren des Ohres gerichteten Ase, in diesem aber Schwingungen in der Richtung der im Hintergrunde des Auges vorhandenen Netzhaut oder senkrecht auf der Augenaxe statt. In beiden Fällen wird der Eindruck durch die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der Schwingungen oder Stöße zu einem ununterbrochenen und in beiden Fällen setzen wir den Erregungs-ort der Wellen in die Richtung desjenigen Strahles zurück, welcher unser Organ unmittelbar trifft, ohne daß wir dadurch schon die absolute Stelle dieses Ortes, d. h. den wahren Ort und seine wahre Entfernung von uns bestimmen können. Es spricht z. B. das durch den Wald bewirkte Echo zu uns aus dem Walde, das durch den Spiegel bewirkte Bild zeigt sich uns aus dem Spiegel, während doch in beiden Fällen die Quelle der Wellenerregung woanders ist.

Die gradlinige Fortpflanzung in Wellenstrahlen findet aber nur in einem durchweg nach allen Richtungen gleichmäßig beschaffenen Stoffe statt. Sie ist uns beim Lichte in mehrfacher Beziehung von großem Nutzen. Sehen wir durch eine kleine Oeffnung in einem Metallbleche oder einem Brettchen nach einem Lichte und halten wir ein zweites Blech mit einer solchen Oeffnung dazwischen, so wird das Licht nur dann nicht verdeckt sein, wenn die grade Verbindungslinie in den beiden Oeffnungen bei ihrer Verlängerung nach der einen Richtung das Licht, nach der anderen das Auge trifft; es liegen also dann alle vier Punkte in einer graden Linie. Schon die Alten bedienten sich bei Himmelsbeobachtungen solcher Dioptern.

Weil man beim Feldmessen häufig nach ausgesteckten Stangen zu sehen hat, sind die Dioptern so eingerichtet, daß in der einen Metallschiene eine Reihe kleiner Oeffnungen in einer graden Richtung sich befinden und die Fortsetzung durch einen feinen Spalt gebildet wird, in der anderen Schiene aber der Spalt beginnt und die Oeffnungen folgen, damit man von jeder Seite aus, oder vorwärts und rückwärts, beobachten kann. Eine Stange steckt nämlich in der Richtung der Dioptern, wenn man von einer Oeffnung der einen Schiene aus durch den Spalt der andern die Stange sieht.

Hierher gehört auch das Abstecken grader Linien auf dem Felde mittelst dreier graden Stangen, das Beobachten der horizontalen

Linien beim Nivellement (S. 179, I. Bd.), die Benutzung eines grade gespannten Fadens, Drahtes oder Haares beim Abzeichnen, ferner des Lothes von Maurern und Zimmerleuten, um Gegenstände (Mauern, Thürpfeiler, Balken) lothrecht aufzustellen.

Denken wir uns, daß von einem leuchtenden Punkte aus Strahlen durch eine Oeffnung eines dunklen Körpers gehen und von einer Wand senkrecht aufgefangen werden, so erscheint ein überall gleichmäßig helles Bild, wenn andere Strahlen abgehalten werden; gehen aber die Strahlen von einem leuchtenden Gegenstande mit größerer Ausdehnung, so entsteht ein Kernlichtbild, welches von allen leuchtenden Punkten Licht empfängt, und um dasselbe noch ein Halblichtbild, welches nur von einem Theile des Körpers das Licht bekommt. Je größer die Oeffnung, desto mehr verschwimmen diese Lichtbilder ineinander und werden so nach und nach ganz unkenntlich, so daß man z. B. durch ein Fenster in einer Stube die Bilder von den äußeren Gegenständen nicht erhält.

Hat man daher in einem dünnen Metallbleche, welches in dem Fensterladen eines ganz verfinsterten Zimmers angebracht ist, eine kleine Oeffnung, so bilden sich in dieser dunklen Kammer (Camera obscura) die außerhalb befindlichen und gut beleuchteten Gegenstände sehr deutlich ab; bewegen sich dieselben, so geben auch die Bilder diese Bewegung wieder, was ein lebendiges und angenehmes Gemälde darstellt. Aus dem leicht zu verfolgenden Gange der Strahlen läßt sich entnehmen, daß die Bilder verkehrt erscheinen müssen. Welche Mittel zu ihrer Umkehrung und schärferen Darstellung angewendet werden müssen, wird später angeführt werden, wenn wir die optischen Instrumente betrachten.

In der gradlinigen Verbreitung des Lichtes liegt der Grund, daß unser Gesichtssinn mancherlei Täuschungen ausgesetzt ist und daß wir häufig unser Urtheil zuhülfe nehmen müssen, wenn auch wegen der steten Uebung gewissermaßen unbewußt, um das Wahre zu erkennen. Diese Täuschungen beziehen sich auf den Ort, die Größe, Entfernung und Bewegung.

1) Unser Auge verlegt einen Gegenstand (oder Punkt des Gegenstandes) stets an eine Stelle derjenigen graden Linie, welche als Verlängerung des das Auge unmittelbar treffenden Strahles erscheint, und bezieht den Ort des Gegenstandes auf die Stelle eines vorhandenen Hintergrundes, welche von dem verlängerten Strahle getroffen wird. Diese Stelle heißt der scheinbare oder optische Ort des Gegenstandes. Dadurch sind wir aber noch nicht in den Stand gesetzt, die wirklich von dem Gegenstande eingenommene Stelle, d. h. den wahren Ort, angeben zu können. Lassen wir uns z. B. in einiger Entfernung vor das eine Auge mitten in der Stube oder im Freien, während das andere Auge geschlossen ist, einen Fingerring so an einem Faden halten,

daß die Oeffnung verdeckt ist, so werden wir mit einem krumm gebogenen Stöckchen die Oeffnung eher verfehlen, als treffen.

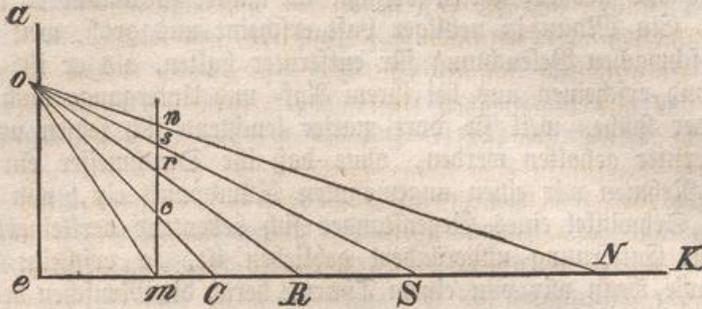
2) Ebenfowenig können wir Entfernungen sehen oder hören, sondern nur aus begleitenden Umständen beurtheilen und werden daher auch nicht selten getäuscht. Schwachen Kanonendonner setzen wir in eine große, starken in eine kleine Entfernung; von einem uns matt erscheinenden Berge meinen wir, daß er entfernt, von einem sich klar darstellenden, daß er nahe ist. In beiden Fällen können wir getäuscht werden: in jenem z. B. durch die Beschaffenheit der Pulverladung, in diesem durch den Zustand der Atmosphäre; denn ein Berg wird uns bei klarer Luft oder bei Schneebeleuchtung näher erscheinen, als bei trüber, wenn wir auch unsere Entfernung von ihm gar nicht geändert haben. Erlangen Blindgeborne die Fähigkeit zu sehen, so haben sie anfänglich ebenfowenig einen richtigen Begriff von Entfernungen, als kleine Kinder, welche auch nach solchen Gegenständen langen, welche sie wegen ihrer bedeutenden Entfernung nicht greifen können.

Die Aehren eines Kornfeldes, die Baumstämme am Saume eines Waldes scheinen in derselben Fläche zu liegen, die Gestirne wie an einer Hohlkugel angeheftet zu sein, und daher pflegen wir im letzten Falle von einer Himmelskugel zu sprechen.

Je weiter Gegenstände von uns entfernt sind, desto eher erscheint ihre Entfernung gleich, weil die Unterschiede der Ungleichheit ihrer Entfernungen in Beziehung auf die ganzen Entfernungen mehr und mehr als verschwindend klein erscheinen.

Weil die Gestirne am Horizont wegen des längeren Weges ihrer Strahlen durch die Atmosphäre matter erscheinen, setzen wir sie in größere Entfernung, als die dem Zenith oder Scheitelpunkte näheren und daher halten wir die Himmelskugel für abgeplattet — Tritt man ans Meer, so scheint sich sein Niveau zu erheben (hohe See), ebenso der Fußboden eines langen Saales, von dessen Decke aber glaubt man, daß sie herabgehe; die Bäume einer Allee scheinen mit zunehmender Entfernung einander näher zu kommen; die Sonnenstrahlen, welche durch Wolkenlücken dunstreiche Luft beleuchten, scheinen von den Wolken an auseinander zu gehen, gleichgiltig, ob die Sonne über oder, wie es bei ihrem Untergange stattfinden kann, unter der Wolke steht. Dies ist das sogen. Wasserziehen.

Hierher gehört auch die Erscheinung der optischen Zerrbilder oder optischen Anamorphosen. Auf einer im Durchschnitte dargestellten Ebene  $ek$  (Fig. 264) sei ein Gegenstand  $nm$ , z. B. eine menschliche Figur in richtiger Zeichnung aufgestellt. Ist nun in  $e$  noch ein dünnes Brettchen mit einer kleinen Oeffnung  $o$  angebracht, sind von  $o$  aus nach verschiedenen Punkten der Figur, wie nach  $n$ ,  $s$ ,  $r$ ,  $c$  die Verbindungslinien gezogen, dieselben bis an die Ebene  $ek$  verlängert und wird endlich auf die Ebene  $ek$  zwischen  $m$  und  $N$  die Figur so gezeichnet, daß



(Fig. 264.)

die Punkte C, R, S, N u. s. w. der Zeichnung die Punkte c, r, s, n u. s. w. der Figur darstellen; so erkennt das Auge in o bei einiger Angewöhnung aus der verzerren Zeichnung auf der Ebene die natürliche Gestalt der Figur. Man kann die verzerren Zeichnung auch auf einer seitwärts von der Oeffnung angebrachten Wand anbringen. Was von einer einzelnen Figur gilt, läßt sich auch von einer ganzen Gruppe sagen.

3) Auch die Größe eines Gegenstandes können wir als solche nicht unmittelbar sehen. Ein vor das Auge gehaltener Finger ist nicht nur im Stande, einen entfernteren Baumstamm oder ein noch entfernteres Haus, sondern bei größerer Nähe desselben am Auge noch viel größere Gegenstände in größerer Entfernung zu bedecken. In je größere Entfernung ein Gegenstand vom Auge gehalten wird, desto kleiner erscheint er. Seine dem Auge sich darstellende Größe hängt von dem Winkel ab, welchen die von dem Auge bis an die äußersten Punkte des Gegenstandes gehenden graden Linien bilden. Dieser Winkel, welcher mit zunehmender Entfernung des Gegenstandes abnimmt, heißt daher auch die scheinbare Größe des Gegenstandes oder der Sehwinkel. Den meisten Augen verschwindet ein Gegenstand, wenn der Sehwinkel kleiner als 40 Sekunden oder wenn die Entfernung desselben etwa 5000mal größer, als sein Durchmesser ist. Bei starker Beleuchtung kann der Winkel wohl bis zu 30 Sekunden abnehmen. Die wahre Größe eines Gegenstandes, z. B. der Gestirne, ist von der scheinbaren Größe und von der wahren Entfernung abhängig und läßt sich daraus berechnen; wenn man sie bloß durch das Auge beurtheilt, so ist dies das Augenmaß. Man kann aber auch in gleicher Weise aus der bekannten Größe eines Gegenstandes und seinem Sehwinkel die Entfernung bestimmen. Für diesen Zweck hat man auch besondere Instrumente erfunden, welche Abstandsmesser oder Distanzmesser heißen.

Wir sind in Betreff der wahren Größe auch vielen Täuschungen ausgesetzt, welche mit denen über die Entfernungen zusammenhängen. — Halten wir einen Gegenstand für entfernter, als er wirklich ist, so er-

scheint er uns größer; halten wir ihn für näher, so kommt er uns kleiner vor. Ein Mann in nebliger Luft erscheint uns groß, weil wir ihn bei der schwachen Beleuchtung für entfernter halten, als er ist. Sonne und Mond erscheinen uns bei ihrem Auf- und Untergange auch größer, als in der Höhe, weil sie dort matter leuchtend sich zeigen und somit für entfernter gehalten werden, ohne daß ihr Durchmesser ein anderer ist. — Nehmen wir einen ungewohnten Standpunkt ein, von welchem aus der Sehwinkel eines Gegenstandes sich bedeutend verkleinert, wenn auch seine Entfernung unverändert geblieben ist, so erscheint er uns kleiner, wie wenn wir von einem Thurme herab die Menschen betrachten. Weil sich beim schnellen Fahren auf Eisenbahnen der Sehwinkel verkleinert und man auch einen höheren Beobachtungspunkt einnimmt, so erscheinen uns entfernte Kinder, Pferde u. a. auffallend klein. Bemerkenswerth ist noch, daß die in grader Richtung unter einem bestimmten Winkel auf die Bahn zugehenden parallelen Furchen und Beete eines Ackers gekrümmte Linien zu bilden scheinen, weil die entfernteren Stellen solcher Linien ihre Lage gegen den Beobachter weniger schnell ändern, als die ihm näheren, welche um so rascher dem Blicke entweichen, also nach hinten gehen, je näher sie ihm liegen.

Wir erlangen unter Berücksichtigung aller begleitenden Umstände durch die Erfahrung und häufige Uebung eine gewisse Fertigkeit in der Beurtheilung der wahren Größe und Entfernung der betrachteten Gegenstände. Können wir z. B. einen Menschen in großer Entfernung noch erkennen, so halten wir ihn doch nicht für wesentlich kleiner, als er ist; finden wir seine scheinbare Größe größer, als die eines Hauses, so werden wir ihn in eine kleinere Entfernung setzen, als das Haus; wir werden erkennen, ob ein entferntes Pferd groß oder klein ist. Die Erleuchtungsstärke und die Menge und Beschaffenheit der dazwischen liegenden Gegenstände unterstützen unser Urtheil.

Wenn Gegenstände, welche in verschiedenen Ebenen und Entfernungen vom Beobachter sich befinden, auf einer einzigen Ebene so dargestellt sind, daß wir beim Anblicke dieser Darstellung jeden einzelnen Gegenstand nach seiner Lage gegen die anderen, sowie nach seiner Größe und der Beleuchtungsstärke an seinen wahren Ort versetzen; so nennt man diese Darstellung eine perspektivische. Es ist dabei nothwendig, daß auch die Theile jedes einzelnen Gegenstandes diesen Bedingungen entsprechen. Damit jeder Körper mit allen seinen Theilen plastisch, d. h. wirklich körperlich, aus der Ebene hervortrete, ist eine richtige Schattengebung vorzüglich wichtig.

4) Von den Täuschungen in Beziehung auf die Bewegung und Ruhe der Körper, welche wir früher (Vd. I. S. 37) schon im Allgemeinen besprochen haben, können wir noch anführen, daß sie dann eintreten, wenn wir entweder uns selbst in Ruhe befinden und eine recht gleichmäßige Bewegung eines anderen Körpers ohne Benutzung seines

optischen Ortes (Beziehung auf einen Hintergrund) beobachten, oder wenn wir uns selbst möglichst sanft und ohne Anstoß bewegen, während die anderen Körper ruhen. In beiden Fällen verwechseln wir Ruhe mit Bewegung und legen dem scheinbar bewegten Körper eine Richtung der Bewegung bei, welche der des wirklich sich bewegenden entgegengesetzt ist.

a) Sieht man von einer Brücke starr hinab auf den dahin eilenden Fluß, auf dessen Oberfläche vielleicht einzelne Gegenstände, z. B. Eischollen, schwimmen, so scheint man selbst stromaufwärts sich zu bewegen. — Sieht man in einem stehenden Eisenbahnzuge, an welchem dicht vorüber ein anderer fährt, so daß also eine Beziehung auf seinen optischen Ort nicht möglich ist; so scheint dieser zu ruhen und jener entgegengesetzt sich zu bewegen.

b) Fährt man auf glattem Wasserspiegel stromabwärts, so scheinen die nahen Ufer stromaufwärts sich zu bewegen, wozu uns ihre veränderte Lage gegen einen entfernten Hintergrund, welcher als feststehend angesehen werden kann, noch besonders Veranlassung gibt. — Wir fahren auf unserer Erde ohne den geringsten Anstoß im Weltraume einher, glauben daher zu ruhen und die scheinbare Himmelskugel in einer entgegengesetzten Bewegung begriffen.

Durch Hohlspiegel ist man im Stande, Luftbilder von Gegenständen darzustellen, dieselben auf einer durchscheinenden Wand aufzufangen und auf ihr allmählich größer oder kleiner werden zu lassen. Einem sich jenseits der Wand befindlichen Zuschauer werden die Bilder in jenem Falle näher zu kommen, in diesem sich von ihm zu entfernen scheinen, was bei einer guten Darstellung einen höchst überraschenden, zauberhaften Eindruck macht.

#### Fortpflanzungszeit von Schwingungen.

Wenn Schwingungen an irgend einem Orte eines Körpers oder Stoffes durch eine Kraft erregt werden, so sind dieselben nicht auch gleichzeitig schon an einem anderen Orte vorhanden, denn es bedarf stets einer gewissen Zeit, um den Beharrungszustand anderer Stofftheile zu verändern. Die Schnelligkeit, mit welcher dieses geschieht, hängt theils von dem Wesen des Stoffes, theils von der Natur der Schwingungen ab: je elastischer der Stoff ist und je weniger durch die Schwingungen seine Dichtigkeit verändert wird, desto schneller wird unter übrigens gleichen Umständen die Fortpflanzung geschehen.

Sieht man Jemanden in größerer Entfernung ein Feuergewehr abschließen, so hört man den Knall später, als man das Ausblitzen des verbrannten Pulvers erkennt; also bedarf der Schall einer längeren Zeit, als das Licht, um dieselbe Entfernung in demselben Stoffe, nämlich der Luft, zurückzulegen.

1) Fortpflanzung des Schalles. Hat man zwei sehr genau übereinstimmende Chronometer, so ergibt sich, daß das Licht einen meilenweiten Weg ohne eine meßbare Geschwindigkeit zurücklegt. Wir können demnach mit einem Knall verbundene Lichtsignale, wie sie durch das Abschließen einer Kanone gegeben werden, benutzen, um die Geschwindigkeit des Schalles in der Atmosphäre zu bestimmen. Man wählt zwei erhöhte und einander sichtbare Standpunkte A und B zu den Kanonen, mißt deren Entfernung genau und verabredet das abwechselnde Abschließen derselben in bestimmten Augenblicken und während es möglichst vollkommen windstill ist. Betrüge die Entfernung 10300 Fuß und vergingen von dem Erscheinen des Blitzes bis zum Hörbarwerden des Knalles grade 10 Sekunden, so wäre die Geschwindigkeit des Schalles 1030 Fuß. Um die nicht zu vermeidenden Beobachtungsfehler möglichst unschädlich zu machen, nimmt man aus einer größeren Reihe von Beobachtungen das Mittel.

Würde in A das Signal gegeben und ginge der Wind von A nach B, so würde er die Geschwindigkeit des Schalles um seine eigene vergrößern und ginge er von B nach A, so würde er sie um dieselbe vermindern. Wird bei einer bestimmten Windrichtung abwechselnd von A und B aus signalisirt, so ist das Mittel aus den zwei Beobachtungszeiten die Zeit, welche der Schall bei Windstille zur Zurücklegung der Entfernung AB gebrauchen würde, denn um wieviel der Wind die Geschwindigkeit des Schalles in dem einen Falle vergrößert, um ebensoviel verkleinert er sie in dem anderen.

In der trockenen Luft von Null Grad Wärme beträgt die Geschwindigkeit bei allen Dichtigkeiten gegen 1024 pariser Fuß, weil bei einer bestimmten Temperatur die Dichtigkeit in gradem Verhältnisse mit der Spannkraft steht; wenn aber die Wärme zunimmt, so wächst für jeden Grad die Geschwindigkeit um 2,4 Fuß. In feuchter Luft ist die Geschwindigkeit größer, als in trockener und die leichteren Luftarten pflanzen den Schall schneller fort; Wasserstoff fast viermal schneller, dagegen die schwereren, wie Sauerstoff und Kohlenäure, langsamer.

Wenn man eine Sekundenuhr hat oder den Zeitraum einer Sekunde aus der Erfahrung beurtheilen kann, vielleicht mittelst der Pulsschläge, so läßt sich annähernd bestimmen, wie weit z. B. ein Gewitter, eine abgeschossene feindliche Kanone u. dergl. entfernt ist.

Wenn man auf den Wasserspiegel eines tiefen Brunnens, wie etwa auf der Festung Königsstein in Sachsen, einen Gegenstand auffallen sieht, so kann man aus der Zeit, nach welcher man den Schlag hört, die Tiefe beurtheilen. Es kann auch geschehen mit Berücksichtigung der Zwischenzeit vom Augenblicke des Fallenlassens bis zum Hören des Schlages.

Wellendicke. Die Geschwindigkeit der Wellenfortpflanzung setzt uns in den Stand, die Wellendicke (Wellenlängen) zu bestimmen. Macht

eine Saite in einer Sekunde 16 Stöße von gleicher Dauer, so erzeugt sie in dieser Zeit um ihren Mittelpunkt in der Luft 16 Kugelwellen, von denen jede aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile besteht und der Anfang der ersten von ihr erzeugten Welle ist am Ende des letzten Stoßes, also nach dem Verlaufe von 1 Sekunde, grade um  $1024 = 32 \cdot 32$  Fuß fortgeschritten, so daß der ganze Zwischenraum bei der gleichmäßigen Geschwindigkeit des Fortschreitens mit 16 ganzen Wellen von gleicher Dicke erfüllt ist. — Heißt der vom Schalle in einer Sekunde zurückgelegte Weg oder seine Geschwindigkeit  $g$ , ist die Zahl der Wellen  $z$  und die Dicke jeder einzelnen  $d$ ; so ist die Geschwindigkeit des Schalles ein Produkt aus  $z$  und  $d$ , oder  $g = z \cdot d$ ; also wird die Dicke  $d$  einer jeden Welle gefunden, wenn man  $g$  durch  $z$  dividirt und ist für dieses Beispiel  $16 : 32 \cdot 32 = 64$  Fuß und die Anzahl der Schwingungen wird gefunden, wenn man  $g$  durch  $d$  dividirt. Die erstere Betrachtung ( $g = z \cdot d$ ) ist besonders wichtig zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Körpern und die letzte ( $z = \frac{g}{d}$ ) für die Ermittlung der Schwingungszahlen, auch des Lichtes, da ja diese Betrachtungen für alle Arten von Wellen gelten.

Wenn die Töne eines Klavieres in einer kalten Stube höher sind, also zu weniger dicken Wellen gehören, als in einer warmen; so liegt dies vorzüglich darin, daß die Kälte die Saiten verkürzt, wodurch sie schneller schwingen und höhere Töne geben, nicht aber darin, daß die kalte umgebende Luft den Ton bei der Fortpflanzung erhöht. Nur wenn die Luft in Pfeifen selbst tönt, ist die Temperatur derselben von Einfluß auf die Höhe der Töne, aber so, daß wärmere Luft, welche den Schall schneller fortpflanzt, höhere Töne gibt. Wenn also z. B. eine Flöte in und mit kalter Luft zu anderen Instrumenten stimmt, so wird sie bei ihrer Erwärmung durch den Gebrauch zu hoch tönen.

Eine Pfeife mit reinem trockenem Wasserstoffe gibt einen fast eine Oktave höheren Ton, als Sauerstoff; dieser, sowie Kohlensäure einen tieferen Ton, als atmosphärische Luft. Aus der Höhe des Tones läßt sich die Geschwindigkeit des Schalles in diesen Luftarten berechnen, wie wir bei Betrachtung der Pfeifen in der Akustik oder Schallehre werden näher anführen.

Tropfbar flüssige und feste Körper pflanzen den Schall schneller und stärker fort, weil die schwingenden Theile nicht so große Wege zurückzulegen brauchen, um Schallwellen zu bilden, und weil ihre Theile mässiiger, also geeigneter sind, um einen wirksameren Eindruck zu machen. Die Geschwindigkeit im Wasser ist 10,5 mal, die im Zinn 7,5, im Silber 9, Eisen 10, Kupfer 12, Glas 16 mal größer, als in der Luft. Sind die Körper nicht stabförmig, sondern von allseitig größerer Ausdehnung, so ist die Geschwindigkeit und Stärke noch größer. Es ist

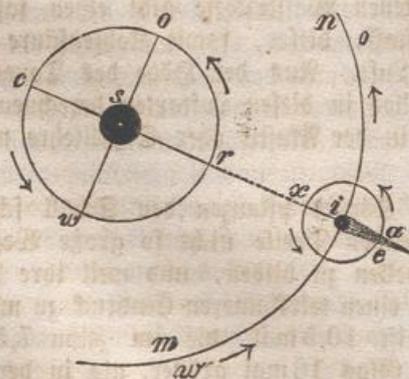
deshalb nicht zu verwundern, daß der Kanonendonner bei der Belagerung von Antwerpen im Jahre 1830 bis in den Harz vernommen wurde. — Einen silbernen Löffel, welcher in die Mitte eines Fadens gebunden ist, dessen Enden in die Ohren oder mit den Zähnen gehalten werden, hört man sehr stark tönen, wenn man ihn mit einem Schlüssel sanft anschlägt. Im Genfer See wurde der Schall einer 10 Zentner schweren Glocke bis auf eine Entfernung von 3500 Metern gehört.

Verschiedene Schalle, z. B. verschiedene Töne, pflanzen sich in demselben Stoffe von überall derselben Beschaffenheit mit derselben Geschwindigkeit fort, wie es z. B. bei Konzerten wahrgenommen wird. Diese gleichmäßige Fortpflanzung macht allein also den Genuß einer Musik möglich.

2) Fortpflanzung des Lichtes. Wenn es auch scheint, daß das Licht zur Fortpflanzung auf irdische Entfernungen keiner Zeit bedürfe, so haben uns doch die überirdischen Lichterscheinungen das Gegentheil gelehrt. Zu dem Jupiter gehören vier Monde, welche ihn fast in der Ebene, in welcher die Erde um die Sonne geht, umkreisen, so daß sie stets in einer graden Linie zu stehen scheinen, die durch den Mittelpunkt des Planeten geht. Da dieser sehr groß ist und die Monde ihm sehr nahe stehen, so treten letztere bei jedem ihrer Umläufe auf der Westseite des Planeten in seinen von der Sonne bewirkten Schatten und werden für uns einige Zeit unsichtbar, bis sie nach einiger Zeit auf der Ostseite wieder hervortreten. Behielte die Erde stets dieselbe Entfernung von dem Jupiter, so würden die Ein- und Austritte eines bestimmten Mondes stets in denselben Zwischenzeiten erfolgen, möchte das Licht zu seiner Fortpflanzung einer Zeit bedürfen oder nicht; da aber die Erde in gewissen Punkten ihrer Bahn sich rasch von dem Jupiter entfernt, in anderen rasch sich ihm nähert, und in jenem Falle die Ein- und Austritte des Mondes später, in diesem aber früher sich zeigen; so ist

dies ein Beweis davon, daß das Licht einer Zeit bedarf, um uns diese Ereignisse anzuzeigen.

Fig. 265 wird den Vorgang deutlich machen. *s* bedeutet den Mittelpunkt der Sonne, *ewro* die Bahn der Erde in der Richtung der Pfeile von Westen nach Osten um sie; *i* den Mittelpunkt des Jupiter, *mn* ein Stück seiner westöstlichen Bahn um die Sonne und *xea*



(Fig. 265).

die ihrer Richtung nach durch die Pfeile bezeichnete Bahn seines nächsten Mondes um ihn. Ist die Erde in *c* (die Sonne also mit dem Jupiter in Konjunktion) oder in *r* (die Sonne und Jupiter in Opposition), so ist ihre Bahn so ziemlich gleichlaufend mit der des Jupiter und beide Planeten behalten während einiger Tage so ziemlich dieselbe Entfernung von einander, so daß die Zeiten des Ein- und Austrittes eines Jupitermondes in einigen Tagen sich nicht bedeutend ändern: der nächste vollendet seinen Umlauf in 42 Stunden 28 Minuten und 35 Sekunden. Ist aber die Erde in *w* (ein Vierteljahr später, als sie in *c* war), so nähert sie sich dem Jupiter sehr rasch: in jeder Sekunde um 3,98 Meilen (täglich um 343872 M.); ist sie in *o* (drei Vierteljahre später), so entfernt sie sich sehr rasch von ihm; weil in beiden Fällen ihre Bahn auf der des Jupiter ziemlich senkrecht steht. In jenem Falle treten die Verfinsterungen des Mondes bei *e* um 14 Sekunden früher, in diesem das Erscheinen desselben bei *a* um ebensoviel später ein, als es die Beobachtungen bei *c* und *r* ergaben. Ist die Erde in *w*, so sieht man den Mond bei *a*, also auf der Ostseite (links vom Jupiter) aus dem Schatten treten; ist die Erde in *o*, so sieht man ihn bei *e*, also auf der Westseite (rechts vom Jupiter) in den Schatten treten.

Wenn die mittlere Geschwindigkeit der Erde zu 3,98 Meilen angenommen wird, so legt sie während der Zeit (42 St. 28 M. 35 Sek.) des Umlaufes des nächsten Mondes 598601 Meilen zurück, wovon der 14te Theil die Geschwindigkeit des Lichtes, etwa 42000 Meilen ergibt. Nach Dizeau ist sie 42506, nach Faucault 40145, was als Mittel 41,325 gibt. Man hat in neuerer Zeit Mittel aufgefunden, auch für irdische Entfernungen die Geschwindigkeit des Lichtes zu bestimmen; sie ist zwar in verschiedenen Stoffen verschieden, nicht aber für verschiedene Farben in demselben Stoffe, gleichwie die Fortpflanzung verschiedener Töne oder Schalle überhaupt in demselben Stoffe nicht verschieden war.

Weil die Entfernung der verschiedenen Himmelskörper von der Erde eine so große ist, daß die Angabe von Meilen sehr bedeutende und schwer aufzufassende Zahlen ergeben würden, so kann man die Geschwindigkeit des Lichtes verwenden, um der Vorstellung zuhelfe zu kommen. Es braucht z. B. das Licht der Sonne bis zu uns, um also einen Weg von 19991322 (das Mittel der Angaben von Hansen und Faucault) Meilen zurückzulegen, 8 Minuten und 3,7 Sekunden; nimmt man die Entfernung des uns nächsten Fixsternes, des Sirius im Sternbilde des großen Hundes, auch nur zu 200000 Erdweiten an, so braucht sein Licht bis zu uns über 3 Jahre. — Die Entfernung des Sirius nennt man eine Sternenweite. Die Entfernung der nächsten Nebelflecke, welche sich noch in einzelne Sterne auflösen lassen, bestimmte der ältere Herschel zu wenigstens 500 Sternenweiten, wozu das Licht mehr als 1500 Jahre gebraucht; aber die ganz unauflösbaren sind mindestens 8000 Sternenweiten entfernt, welche das Licht in 24000 Jahren noch

nicht zurücklegt und die selbst durch sein 40 füßiges Fernrohr noch kaum erkennbaren werden von ihm in 300000 Siriusweiten gesetzt, so daß das Licht etwa in 1 Million Jahren bis zu uns gelangt. Es ist also klar, daß diese von uns jetzt erblickten Himmelskörper schon vor einer Million Jahren bestanden haben. Wenn aber das Licht eines Himmelskörpers erlischt, wie es schon mehrfach beobachtet worden ist, so bekommen wir von dem Absterben einer solchen Welt viel später eine Kunde, als es geschieht, und es können manche von ihnen bereits vor Jahrtausenden erloschen sein, ohne daß wir es wissen.

Wüßte man die Länge oder vielmehr die Dicke  $d$  einer Lichtwelle, und wir werden sie später in der That durch unmittelbare Messung bestimmen lernen, so ließe sich durch Division derselben in die Geschwindigkeit  $g$  des Lichtes, die Anzahl  $z$  der Schwingungen in einer Sekunde angeben:  $(z = \frac{g}{d})$ . Für das rothe Licht ist  $d = 0,00074$  Millimeter, so daß also 100000 Wellen auf 74 Millimeter und auf einen Meter 1351351 gehen. Eine deutsche Meile enthält 7400 Meter, also 41325 Meilen geben 305805000 Meter, auf welche 413 Billionen Aethermellen kommen. Wenn also in einem Punkte rothes Licht, zu welchem die längsten Wellen gehören, erregt wird, so gehört zu ihm die staunenswerthe Anzahl von mehr als 413 Billionen Schwingungen in einer Sekunde; zu dem violetten Lichte, welches die kürzesten Wellen hat, aber fast doppelt so viele, so daß diese Farbe eine viel energischer ist, als das Roth. Wenn man sich daher bei beginnender Dämmerung z. B. in einer Bildergalerie befindet, so erscheinen Bilder mit blauen Gewändern noch ganz deutlich, während die mit rothen kaum noch zu erkennen sind. Einen ähnlichen Einfluß haben die Brillen mit blauen Gläsern. So wie ein höherer Farbenton auf das Auge einen wirksameren Eindruck macht, so ist es auch mit einem Schalltone, so daß eine hohe Diskantstimme unter übrigens gleichen Umständen durchdringender ist, als eine tiefe Bassstimme und die schrillende Schiffspeife das Brausen des Sturmes übertönt und durchdringt. Der Umfang der Farbentöne ist aber ein geringerer, nämlich nicht vollständig eine Oktave, als der der Schalltöne, welcher gegen 9 Oktaven umfaßt.

Die angeführte Geschwindigkeit des Lichtes bezieht sich nur auf seinen Durchgang durch den Weltäther; sie ist, im Wasser gleich 1000, wenn sie im leeren Raume 1336 angenommen wird, ja sie zeigt sich in demselben Körper, z. B. einem Kalkspathkrystalle mit seinen natürlichen Gränzflächen, nach zwei verschiedenen Richtungen verschieden, so daß man von einem Gegenstande, z. B. einem Punkte, durch ihn zwei Bilder sieht, gleichwie man bei einer sehr langen Eisengußröhre den auf das eine Ende ausgeführten Schlag zweimal hört, einmal durch das Eisen und dann durch die Luft.

3) Fortpflanzung der Wärme. Hält man die eine Seite des Gesichtes einem geheizten Ofen in einiger Entfernung gegenüber, so hat man in ihr das Gefühl einer größeren Wärme, als in der anderen Seite; hält man vor das Gesicht schnell ein Blatt Papier, ein Brettchen u. dergl., so ist die Wärme wie abgeschnitten; nimmt man es wieder weg, so prallt sie gewissermaßen an. Es ist gradese, als wenn vom Ofen die Wärme in derselben Weise ausginge, wie das Licht von einem leuchtenden Körper, welches man mittelst eines undurchsichtigen Schirmes auch plötzlich abhalten kann. Und in der That steht diese Wärmeverbreitung mit der des Lichtes in so inniger Verbindung, daß sie oft gemeinschaftlich auftreten, wie es ja Jedermann aus der Erscheinung der Brenngläser weiß, und daß beide somit in Schwingungen nur des Aethers bestehen. Diese Aetherschwingungen können unsichtbar sein (dunkles Licht), wenn sie entweder allzulangsam, oder allzurash sind, wie ja Schwingungen irdischer Körper unter denselben Umständen unhörbar waren.

Diese Wärmeercheinung nennt man die strahlende Wärme, welche die Geschwindigkeit des Lichtes hat und von ihm sich nur durch die Schwingungszahl unterscheidet, wie wir es noch genauer werden kennen lernen.

In irdischen Körpern ist die Fortpflanzung der Wärmeschwingungen, welche man Leitung nennt, von einer Stelle eines Körpers nach den anderen desselben Körpers außerordentlich verschieden: bei manchen geschieht sie schnell, weshalb sie gute Leiter heißen; bei anderen sehr langsam, welche schlechte Leiter sind, ohne daß es für beide eine bestimmte Gränze gibt. Unter allen Umständen ist die Leitung der Wärme gegen die Strahlung äußerst langsam.

Setzt man das eine Ende von Stäben aus verschiedenen Stoffen, z. B. Holz, Glas, Metall, und von gleicher Länge, Dicke und Gestalt, derselben Wärmequelle aus, z. B. einer Spiritusflamme oder siedendem Oele; so verbreitet die Wärme sich in ihnen, mit verschiedener Geschwindigkeit nach dem anderen Ende fort, was man leicht erkennt, wenn man auf alle Stangen in gleichen Entfernungen von dem erwärmten Ende an Wachskügelchen aufklebt: beim Metallstabe wird ein Kügelchen früher schmelzen, als das gleichentfernte auf dem Holzstabe; also ist das Metall ein guter, das Holz ein schlechter Leiter, oder das Metall pflanzt die Schwingungen von Theilchen zu Theilchen mit Leichtigkeit fort; das Holz aber schwer; dort vertheilt sich die lebendige Kraft der Wärme auf eine große Masse und kann die Schwingungszahl jedes einzelnen nicht sehr vermehren, d. h. die Wärme steigern; hier aber wird sie auf eine kleine Masse übertragen, deren Schwingungszahl (Wärme) bald so bedeutend wird, daß sie bei Anwendung der Spiritusflamme verbrennt. — Zu den guten Leitern gehören die Metalle in der Ordnung: Gold, Platin, Silber, Kupfer, Eisen, Zink, Zinn, Blei; weniger gut

leiten Steine, Glas, gebrannter Thon, die tropfbaren Flüssigkeiten außer Quecksilber; schlechte Leiter sind: Holz, Kohle, Asche, Stroh, Heu, Häcksel, Spreu, Haare, Leinwand, Papier, Wolle, Baumwolle, Seide, Federn, Schnee, Eis, ruhige Luft und alle lockeren, viele Luft enthaltenden Körper.

Sind Körper in ihrem Innern ganz gleichartig (isomorph) und ist die Massenvertheilung nach allen Richtungen hin dieselbe, so leiten sie auch die Wärme nach allen Richtungen gleich gut; ist aber das Innere eines Körpers nicht homogen, so ist auch die Leitung verschieden. Holz z. B. leitet die Wärme besser nach der Richtung der Jahrgänge, als in lothrechtlicher Richtung auf ihnen. Während des Winters kommt daher den Bäumen die Wärme aus der Tiefe des Erdbodens zustatten, während die Kälte der Luft nicht so leicht quer hindurch eindringen kann.

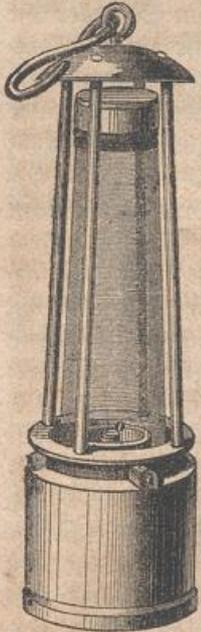
Davon, daß Wasser nicht ein guter Wärmeleiter ist, überzeugt man sich, daß eine auf kaltes Wasser gegossene Schicht von siedendheißem Del dasselbe nach unten nur sehr langsam erwärmt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Körper sind für das praktische Leben in vielfacher Beziehung wichtig. Wir müssen daher Einiges darüber anführen.

Es kocht schneller in metallenen breiten, als in irdenen hohen Gefäßen; schneller, wenn das Feuer von unten, als wenn es seitwärts angebracht ist. — Eisernen Ofen heizen sich schneller und kühlen schneller aus, als irdene. — Ein Räucherkerzchen glüht wohl auf einer irdenen, nicht aber auf einer metallenen Unterlage ganz aus. — Glühende Kohlen verlöschen auf einer Metallplatte bald, nicht aber auf oder in Asche. — Mit Ruß belegte Gefäße, in denen kochendes Wasser ist, kann man ohne Gefahr eine kurze Zeit auf die Hand stellen. — Ein kaltes und dickes Glas schützt man vor dem Zerspringen auf einer heißen Platte durch Unterlegen von Papier. — Beim Feuer zu gebrauchende Metallgeräthe versieht man mit hölzernen Handhaben oder greift sie mit einem feuchten Lappen an. — Ein wollener Faden verbrennt in einer Kerzenflamme nicht, wenn er dicht um einen Metallschlüssel gewunden ist. — Blei läßt sich in dünnem Papiere schmelzen, weil das Papier mehr erwärmt werden muß, um zu verbrennen, als das Blei, um zu schmelzen und dieses die dem Papiere zugeführte Wärme schnell annimmt.

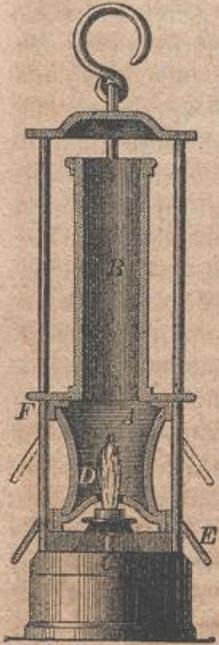
Wird ein feines Metalldrahtgeflecht über eine Flamme gehalten, so wird diese dadurch abgekürzt, weil das Metall die Wärme allzusehr ableitet, als daß die zum Verbrennen dienende Luft noch die hinreichende Wärme behält. In Bergwerken wird daher mittelst der Sicherheitslampe von Davy, bei welcher die Flamme von einem solchen Drahtgitter allseitig umgeben ist, das Entzünden der brennbaren Gase, der fogen. schlagenden Wetter vermieden. Das brennende Gas entzündet sich zwar, wenn es im Innern der Lampe mit der Flamme in Berührung kommt, und warnt somit vor der drohenden Gefahr für die Gesundheit,

aber das Entzünden der äußeren Luft wird so lange verhindert, als das Drahtgitter noch nicht glüht.



(Fig. 266.)

Fig. 266 zeigt die äußere Ansicht der Lampe: der untere Theil ist das Delgefäß aus Metall, darauf wird das von vier Metallstäben gehaltene Drahtgitter aufgeschraubt. Die Flamme verlöscht erst, wenn die Luft etwa  $\frac{1}{2}$  Grubengas enthält. Elwin hat eine Lampe (Fig. 267) angegeben, welche eine größere Sicherheit gibt, indem sie schon bei einer geringeren Beimischung des Gases unter einer kleinen Explosion im Innern verlöscht. C ist das Delgefäß, darauf sitzt ein Ring von feinem Drahtgewebe, auf seinem oberen Rande luftdicht ange kittet ein kuppelförmiges Blech D mit einem Einschnitte oben für die Flamme; A ist ein eingebogener Zylinder von weißem Glase, welcher auf den unteren Rand des D und oben bei F eingekittet ist, B ist ein Schornstein von Metall, welcher mit einem doppelten Drahtgitter verschlossen ist. Außerhalb ist ein kegelförmiger Metallspiegel angebracht, durch welchen in der unteren Stellung E das Licht der Flamme nach oben, in der oberen Stellung nach unten geworfen wird.



(Fig. 267.)

Erst kürzlich hat man das Vorhandensein der schlagenden Wetter in den Bergwerken auf eine recht sichere Weise durch das Prinzip der Endosmose (Bd. I. S. 89) zu entdecken unternommen, was ich hier wegen der großen Wichtigkeit der Sache noch anführen will. Es wird nämlich eine Kugel aus ganz dünnem Kautschuk mit atmosphärischer Luft gefüllt und unterhalb festgelegt; oberhalb macht der eine Arm eines Hebels einen kleinen Eindruck in sie, was durch eine Feder am anderen Arme bewirkt wird. Wird nun diese Vorrichtung in Luft gebracht, die selbst nur 5 Prozent Kohlenwasserstoff enthält, so bläht die Kugel sich sofort auf, indem Gas eindringt, wodurch die Feder gelöst und ein Schlagwerk oder eine elektrische Leitung in Thätigkeit gesetzt und so das Signal für die vorhandene Gefahr rechtzeitig gegeben wird.

Quecksilber fühlt sich kälter an, als Wasser; Leinwand kälter, als Baumwolle; irgend ein Metall kälter, als Holz und daher frieret bei großer Winterkälte der nasse Finger wohl an jenes, nicht aber an dieses, obwohl beide dieselbe Temperatur besitzen.

Baumwollene und noch mehr wollene Kleider schützen den Körper gegen äußere Kälte und Wärme mehr, als leinene; durch Pelze kann man im Winter die Wärme seines Körpers zusammen, im Sommer die Sonnengluth von sich abhalten. — Unter Strohdächern ist es im Sommer weniger warm und im Winter weniger kalt, als unter Dächern aus gebrannten Steinen oder Metallplatten. — Lehm- oder Holzwände halten wärmer, als Wände aus gut gebrannten oder aus Feldsteinen; tapezirte besser, als untapezirte. — Doppelte Fenster, Thüren und Bekleidungen (Hemden, Strümpfe) schützen gegen die andrängende Kälte vorzüglich durch die dazwischen befindliche ruhige Luft. Bei den Fenstern und Thüren muß also vorzüglich auf einen guten Verschuß gesehen werden, wenn sie nicht zwecklos sein sollen. — Der Schnee schützt im Freien lebende Thiere, die Nordländer und die Saaten vor dem Erfrieren, das Eis verhindert ein sehr tiefes Eindringen der Winterkälte in die Gewässer. — Erfrorene Menschen bedeckt man mit Schnee, gefrorene Früchte (Obst, Kartoffeln) legt man in kaltes Wasser, um ihnen den Frost allmählig zu entziehen. — Auf der Neva bauen die Petersburger häufig Vergnügungsorte aus Eis, in welchen man Defen aufstellt. — In hohen Gebirgen ist unter dem Schnee und Gletschereise oft eine liebliche Vegetation, welche die natürliche Erdwärme gedeihen läßt. — Eiskeller bringt man deshalb (wegen der Erdwärme) nicht unter, sondern über der Erdoberfläche an und schützt sie vor der Sonnenwärme durch einen Doppelbau aus Holz, bei welchem der Zwischenraum mit Stroh, Häcksel, Kaff, Kohlen, Asche oder Torfgruß ausgefüllt ist. Das sich bildende Wasser darf nicht durch einen offenen Kanal ins Freie geführt werden, sondern durch eine zuerst nach unten und dann nach oben gebogene Röhre (umgekehrter Schenkelsheber), damit das im unteren Theile stets vorhandene Wasser durch das Eindringen warmer Luft verhindere. — Pumpenbrunnen und zarte Gewächse werden gegen die Winterkälte durch Stroh geschützt; bei Wasser- und Dampfheizungen schützt man die Zuleitungsröhren vor dem allzufrühen Abkühlen durch schlechte Wärmeleiter, ebenso bei weit zu führenden Röhren für Dampfmaschinen, was für die Ersparniß sehr wichtig ist.

4) Fortpflanzung der Elektrizität. Wenn uns schon die Geschwindigkeit des Lichtes und der strahlenden Wärme mit Erstaunen erfüllte, so geschieht dies noch mehr bei der Elektrizität. Die irdischen Körper besitzen auch für die Fortpflanzung dieses Bewegungszustandes, dessen Wesen wir erst später genauer werden kennen lernen, eine sehr verschiedene Fähigkeit oder sie sind mehr oder weniger gute Leiter der Elektrizität.

Werden Bernstein, Schwefel, Siegellack, Guttapercha, Glas an irgend einer Stelle gerieben, so zeigen sie nur an ihr und in einem ganz geringen Umkreise die elektrischen Erscheinungen, ohne sie in sich weiter fortzuführen, also gehören die genannten Körper zu den ganz schlechten

Leitern für die Elektrizität; bringt man aber Metalle mit elektrischen Körpern in Berührung, so werden sie augenblicklich an allen Stellen elektrisch, also sind die Metalle gute Leiter.

Zu den schlechten Leitern oder Nichtleitern gehören noch Elfenbein, Haare, Federn, gedörrtes Holz, ganz trockene Luft; dagegen sind feuchte Luft, feuchter Erdboden und überhaupt alle feuchten, also auch die thierischen Körper und die lebenden Pflanzen ziemlich gute Leiter. Die besten Leiter für die Wärme und den Schall sind es auch für die Elektrizität.

Wenn man einen guten Leiter, z. B. einen Metallzylinder, mit lauter Nichtleitern umgibt, ihn also in der trockenen Luft auf Glasfüße, die noch mit einem Lackfirniß überzogen sind, stellt oder in Seidenschmüre hängt, so sagt man der Leiter ist isolirt. Sitzt oder steht ein Mensch auf einem Schemel mit Glasfüßen (Isolirstuhl), so ist er auch isolirt, besonders wenn er noch eine seidene Bekleidung hat und die Luft recht trocken ist.

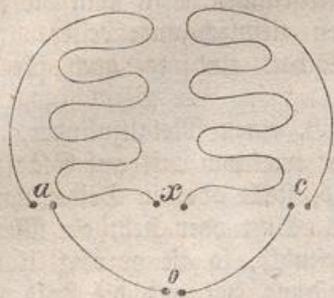
In dem chemisch reinen Kupfer beträgt die Geschwindigkeit der Elektrizität über 60000 Meilen in 1 Sekunde. Dieses hat man auf verschiedene höchst sinnreiche Weise ermittelt. Wir wollen nur eine davon auführen, welche zugleich die Dauer des elektrischen Funkens erkennen läßt.

Wenn man vor einem lothrecht gestellten Spiegel einen leuchtenden Punkt hat, so ist sein Bild doppelt so weit von ihm entfernt, als der Spiegel. Wird nun der Spiegel um eine in ihm liegende lothrechte Ase um einen Grad gedreht, so legt das Bild schon 2 Grade zurück und dreht man jenen einmal um die Ase oder 360 Grade, so beschreibt das Bild  $2 \cdot 360 = 720$  Grade. Wird der Spiegel durch eine besondere Vorrichtung in 1 Sekunde 800 mal oder um  $800 \cdot 360 = 288000$  Grade gedreht, so legt das Bild des Punktes  $2 \cdot 288000 = 576000$  Grade, folglich in  $\frac{1}{576000}$  Sekunde nur 1 Grad zurück. Da aber das Bild eines elektrischen Lichtpunktes selbst bei dieser großen Geschwindigkeit eine Ausdehnung von nur  $\frac{1}{2}$  Grade zeigt, so ist die Dauer des elektrischen Lichtes etwa der 1152000ste Theil einer Sekunde; denn bei einer längeren Dauer müßte sein Spiegelbild eine größere Ausdehnung haben.

Diese Thatsache von der so außerordentlich kurzen Dauer des elektrischen Funkens hat zu interessanten Wahrnehmungen Veranlassung gegeben.

Wenn man ein Speichenrad rasch genug dreht, so kann man bei gewöhnlicher Beleuchtung die einzelnen Speichen nicht mehr erkennen; erleuchtet man dasselbe aber im Finstern durch einen einzelnen elektrischen Funken, so erkennt man die Speichen und es scheint zu ruhen, denn man sieht es nur kaum während des millionten Theiles einer Sekunde, also eben nur an einer einzelnen Stelle seines Weges.

Ebenso erkennt man bei einem scheinbar zusammenhängenden Wasserstrahle die einzelnen Tropfen, ferner auf einem schnell gedrehten Farbkreis die einzelnen Farben, man sieht eine schwingend tönende Saite in einem einzelnen Standpunkte ihrer Schwingung.



(Fig. 268.)

Um nun die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektrizität in einem Kupferdrahte zu bestimmen, nimmt man einen solchen (Fig. 268), welcher an 4 Stellen, o, a, x, c, Unterbrechungen mit etwa  $\frac{1}{10}$  Linien von einander abstehenden Kügelchen hat, wobei die Stellen a, x, c genau in einer geraden Linie liegen und die beiden Stücke ax und cx  $\frac{1}{4}$  englische Meilen lang sind. Bedürfte die Elektrizität, um von dem Erregungspunkte o aus die beiden langen Drahtstücke zu durchlaufen, gar keiner Zeit, so würden die drei Fünkchen in a, x, c stets gleichzeitig und in einer geraden Richtung erscheinen. Wenn man aber die drei Bilder von ihnen in einem Spiegel betrachtet, so zeigen sie bei nicht großer Drehungsgeschwindigkeit sich zwar noch als Punkte und in einer geraden Richtung; sowie aber der Spiegel 800 Drehungen in einer Sekunde macht, sind die drei Bilder nicht nur jedes auf etwa  $\frac{1}{2}$  Grad in die Länge gezogen, sondern das mittlere allein ist noch mit seinem Anfangspunkte vor- oder rückwärts verschoben, jenachdem der Spiegel gedreht wird, welches ein Zeichen davon ist, daß der mittlere Funke später erscheint, als die beiden anderen gleichzeitig auftretenden. Da diese Verschiebung erst bei 800 Umdrehungen des Spiegels in einer Sekunde stattfindet, so ist die Zeitdauer von dem Erscheinen eines äußeren bis zu dem des mittleren Funkens nur der 1152000ste Theil einer Sekunde oder die Elektrizität bedarf dieser Zeit, um den Weg von  $\frac{1}{4}$  engl. Meile zurückzulegen, wird also in 1 Sekunde  $1152000 \cdot \frac{1}{4} = 288000$  englische oder gegen 62000 geographische Meilen durchlaufen. (Nach Weber blos 59320 M.)

So ist nun die sehr schwierig scheinende Aufgabe gelöst und die beim Telegraphiren bewunderte Schnelligkeit der Fortpflanzung der elektrischen Erregung nachgewiesen. Sie ist nicht erklärlich, wenn in dem fortplanzenden Stoffe Verdichtungen und Verdünnungen entstehen sollten durch Bewegung der Molekel mit ihren Gleichgewichtspunkten, sondern nur, wenn wir Schwingungen um diese Punkte annehmen, welche bei zusammenhängenden Massen an einzelnen Stellen nicht erregt werden können, ohne zugleich oder fast zugleich in den anderen sich zu zeigen. Zur Erleichterung der Vorstellung von dem augenblicklichen Fortschreiten einer Bewegung, wenn auch nicht zur Erklärung unseres

Vorganges, kann das Spielzeug dienen, durch welches man zwei Reihen etwa von Soldaten gleichzeitig in Bewegung setzt, wenn dieselben an den Enden zweier einander scheerenförmig kreuzender Reihen paralleler und um ihre Befestigungspunkte drehbarer Stäbchen angebracht sind. Bewegt man die ersten beiden Stäbchen, so gerathen auch alle übrigen sofort in Bewegung. Wenn also beim Telegraphiren die ersten Molekel des zusammenhängenden Drahtes in eine gewisse schwingende Bewegung versetzt werden, so gerathen fast gleichzeitig auch alle folgenden in dieselbe Bewegung, wobei aber keine Stelle des Drahtes eine Verdichtung oder Verdünnung erleidet.

Wenn die Geschwindigkeit der Elektrizität im Kupfer bei 0 Grad Wärme mit 100 bezeichnet wird, so ist sie für Silber 136,2, Gold 79,8, Zinn 30,8, Eisen 17,7, Platin 14,2, Quecksilber 2,58. Geringe Verschiedenheiten in den Stoffen verändern die Leitungsfähigkeit oder die Geschwindigkeit der Fortpflanzung oft sehr; 16 karätiges Gold leitet 16 mal schlechter, als reines Gold. Die Metalle besitzen für die Wärme und die Elektrizität ziemlich dasselbe Leistungsvermögen.

Das Leistungsvermögen der tropfbaaren Flüssigkeiten ist dagegen gering, wenn nicht ihr Querschnitt sehr vergrößert wird; das größte besitzen die Säuren, ein schwaches die Auflösungen von Alkalien; der Erdboden leitet besser, als Wasser und wird daher beim Telegraphiren auch benutzt.

Die Zunahme der Wärme vermindert die Leitung fester und vermehrt die tropfbarer Körper.

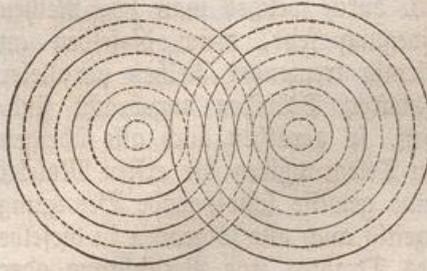
Von der Geschwindigkeit des Magnetismus kann nicht die Rede sein, da er, wie wir sehen werden, ein erzwungener Ruhezustand nach einer vorhergegangenen Bewegung ist.

#### Das Zusammenwirken von gleichartigen Schwingungen.

Wenn ein Massentheilchen durch zwei Kräfte gleichzeitig zu Schwingungen angeregt wird, so sind zwei Fälle denkbar:

- 1) die beiden Kräfte wirken miteinander und vergrößern die Schwingungskraft dieses Theilchens (Koinzidenz),
- 2) die beiden Kräfte wirken gegeneinander und vermindern oder heben die Schwingungskraft auf, das Theilchen geräth im letzten Falle in Ruhe (Interferenz).

Werden auf dem ruhigen Spiegel einer Flüssigkeit in zwei verschiedenen Punkten (Fig. 269) gleichzeitig Wellen von gleichen Abmessungen erregt, so stauen die von beiden Punkten kommenden Wellenberge einander an bestimmten Orten, so daß dort ein Berg von doppelter Höhe entsteht. Durch das Sinken desselben nach jeder der beiden Seiten des Fußes werden dort zwei Wellenberge erzeugt, die nun nach entgegengesetzten Richtungen fortgehen, so daß die beiden Wellensysteme



(Fig. 269.)

einander durchkreuzen und jedes selbstständig weiter geht. Dadurch geschieht es, daß es Stellen gibt, in denen nur Berg auf Berg und Thal auf Thal trifft (Koinzidenz) und andere, in denen die Thäler des einen Systems nur mit den Bergen des anderen zusammentreffen (Interferenz), so daß die Flüssigkeit dort stets im ursprünglichen Niveau bleibt. Jene liegen in zwei einander senkrecht schneidenden Graden, diese in krummen (hyperbolischen) Linien.

Bei den Seilwellen sind es die Knotenstellen, bei den Klangfiguren die Knotenlinien, in denen entgegengesetzte Schwingungen einander aufheben. Auf den freien Meeren sieht man häufig sehr zusammengesetzte Wellenbewegungen und wie auf einer großen Welle kleinere von verschiedener Höhe und Richtung spielen.

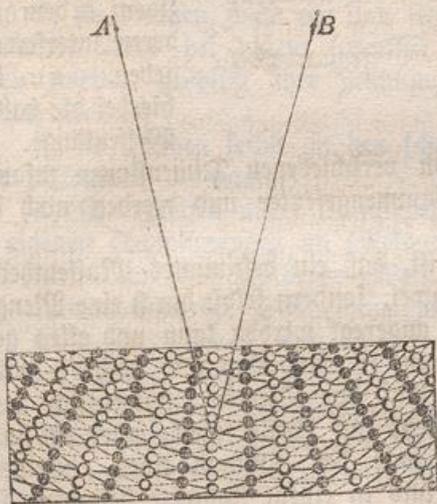
Da die Zinken einer angeschlagenen Stimmgabel gleichzeitig mit gleicher Stärke nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, so erzeugen sich auch zwei und zwar kugelförmige Tonwellensysteme, die mit einander entgegengesetzten Richtungen von den Zinkenenden als ihren Mittelpunkten in der Luft fortschreiten. Es ist daher nothwendig, daß an gewissen Stellen, wie bei den Kreiswellen das Wasser, so hier die Luft im Gleichgewichtszustande bleibt, also weder eine Verdichtung, noch eine Verdünnung erfährt und einen hörbaren Eindruck nicht verursachen kann; an anderen aber einerseits die größten Verdichtungen, andererseits die größten Verdünnungen aus beiden Systemen zusammentreffen. An jenen Stellen muß Stille, an diesen eine Verstärkung des Tones eintreten.

Dreht man daher eine angeschlagene Stimmgabel lothrecht vor dem einen Ohre einmal um ihren Stiel, so hört man den Ton viermal anschwellen und viermal schwach werden; ganz verschwindet er deshalb nicht, weil das Ohr wegen der Weite seiner Oeffnung auch an solchen Stellen sich befindet, in denen eine vollkommene Interferenz nicht vorhanden ist. Recht deutlich wird die Erscheinung, wenn man die Gabel vor der etwa 3 Linien weiten Oeffnung einer Glasröhre dreht, welche beim Anblasen den Ton der Gabel gibt. Wäre der Ton der Röhre tiefer, als der von der Gabel, so muß man in sie nach und nach so viel Wasser gießen, bis der richtige Ton erscheint.

Durch eine einfache Vorrichtung kann man es sogar sichtbar machen, daß entgegengesetzte Schwingungen einander aufheben. Hält man eine unten offene und oben mit einem zarten Häutchen bedeckte Röhre (von Holz oder Papier) über einen Theil einer Klangfigur von einer tönenden Scheibe, so wird der auf dem Häutchen befindliche trockene Sand lebhaft in die Höhe geworfen. Nimmt man eine Röhre, welche sich unten

in zwei gesonderte Kanäle spaltet und hält man diese Theile so über die klingende Scheibe, daß eine Knotenlinie grade mitten zwischen ihnen sich befindet; so bleibt der Sand in Ruhe, weil zwei benachbarte Theile der Klangfigur gleichzeitig entgegengesetzt und gleich stark schwingen, also auch in der Luft über sich entgegengesetzte Bewegungszustände von gleicher Stärke hervorbringen. Setzt man die beiden Röhrenzweige über zwei Stellen, zwischen denen eine andere schwingende Stelle liegt, so ist die Bewegung des Sandes lebhafter, als im ersten Falle, weil solche Stellen gleichzeitig nach derselben Richtung schwingen.

So wie Schall und Licht unter Umständen Stille gibt, so erhält man auch aus Licht und Licht unter Umständen Finsterniß, welches ein neuer sehr deutlicher Beweis davon ist, daß das Licht in Schwingungen mit wellenförmiger Fortpflanzung besteht. Weil die Lichtwellen sehr kurz sind, muß man sie, um die Erscheinung möglichst kenntlich zu machen,



(Fig. 270.)

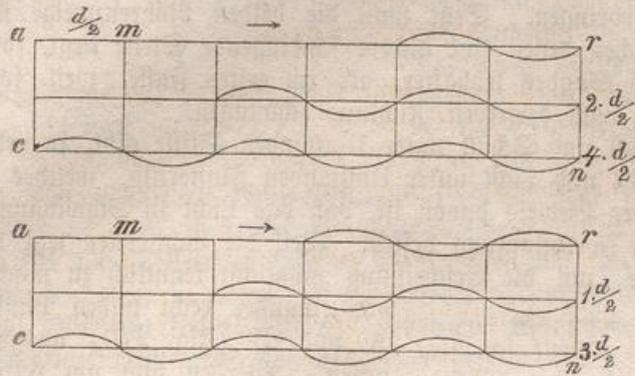
von einander recht nahen Punkten A und B (Fig. 270) ausgehen lassen. Werden nun um A und B mit gleichen Radien lauter Kugelflächen von solchen gleichen Abständen gedacht, daß immer zwischen je zwei benachbarten eine halbe Lichtwelle eingeschlossen ist, so geschehen die Aetherschwingungen solcher Nachbarstreifen nach entgegengesetzten Richtungen. In der Zeichnung ist der Vorgang in einer einzelnen Ebene angedeutet und in den voll und punktiert gezeichneten Kreisen sind die Grenzen der Schwingungen jenseits und diesseits der Gleichgewichtslage enthalten. An den Stellen, in welchen Berg mit Berg, so wie Thal mit Thal zusammentreffen, ist erhöhte Helligkeit; an denen, wo die Berge auf die Thäler fallen, ist der Aether in Ruhe und daher Finsterniß. Jene Stellen, welche durch die hellen Punkte angedeutet sind, sowie diese, durch die schwarzen dargestellten, liegen in zusammenhängenden Linien, die mit einander abwechseln. Auf einer weißen auffangenden Fläche erkennt man daher abwechselnd helle und dunkle Streifen.

Auch aus diesem Versuche läßt sich die Dicke der Lichtwellen bestimmen.

Daß auch die strahlende Wärme solchen Erscheinungen unterworfen ist, liegt nicht nur in ihrer Natur, sondern ist auch praktisch nachgewiesen.

In allen Fällen, in welchen von zwei verschiedenen Punkten aus Wellensysteme gleicher Art erregt werden und in welchen die Wellen des

einen Systems um ein grades (2, 4, 6 . . .) Vielfache einer halben Wellendimension gegen die des anderen zurückbleiben, entsteht Koinzidenz; bleiben sie aber um ein ungrades (1, 3, 5 . . .) Vielfache zurück, so entsteht Interferenz.



(Fig. 271.)

(Fig. 271) verdeutlicht den Vorgang, indem drei Wellenzüge von  $ac$  nach  $rn$  fortschreiten, und die beiden letzten mit dem ersten in dem einen Falle Koinzidenz, in dem anderen Interferenz geben.  $am$  ist hierbei die halbe Wellenlänge.

Wirken gleichartige Wellen von verschiedenen Dimensionen zusammen, so sind die Erscheinungen zusammengesetzter und werden noch in den einzelnen Abschnitten erwähnt.

So alltäglich die Erscheinung ist, daß ein bestimmtes Massentheilchen gleichzeitig nicht bloß durch zwei, sondern selbst durch eine Menge Kräfte zu schwingenden Bewegungen angeregt werden kann und allen gehorcht, wenn auch nicht einer einzelnen, so wunderbar sind doch die daraus sich ergebenden Erscheinungen. Auf den Meeren, namentlich auf dem freien Ozean, sehen wir wie Welle auf Welle spielt; aber es sind nur flüchtige Augenblicke, in denen wir den Zustand eines einzelnen Wassertheilchens sehen. Wenn wir uns in einem Konzerte befinden, so erkennen wir die Töne einer jeden einzelnen Gattung von Instrumenten und menschlichen Stimmen durch ihren ganz bestimmten Charakter selbst bei einerlei Höhe oder Schwingungszahl und Stärke oder Schwingungswerte und dennoch kann jedes einzelne Lufttheilchen in einer bestimmten Zeit nur einen Weg zurücklegen, aber derselbe muß offenbar ein sehr zusammengesetzter sein. Unser Gehörorgan hat also eine erstaunenswerthe Fähigkeit für die Auffassung so verwickelter Bewegungen. In einem nicht geringeren Grade ist dies bei den Lichtschwingungen der Fall, welche uns im weißen Lichte das Resultat der zu allen Farben gehörigen Schwingungen geben.

## Zweiter Abschnitt.

### Zurückwerfung von Schwingungen.

#### Allgemeine Erscheinungen.

Wenn Schwingungen in dem Stoffe eines Körpers sich fortpflanzen und sie treffen auf einen Stoff derselben Art von anderer Dichtigkeit oder auf einen anderen Stoff, so treten verschiedene Veränderungen in ihrer Richtung und Geschwindigkeit ein, die entweder einzeln oder gemeinschaftlich auftreten:

1) sie dringen in den neuen Stoff nicht ein, sondern werden zurückgeworfen;

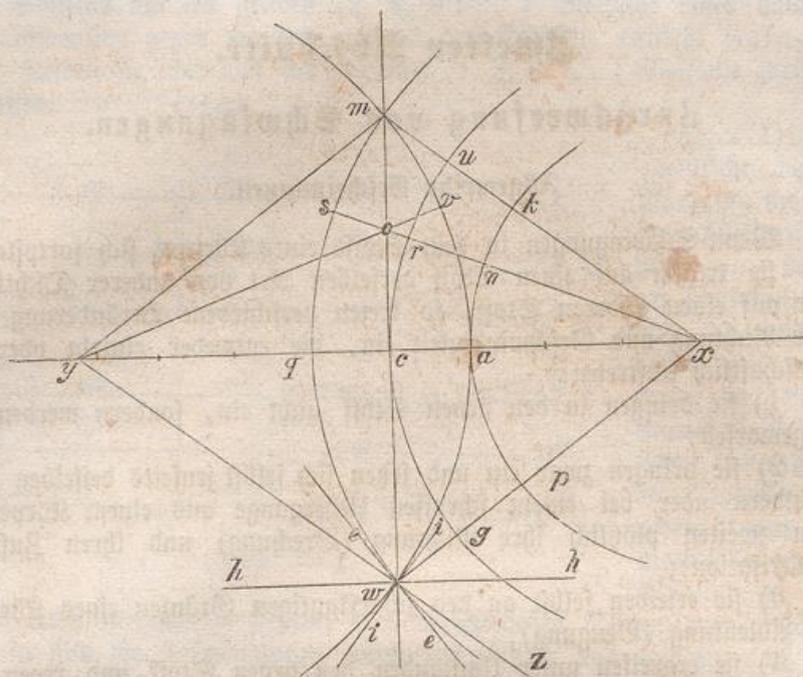
2) sie dringen zwar ein und setzen sich selbst jenseits desselben fort, verändern aber bei einem scharffen Uebergange aus einem Körper in einen zweiten plötzlich ihre Richtung (Brechung) und ihren Zustand (Polarisation);

3) sie erleiden selbst an den scharfkantigen Gränzen eines Körpers eine Ablenkung (Beugung);

4) sie ergreifen unter Umständen den neuen Stoff und regen ihn zu eigenen Schwingungen an (Resonanz); diese Uebertragung kann ohne und mit einem Zwischenkörper (Wirkung auf die Entfernung), ohne und mit Umwandlung der Schwingungsart geschehen.

Eine Zurückwerfung ist bei allen Gattungen von Schwingungen und den dadurch entstehenden Wellen zu erkennen. Erregt man an dem Ende eines angebundenen schlaffen Seiles eine Welle, etwa durch einen hinreichend kräftigen Schlag mit einem Stabe, so pflanzt dieselbe sich nicht nur nach dem festgebundenen Ende fort, sondern kehrt von da aus wieder zurück.

Ist in einer tropfbaren Flüssigkeit eine Wand  $mw$  (Fig. 272) lothrecht auf dem Spiegel der Flüssigkeit gestellt und man erregt vor ihr in  $x$  Kreiswellen, so pflanzen dieselben sich auch nach ihr hin fort. Liegen die drei Kreisbogen  $kap$ ,  $ueg$  und  $mqw$  in den Gränzen zweier Wellen, so sind die Zeiten des Fortschreitens der Wellenbewegung ohne vorhandene Wand in den Zwischenräumen  $ac$ ,  $cq$ ,  $nr$ ,  $rs$ ,  $ku$  und  $um$  einander gleich und die Zeit, in welcher die Welle von  $kap$  nach  $ueg$  fortschreitet, ist auch die Zeit, in welcher sie von  $ueg$  bis  $mqw$  geht. Ist aber die Wand vorhanden, ist von den Wellenstrahlen  $xc$ ,  $xr$ ,  $xu$  der Strahl  $xc$  auf ihr lothrecht und  $xc$  um sich selbst bis  $y$  verlängert, so daß  $cx = cy$  ist; so gelangt in seinem Endpunkte  $c$  die Flüssigkeit zuerst an die Wand, in den Endpunkten der anderen Strahlen um so später, je weiter sie von ihm abliegen, also in  $u$  später, als in  $r$ . Da jedes Flüssigkeitstheilchen in der durch den Wellenradius auf



(Fig. 272.)

das Niveau lothrecht gelegten Ebene schwingt, so ist ihr Stoß auf die Ebene  $mw$  bei  $c$  ein lothrecht, in allen übrigen aber ein schiefer; denn  $r$  kommt bei  $o$  unter dem Winkel  $xoc$  und  $u$  bei  $m$  unter dem Winkel  $xmc$  an, also wird  $c$  allein lothrecht und die anderen aber unter demselben Winkel, unter welchem sie ankamen, zurückgeworfen. Bei dieser Zurückwerfung, welche bei dem Wellenberge eine Stauung an der Wand hervorbringt, geht die Wellenbewegung von  $c$  aus, statt vorwärts bis  $q$  zu gehen, in derselben Zeit durch einen eben so großen Weg bis  $a$  rückwärts;  $r$  geht in der Richtung  $rs$  zuerst bis  $o$  an die Wand und von da den Weg  $ov$ , welcher gleich  $os$  ist, zurück, so daß sein ganzer Weg  $ov + or$  in derselben Zeit so groß wie der des  $c$  ist ( $xs = yv$ ,  $xo = yo$ , also  $os = ov$  und  $so + or = ov + or = ca$ ;  $u$  geht in dieser Zeit bloß bis  $m$  an die Wand und ist dann von  $y$  ebensoweit entfernt, als von  $x$ .

Die Betrachtungen, welche von  $r$  galten, finden für alle Punkte zwischen  $c$  und  $u$  und gleichmäßig zwischen  $c$  und  $g$  statt; d. h.: sowie  $r$  nach seiner Zurückwerfung von der Wand in der Zeit des Fortschreitens einer Welle rückwärts in einem Punkte  $v$  angelangt ist, welcher von einem Punkte  $y$  jenseits der Wand ebensoweit entfernt ist, wie  $x$  diesseits, so gilt dieses von allen Punkten der ankommenden Welle nach ihrer Zurückwerfung.

Daraus ergibt sich als Gesetz:

eine Kreiswelle wird von einer festen Wand so zurückgeworfen, daß der Mittelpunkt der zurückgeworfenen Welle ebensoweit jenseits der Wand liegt, als der Erregungspunkt diesseits.

Denken wir uns bei  $w$  ein außerordentlich kleines Wellstück der ankommenden Welle, dessen Lage durch  $ee$  angegeben sein mag, und als grade Linie angesehen werden kann; so steht es auf dem Wellenradius  $xw$  lothrecht. Dasselbe ist der Fall mit einem dort befindlichen solchen Stücke der zurückgeworfenen Welle, dessen Lage  $ii$  angibt und wozu  $yw$  der Radius ist. Da nun die Strahlen  $xw$  und  $yw$  gegen die Wand dieselbe Lage haben, so besitzen auch die auf ihnen lothrechten Wellenstücke  $ee$  und  $ii$  sowohl gegen sie, als auch gegen das auf ihr in  $w$  gedachte Loth  $hh$  einerlei Lage; d. h. eine Welle wird von einer Wand unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter welchem sie ankommt oder der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel ( $xwh = h wz$ ).

Die angeführten Gesetze gelten in aller Strenge auch von den kugelförmigen Wellen, es mögen nun Schallwellen oder Lichtwellen sein und sind in ihrer Anwendung außerordentlich fruchtbar.

Um in allen Fällen die rückwärts gehende Bahn der Schwingungen zu finden, braucht man nur den Winkel, welchen der Wellenstrahl  $xw$  der ankommenden Welle mit dem Lothe  $wh$  auf der getroffenen Stelle  $w$  bildet, also den Winkel  $xwh$  oder den Einfallswinkel, in derselben Ebene auf die entgegengesetzte Seite des Lothes übertragen, so daß Winkel  $zwh = xwh$  ist und  $wz$  ist dann der zurückgeworfene Wellenstrahl.

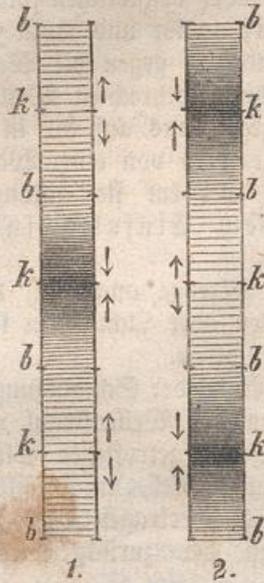
Selbst die elektrischen Schwingungen, welche freilich Wellen in der früher angeführten Bedeutung nicht geben, werden in einem Leitungsdrahte, welcher auf ein Hinderniß durch einen anderen Stoff trifft, zurückgeworfen, was man wohl Polarisation genannt hat.

Wichtig sind zunächst die durch Zurückwerfung gebildeten stehenden Wellen, bei welchen die Knoten und Bäuche eine unveränderte Lage haben, während sie bei den fortschreitenden sich von dem Mittelpunkte der Erregung mehr und mehr entfernen.

Erregt man in der Mitte eines kreisrunden Gefäßes mit einer Flüssigkeit durch rechtzeitiges wiederholtes Einsenken einer Kugel Kreiswellen, deren Breite in dem Radius des Gefäßes genau enthalten ist; so treffen die von der Wand ringsum zurückgeworfenen Wellen mit den ankommenden so zusammen, daß in bestimmten Kreisen die Flüssigkeit das Niveau nicht verläßt (Knoten), daß zwischen zwei benachbarten Kreisen abwechselnd Berg und Thal entsteht und daß zu beiden Seiten eines jeden Berg und Thal mit einander abwechseln. Dieses sind also stehende Kreiswellen.

Stehende Kugelmwellen würden sich in einem hohlkugelförmigen Raume bilden, wenn man in dessen Mittelpunkte anhaltende Tonwellen erregte. Wenn man sich in diesem Raume eine an beiden Enden offene Röhre, deren Stoff gleichgiltig ist, in der Richtung eines Strahles denkt, so befinden sich in ihr auch stehende Wellen.

Man erhält Theile solcher stehenden Kugelmwellen auch, wenn man die Luft in einer an beiden Enden offenen Pfeife (Fig. 273) zum Tönen bringt.



(Fig. 273.)

Ist sie von Glas und erfüllt man ihre Luft mit Tabakrauch, so kann man die Schwingungen der Luft beobachten. Je nach der Höhe des Tones ist die Anzahl der Knotenstellen, die hier mit  $x$  bezeichnet sind, verschieden. Während in der ersten Pfeife in der Mitte die größte Verdichtung ist, befinden sich zu beiden Seiten in der Entfernung zweier Theile bei  $k$  u.  $k$  die größten Verdünnungen; die zweite Pfeife zeigt den Vorgang während der zweiten Hälfte der Schwingungszeit: hier ist in der Mitte die größte Verdünnung und zu beiden Seiten sind die Verdichtungen an den früheren Stellen der Verdünnungen. Die mit  $b$  bezeichneten Stellen der Bäuche erleiden weder Verdichtungen noch Verdünnungen, wohl aber ist dort die größte Schwingungsweite.

In dem gezeichneten Falle enthält die Pfeife  $1\frac{1}{2}$  Tonwellen, denn von den beiden Enden bis zum nächsten Knoten ist  $\frac{1}{4}$  Welle und dazwischen sind noch 4 Viertel. An den offenen Enden können stets nur Bäuche sein. Die beigefegten Pfeile geben die abwechselnden Richtungen der schwingenden Luft an.

Läßt man an einem dünnen Faden einen kleinen mit einem ganz zarten Häutchen überspannten Rahmen in die Pfeife und hat man das Häutchen mit feinem trockenem Sande bestreut, so ist dieser an den Stellen der Bäuche in der lebhaftesten Bewegung, an denen der Knoten ziemlich in Ruhe.

Wenn ein Körper leuchtet, so ist der Lichtäther in ihm in stehenden Schwingungen und ebenso scheinen im elektrischen Blitze stehende Schwingungen stattzufinden. Wird die Dauer des elektrischen Funkens zu  $\frac{1}{1162000}$  einer Sekunde und die mittlere Schwingungszahl des Lichtes zu 600 Billionen angenommen, so ist das Erscheinen des elektrischen Funkens an seiner punktartig beschränkten Stelle immer noch mit fast 521 Millionen Schwingungen verknüpft.

Wenn der Weltäther durch seine Schwingungen uns die Gestirne, ein angezündetes Licht u. a. sichtbar macht, so sind seine Schwingungen in ihm fortschreitende; stehende aber sind sie, wenn er selbst leuchtet, wie z. B. beim heftigen und schnellen Zusammendrücken von Körpern (des luftfreien Wassers, der Luft beim pneumatischen Feuerzeuge); beim Zerplatzen luftgefüllter kleiner Glaskugeln im luftverdünnten Raume; beim Zerspringen von hohlen und dünnen Glaskugeln von 2—3 Linien Durchmesser mit recht verdünnter Luft (man macht sie im Kohlenfeuer glühend und schmelzt sie schnell zu), wenn man sie auf den Boden fallen läßt; beim Abschließen der ersten Schüsse aus Windbüchsen; beim Eindringen der äußeren Luft in einen mit einer thierischen Blase überspannten Glaszylinder, wenn durch das Verdünnen der Luft in ihm die Blase gesprengt wird; beim Zerspalten von Zucker, von Krystallen, beim Zerspringen der sogen. Glasthränen. — In allen diesen Fällen setzt die plötzliche Bewegung eines massigen Stoffes den Weltäther in leuchtende Schwingungen.

So wie die tönenden und stehenden Luftschwingungen in einer Pfeife durch die fortschreitenden in der äußeren Luft uns hörbar werden, ebenso werden diese stehenden Aetherschwingungen innerhalb eines Körpers uns durch die fortschreitenden in dem außerhalb befindlichen Aether sichtbar.

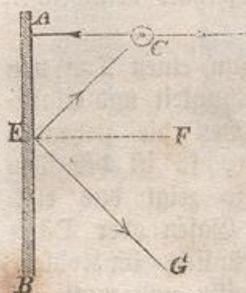
Eine Pfeife von bestimmter Länge gibt nur dann einen Ton von ganz bestimmter Höhe, wenn die Luft darin ihre Dichtigkeit und Elastizität nicht ändert. Bilden aber verschiedene Luftarten die stehenden Schwingungen oder wird die bestimmte Luft erwärmt, so ist der Ton ein anderer (wird durch Erwärmung höher). Ebenso zeigt das elektrische Licht verschiedene Farbentöne in verschiedenen Gasen oder Dämpfen: es ist z. B. im Alkohol- oder Aetherdampfe grünlich, im Kohlenensäuregase lebhaft grünlichblau, im Wasserstoffe karmoisin und matt, im Stickstoffe purpurroth, in Salzsäure fast weiß. Wie aber die Verschiedenheit der Tonhöhe von der Beschaffenheit der schwingenden irdischen Körper abhängig ist, so ist der Farbenton des Lichtes von der durch die irdischen Körper bedingten Beschaffenheit des in ihnen vorhandenen Weltäthers abhängig. In beiden Fällen erleiden die Schwingungszahlen, also auch die Wellendicken Abänderungen, in jenem durch die irdischen Körper, in diesem durch den Weltäther.

So wie die stehenden Luftschwingungen einer tönenden Pfeife außerhalb derselben zu fortschreitenden werden, so erzeugen die stehenden Aetherschwingungen des elektrischen Funkens auch fortschreitende, durch welche in jenem Falle der Ton hörbar, in diesem der Funke sichtbar wird. Ebenso in anderen Fällen. Sehen wir z. B. eine glühende Eisenstange, so werden die stehenden Schwingungen in ihr durch die fortschreitenden außerhalb ihr für uns wahrnehmbar gemacht.

Erscheinungen, welche durch die Form der zurückwerfenden Körper bedingt sind.

Je mehr die an den Grenzen eines Körpers vorhandenen Theilchen in einer Fläche liegen, desto glatter ist der Körper; vollkommen glatte Oberflächen nennt man Spiegel. Steht reines Quecksilber in einem Gefäße ruhig, so bildet seine Oberfläche, wenigstens gegen die Mitte in einem größeren Gefäße, einen ebenen Spiegel, in einer engeren Röhre aber einen halbkugelförmigen; ähnlich ist es bei anderen Flüssigkeiten. Schöne Krystalle haben ebene spiegelnde Flächen; die Thautropfen aber Kugelflächen. Dreht man eine halbe Ellipse (Vd. I. S. 14) um ihre große Ase  $mn$  bis in ihre ursprüngliche Lage, so entsteht eine elliptisch gekrümmte Fläche. Schneidet man einen Kegel in der Richtung einer Seitenlinie mit einer Ebene, so heißt die Schnittfläche eine Parabel (Vd. I., S. 344); wird dieselbe nun um ihre Mittelnie oder Ase gedreht, so beschreibt die krumme Linie eine gekrümmte Fläche, welche man als innere Spiegelfläche eine Reverbere nennt.

1) Erscheinungen durch ebene Flächen und Spiegel.



(Fig. 274.)

Ist  $AB$  (Fig. 274) der Durchschnitt einer ebenen Wand und erregt man in  $C$  Schallwellen, so wird deren senkrecht auffallender Theil  $CA$  in sich selbst zurückgeworfen; der schiefe Schallstrahl  $CE$  mit dem Einfallswinkel  $CEI$  geht unter dem gleichen Ausfallswinkel  $FEG$  von  $E$  nach  $G$  und ein dort befindlicher Beobachter glaubt, außer dem von  $C$  aus unmittelbar zu ihm gelangenden Schalle noch einen von  $E$  kommenden Schall zu vernehmen, gleichwie man von  $C$  aus den von  $A$  zurückgeworfenen Schall auch hört, wenn nur die Entfernung der Wand so groß ist, daß eine zur Wahrnehmung nothwendige Zwischenzeit verfließt. — Nehmen wir an, daß man in 1 Sekunde 8 in gleichen Zelteln hervorgebrachte Töne oder Schalle überhaupt als einzelne selbstständige wahrnehmen kann und daß der Schall in 1 Sekunde den Weg von  $32 \cdot 32$  Fuß zurücklegt; so hat er in  $\frac{1}{8}$  Sekunde  $4 \cdot 32$  Fuß durchlaufen. Wenn man also den in  $C$  während  $\frac{1}{8}$  Sekunde hervorgebrachten Laut von  $A$  aus als einen selbstständigen hören will, so muß die Wand  $2 \cdot 32 = 64$  Fuß entfernt sein, damit der Hinweg  $CA$  und Rückweg  $AC$  zusammen  $4 \cdot 32$  Fuß betragen.

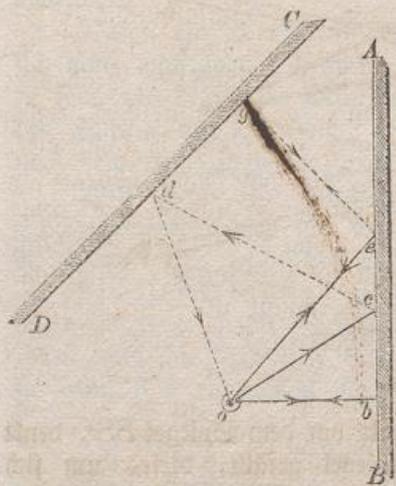
Ist die zurückwerfende Wand weniger weit als 64 Fuß von  $C$  entfernt, wie es z. B. in Zimmern der Fall ist, so fallen die beiden Schalle, der hervorgebrachte und der zurückgeworfene, fast zusammen und

der erste wird nur verstärkt, was man Nachhall nennt; den selbstständig wahrnehmbaren zurückgeworfenen Schall aber nennt man Echo.

In G würde man ein Echo des Schalles in C hören, wenn der Weg  $CE + EG$  um 4. 32 Fuß größer wäre, als der grade Weg  $CG$ . — Bringt man in C hintereinander mehre Laute oder Silben, jede in  $\frac{1}{8}$  Sek. hervor, so erscheint immer nur das Echo der letzten Silbe selbstständig, während die anderen zusammenfallen; soll also ein 2, 3, 4... silbiges Echo entstehen, so muß die Wand 2, 3, 4...mal 64 Fuß von C entfernt sein.

Stehen zwei lothrechte Wände in hinreichender Entfernung einander parallel gegenüber, und erregt man in deren Mitte einen Schall, so hört man von beiden Wänden gleichzeitig, also ein verstärktes Echo; dieses tritt aber in diesem Falle wieder als ursprünglicher Schall auf, indem die Wellen von der einen Wand nach der anderen gehen und man hört somit ein vielfaches immer schwächer werdendes Echo, welches einen klagenden Charakter hat, indem selbst jedes einzelne gewissermaßen hinstirbt. — Bringt man den Schall nicht in der Mitte beider Wände hervor, so können schon die beiden ersten Echos der Zeit nach so weit aus einander liegen, daß sie selbstständig erscheinen und werden durch ihre Wiederholung eine große Vervielfältigung erzeugen. Ein hübsches Echo der Art ist u. a. zwischen den beiden hohen Mauern an dem sogen. großen Ueberfalle der Warthe in der Festung Posen.

Auch im Wasser hört man ein Echo durch die zurückwerfenden Ufer, was im Genfer See ermittelt worden ist.

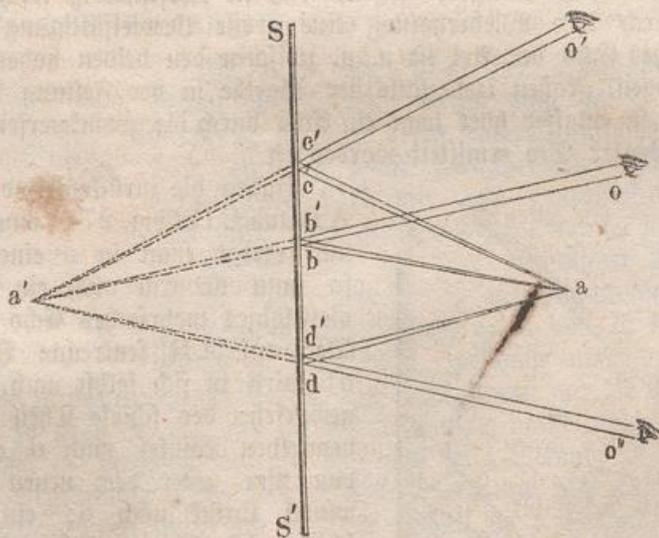


(Fig. 275.)

Wirden die zurückwerfenden Wände AB und CD (Fig. 275) einen Winkel und erregt man in o einen Schall, so kann dadurch auch ein ein- oder vielsilbiges mehrfaches Echo entstehen. Der auf AB senkrechte Wellentheil ob wird in sich selbst nach o zurückgeworfen; der schiefe Theil oe unter demselben Winkel nach d auf CD, von hier unter dem neuen Einfallswinkel zurück nach o; ein anderer schiefer Strahl oe geht von e aus lothrecht nach CD, wird von g aus in sich selbst zurückgeworfen und geht daher von e aus auch wieder nach o zurück. Man hört also in o bei gehöriger Differenz der Wege der drei zurückgeworfenen Wellentheile drei selbstständige Echos. Da aber von o aus auch nach der Wand CD unmittelbare Wellen gelangen und auch diese theils von CD allein, theils von CD und AB nach o

zurückgeworfen werden, so kann das Echo in o ein vielfaches sein. — Weil die Schallwellen selbst für hohe Töne eine ziemlich bedeutende Dicke haben, sind glatte Flächen für die Erzeugung eines Echos nicht unbedingt nothwendig: nicht nur raue Mauern und Felsen, sondern auch dichtes Strauchwerk, die Baumstämme an der Gränze eines Waldes, die Wolken und selbst eine ruhende Luftschicht eines langen Ganges sind geeignet, ein Echo zu erzeugen. Der gewaltige und die Erde in weitem Umkreise erschütternde Donner ist eine Echoerscheinung des mit der Gewitterentladung verbundenen einfachen Knalles: die dichteren und näheren Wolken werfen den Schall stärker und schneller zurück, als die lockeren und entfernteren und wegen der so vielgestaltigen Gruppierung derselben ist dieses Echo auch sehr zusammengesetzt, wobei später ankommende Echos oft stärker sind, als die früheren. So entsteht das Rollen des Donners.

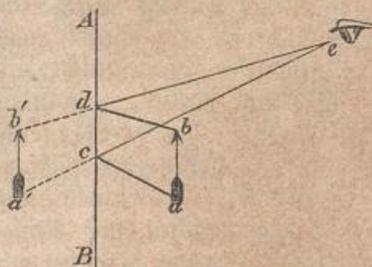
Sollen zurückgeworfene Lichtwellen einen lebhafteren Eindruck auf unser Auge hervorbringen, so müssen bei der geringen Dicke der Lichtwellen die Flächen möglichst vollkommene Spiegel sein und man braucht ein dicht zusammenliegendes Strahlenbündel.



(Fig. 276.)

Ist a (Fig. 276) ein leuchtender Punkt vor dem Spiegel SS', denkt man sich von ihm das Loth auf den Spiegel gefällt, dieses um sich selbst verlängert, so ist sein Endpunkt a' als der Mittelpunkt der zurückgeworfenen Wellen anzusehen. Wenn nun von a aus einzelne Strahlenbündel, wie acc', abb', add', auf den Spiegel gehen, so werden die Strahlen von jedem unter demselben Winkel zurückgeworfen und divergiren dabei so, daß sie alle, rückwärts verlängert, in a' einander treffen.

Jedes in der Richtung dieser drei und anderer zurückgeworfener Strahlenbündel befindliche Auge  $o$ ,  $o'$ ,  $o''$  versetzt den Gegenstand  $a$  nach  $a'$  hin, oder sieht ihn in der Richtung, in welcher das Auge von den Strahlen getroffen wird.



(Fig. 277.)

Ist nun vor einem ebenen Spiegel AB (Fig. 277) ein Gegenstand  $ab$  von größerer Ausdehnung, so findet man die Lage seines Spiegelbildes, wenn man von seinen äußersten Punkten  $a$  und  $b$  auf den Spiegel die beiden Lothrechten fällt und jede um sich selbst verlängert, wodurch man als Endpunkte  $a'$  und  $b'$ , also als Bild  $a'b'$  bekommt. Gehen von  $a$  und  $b$  nach dem Spiegel zwei schiefe Strahlen  $ac$  und  $bd$ , so werden die zurückgeworfenen Strahlen bei ihrer Verlängerung einander in  $e$  treffen und ein dort befindliches Auge sieht das Bild von  $a$  in der Richtung  $ec$ , das von  $b$  in der Richtung  $ed$ .

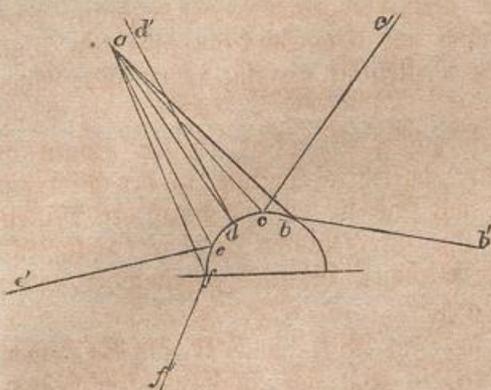
Das Spiegelbild zeigt die rechte Seite des Gegenstandes links und die linke Seite rechts, übrigens aber in derselben Lage gegen den Spiegel; neigt man daher einen Spiegel gegen den Horizont unter einem halben rechten Winkel, so erscheint ein liegender Gegenstand als Bild stehend und ein stehender liegend; ist der Spiegel horizontal (Wasserspiegel), so erscheint ein senkrechter Gegenstand, z. B. ein Baum, Haus umgekehrt.

Damit ein Mensch in einem mit ihm parallel stehenden Spiegel sich ganz wahrnehme, braucht der Spiegel nur halb so hoch und breit zu sein, als er selbst. Man kann einen Punkt eines Gegenstandes durch den Spiegel nur dann noch sehen, wenn die vom Bilde des Punktes nach dem Auge gezogene gerade Linie die Spiegelfläche noch trifft.

Will man also durch einen am Fenster außerhalb angebrachten Spiegel die Personen auf der Straße sehen, so muß der Spiegel gegen die Straße und gegen den Beschauer eine dem gemäße Neigung haben.

**Lichtzerstreuung.** Je vollkommener ein Spiegel ist, desto weniger wird er selbst gesehen. Hat er Unebenheiten, so werden von ihnen aus die Strahlen nach sehr verschiedenen Seiten geworfen und sie selbst sind daher von vielen Seiten sichtbar. Man sagt dann: das Licht wird zerstreut.

Fig. 278 mag den Vorgang mittelst einer allerdings sehr auffällig gezeichneten Unebenheit verdeutlichen. Ist  $a$  der leuchtende Punkt, fallen in  $f$ ,  $e$ ,  $d$ ,  $c$ ,  $b$  Strahlen von ihm auf, so werden sie, jeder unter seinem Einfallswinkel zurückgeworfen und zwar nach  $f'$ ,  $e'$ ,  $d'$ ,  $c'$ ,  $b'$ , so daß ein Auge in allen diesen Richtungen das Licht von dem Punkte  $a$  sieht.

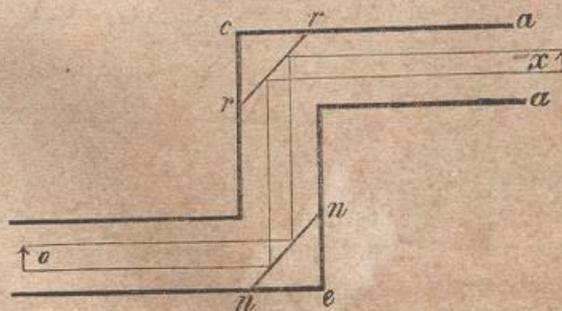


(Fig. 278.)

den, desto mehr geht von dem unmittelbaren Sonnenlichte durch Zerstreuung verloren. Je klarer die Luft ist, desto geringer ist zwar die Tageshelle, desto größer aber die direkte Beleuchtung eines Gegenstandes.

Je weniger ein Körper Licht zurückwirft, desto weniger ist er unsichtbar; gäbe es Körper, welche gar kein Licht zurückwürfen, so wären sie als absolut schwarze uns unsichtbar; aber selbst einer der schwärzesten, nämlich der Kleinruß, wirft noch viele Lichtstrahlen zurück. — Die Planeten, ihre Monde, die Kometen sind für uns nur durch das von ihnen zu uns zurückgeworfene Sonnenlicht sichtbar. Das Mondlicht ist gewissermaßen ein Echo des Sonnenlichtes.

Parallel einander gegenüber gestellte Spiegel würden einen leuchtenden Punkt unendlich oft zeigen, wenn die Unvollkommenheit selbst der besten Spiegel die Bilder nicht bald undeutlicher machte.



(Fig. 279.)

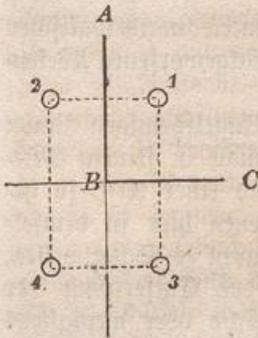
man von *o* aus einen entfernten Gegenstand vor *x* in seiner richtigen Lage, denn durch den Spiegel *rr* wird der stehende Gegenstand als Bild liegend und dieses liegende Bild wird durch *nn* wieder stehend gemacht. Man hat dieses Instrument *Polemoskop* genannt, weil man

Nur durch diese unregelmäßige Zurückwerfung sind uns die Körper, welche nicht selbst leuchten, sichtbar; ohne sie würden uns selbst am Tage alle die Körper, auf welche die Sonne nicht unmittelbar scheint, unsichtbar sein. Die Tageshelle selbst rührt von der unregelmäßigen Zerstreuung des Lichtes durch die Lufttheilchen der Atmosphäre her und je näher wir uns der Erdoberfläche befinden,

Hat man eine doppelt gebogene Röhre *aceo* (Fig. 279), deren Mittelglied auf den beiden anderen lothrecht steht und befinden sich in den beiden Knieen zwei parallele, einander zugewendete Spiegel *rr* und *nn* unter einer Neigung von  $45^\circ$  gegen die Röhrentheile; so sieht

im Kriege hinter einem Walle u. dergl. ungefährdet sehen kann, was vor dem Walle vorgeht, indem man nur das Stück *ca* über den Wall hält. Für diesen Zweck wird das Mittelstück *ce* eine angemessene Länge haben müssen.

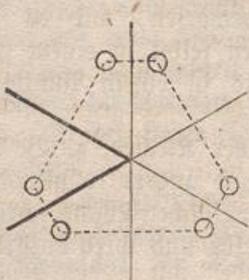
Sind auf einem halbkreisförmigen Brettchen, dessen Bogen in Grade eingetheilt ist, zwei einander zugetehrte Spiegel in der Richtung zweier Radien lothrecht aufgestellt und sind sie um die durch den Mittelpunkt lothrecht gehende Linie als eine ihrer Kanten drehbar (wenigstens der eine); so kann man sie unter beliebigen Winkeln zu einander stellen und man hat einen Winkelspiegel.



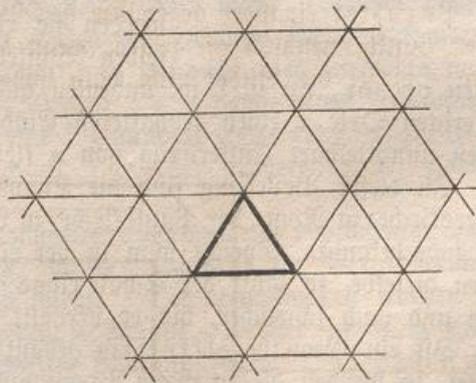
(Fig. 280.)

Bilden sie (Fig. 280) wie *AB* und *BC* einen rechten Winkel, so zeigt sich ein dazwischen befindlicher Gegenstand 1 durch den Spiegel *AB* als Bild in 2 und durch *BC* als Bild in 3; aber das Bild 2 ist für *BC* ein Gegenstand und hat sein Bild in 4; ebenso ist das Bild des Bildes 3 durch den Spiegel *BA* in 4. Ein außerhalb zwischen den Spiegeln befindliches Auge sieht also einen Gegenstand 4 mal.

Wäre der Winkel 60 Grade (Fig. 281), so erschiene der Gegenstand sechsmal in paarweise oder in überhaupt gleichen Abständen, je nach der Lage des Gegenstandes gegen die beiden Spiegel.



(Fig. 281.)



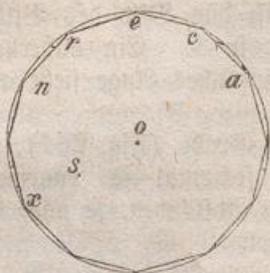
(Fig. 282.)

Bringt man drei Spiegel, welche die Form von übereinstimmenden Oblongen haben, mit ihren langen Seitenkanten zu einem offenen Prisma aneinander (Fig. 282), so erscheint das Gesichtsfeld beim Hineinsehen von dem einen Ende aus in lauter gleichseitige Dreiecke aufgelöst und ein Gegenstand an dem anderen Ende in gleicher Weise vervielfacht. — Schließt man solche Winkelspiegel in ein etwa 10 Zoll langes Rohr von 2 Zoll Durchmesser ein, läßt an dem einen Ende eine nur kleine

Deffnung zum Hineinsehen, schließt man das andere Ende mit zwei etwa  $\frac{1}{2}$  Zoll von einander entfernten Gläsern, von denen das äußere matt geschliffen ist, und bringt man in den Zwischenraum mancherlei bunte kleine Gegenstände; so gewährt dieses Kaleidoskop durch die Mannigfaltigkeit der Bildergruppen eine angenehme Unterhaltung. Bei der Drehung der Röhre kommen die Gegenstände in eine andere Lage und zeigen auch ein anderes Bild. Die Winkel können auch abgeändert werden.

## 2) Erscheinungen durch mathematisch gekrümmte Flächen.

Haben Flächen eine Krümmung nach bestimmten mathematischen Gesetzen, so ergeben sich auch für die von ihnen zurückgeworfenen Wellen aller Art bestimmte Regeln.



(Fig. 283.)

Hat man einen hohlkugelförmigen Raum (Fig. 283) und erregt man in seinem Mittelpunkte o Wellen irgend einer Art, so gelangen die zurückgeworfenen hier in demselben Augenblicke an. Waren es Schallwellen, so geben sie je nach der Entfernung der Kugeloberfläche ein starkes Echo oder wenigstens einen starken Nachhall.

Erregt man in der Nähe der Wand, z. B. in der Richtung ac die Wellen, so werden sie ringsum wiederholt unter demselben Winkel zurückgeworfen, wie es die

Linien ce, er, rn u. s. w. andeuten und erzeugen selbst in einem sehr entfernten Orte x einen lebhafteren Eindruck, als in einem Punkte s, dessen unmittelbare Entfernung von a kleiner ist.

In dieser Beziehung sind die Kuppeln mancher Kirchen, z. B. der Peterskirche zu Rom, der Paulskirche zu London und andere so gewölbte Gebäude bekannt. Spricht man in der Nähe einer solchen Wand schräge gegen dieselbe, so läuft der Schall rings um dieselbe und wird natürlich nach und nach schwächer, bis er verhallt ist.

Ist ein Gewölbe elliptisch gebaut oder ein Spiegel elliptisch gestaltet, so werden die in einem Brennpunkte erregten Schall-, Licht- oder Wärmewellen von der inneren Fläche so zurückgeworfen, daß sie gleichzeitig in dem anderen Brennpunkte ankommen und dort einen fast ungeschwächten Eindruck hervorbringen, während derselbe in allen anderen Punkten geringer ist. Die gleichzeitige Ankunft beruht in dem Wesen der Ellipse (Vd. I. S. 14).

Selbst wenn man zwei durch eine ziemliche Entfernung getrennte Stücke von solchen Spiegeln einander grade gegenüber hält, so daß die Mittelpunkte der Spiegel und die der Spiegelstücke in einer graden Linie

liegen, zeigt sich diese Erscheinung in ganz bestimmten Stellen vor den Spiegeln.

Für diesen Zweck sind parabolisch (Vd. I. S. 344) ausgehöhlte Spiegel besser, weil die von dem Brennpunkte des einen Spiegels ausgehenden Strahlen von ihm parallel nach dem anderen zurückgeworfen werden und sich im Brennpunkte dieses zweiten Spiegels wieder sammeln.

Parabolische Reverberieren sind für die Leuchtthürme wichtig, weil sie die zurückgeworfenen Lichtstrahlen parallel machen und somit auf große Entfernungen die Lichtstärke erhalten, so daß auf deren Abschwächung nur die Beschaffenheit der Atmosphäre Einfluß hat. Sie würden also auf ungeheure Strecken leuchten, wenn nicht die Luft und Dünste eine Zerstreung des Lichtes bewirkten.



(Fig. 284.)

Zur weiten Fortpflanzung des Schalles sind in dieser Beziehung die Sprachröhre wichtig (Fig. 284), denn spricht man in das am engeren Ende befindliche Mundstück, so werden die Schallwellen auf der inneren Kegelfläche so zurückgeworfen, daß ihre Strahlen bei dem Herausstritte so ziemlich parallel sind. Schon der Mund wirkt einigermaßen als Sprachrohr und noch mehr, wenn man die Hände rings um ihn legt; denn wenn man im Freien die Stimme des Sprechenden vor ihm auf etwa 100 Fuß vernimmt, so geschieht dies seitwärts nur auf 75 und nach hinten nur auf 30 Fuß. Die Länge eines Sprachrohres, welches die Stimme bis auf eine  $1\frac{1}{2}$  stündige Entfernung trägt, ist etwa zu 52, der kleine Durchmesser zu  $1\frac{1}{2}$ , der größere zu 13 Zollen zu nehmen.

Das Hörrohr ist ein umgekehrt verwendetes Sprachrohr von bedeutend kleineren Abmessungen, welches eigentlich zur Vergrößerung der Ohrmuschel für Schwerhörige dient. Die Schallwellen werden durch Zurückwerfung nach dem engeren Ausgange, welcher ins Ohr gehalten wird, verstärkt. — Das historisch bekannte sogen. Ohr des Tyrannen Dionysius war ein gewölbtes Gefängniß in den Steinbrüchen von Syrakus, dessen Wände die Wellen nach einer oberhalb befindlichen Oeffnung warfen, wo sie verstärkt ankamen, so daß man auch ein leises Gespräch im Gefängnisse durch die Oeffnung wohl vernehmen konnte.

Die Kommunikationsröhren sind zylindrische Röhren, welche dazu dienen, selbst auf sehr große Entfernungen zu sprechen oder einen Schall überhaupt zu vernehmen. Biot hörte durch eine fast 3000 Fuß (951 Meter) lange Röhre das Ticken einer Taschenuhr noch sehr deut-

lich. Es ist natürlich, daß die Fortpflanzung in graden Röhren am besten geschieht, daß rechte und spitze Winkel ganz vermieden werden müssen und daß bei Veränderung der Richtung eine möglichst allmähliche Biegung zu machen ist. Solche Kommunikationsröhren werden in Wohn- und Geschäftsräumen, auf Schiffen und anderwärts noch viel weniger angewendet, als es zur Bequemlichkeit und Zeiterparniß wünschenswert wäre.

Diese Wirkung der zylinderförmigen Röhren zeigt sich selbst im Großen. In dem Karnatidensaale des Louvre zu Paris ist die Decke zylinderförmig gewölbt, so daß die Aze mit der Längenausdehnung des Saales parallel geht. Wenn man in die eine der beiden Vasen, welche an den Enden stehen, spricht, so hört man den Schall gewissermaßen aus der zweiten kommen. Die Schallwellen gehen von der ersten Vase schräge aufwärts nach der Decke, werden dort bei der wiederholten Zurückwerfung zusammengehalten, und gehen am Ende wieder schräge abwärts nach der zweiten Vase. — In der Wasserleitung des Claudius soll man den Schall mehre italienische Meilen weit gehört haben. Auch Schächte, Brunnen, Schornsteine, Luftheizungskanäle pflanzen den Schall weit fort.

Die Wirksamkeit der Kommunikationsröhren hat man auch dazu benutzt, um Leute, welche nicht gewohnt sind, sehr nachzudenken, durch mancherlei Vorrichtungen, denen man u. a. die Namen: das unsichtbare Mädchen, der wahr sagende Türke, das akustische Orakel gab, arg zu täuschen. Von dem Munde einer Figur, welche in einem Zimmer scheinbar frei stand, ging durch ihr Inneres und den Fußboden, von da aus weiter unterhalb bis in ein benachbartes Gemach, welches nur durch eine ganz dünne Wand getrennt war, ein Kommunikationsrohr. Richtete man nun an die Figur eine Frage, so konnte von einer im Nebengemache befindlichen Person leicht eine passende Antwort mittelst des Rohres gegeben werden, weil sie ja die Frage gehört hatte. — Statt einer Figur läßt sich an der Decke eines kleinen Tempels eine Kugel mit einer trompetenartigen Oeffnung anbringen. Der Verbindungsschlauch ist dann in der etwas dicken Schnur zum Aufhängen der Kugel und geht von der Decke an versteckt weiter.

Soll ein Saal zu musikalischen und rhetorischen Aufführungen geeignet, also akustisch gebaut sein, so muß der Schall an dem Entstehungsorte möglichst zusammengehalten und von da aus theils unmittelbar, theils durch Zurückwerfung nach dem Zuhörerraume gelangen. Theoretisch betrachtet würde ein Sprechender am besten vernommen werden, wenn sein Mund im Brennpunkte eines parabolischen Gewölbes sich befände. Wenn diese Form nicht genommen wird, so ist es angemessen, an den Seitenwänden geneigte Flächen anzubringen, daß sie den ankommenden Schall weiter vorwärts, nicht aber zurückwerfen oder etwa, daß sich die Schallwellen durch wiederholte Zurückwerfung verfangen.

Wenn durch die Wände ein Nachhall erzeugt wird, so ist dieses, namentlich beim schnellen Sprechen, für die deutliche Wahrnehmung sehr nachtheilig und die Wände sind dann mit wenig elastischen Gegenständen zu bekleiden. Es wird sich in einem bestimmten Saale an der Stelle am vernehmlichsten sprechen lassen, an welcher der Sprechende seine Stimme selbst stärker zu hören glaubt; nur darf er dann nicht allzuschnell sprechen. — In einem leeren Zimmer klingt die Stimme wegen der gleichmäßigeren Zurückwerfung der Schallwellen stärker, als in einem mit vielerlei Sachen besetzten und bekleideten.

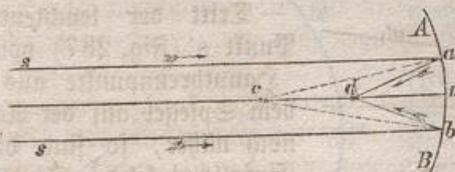
#### Lichtwellenzurückwerfung durch Kugelspiegel.

Für die Lichtwellen besonders sind die Kugelspiegel wichtig. Nachdem eine Kugelfläche auf der inneren oder auf der äußeren Seite polirt ist, hat man einen hohlen (konkaven) oder erhabenen (konvexen) Spiegel.

Es ist natürlich, daß man für Hohlspiegel nur einen von einem Kreise begränzten Abschnitt der Kugelfläche gebraucht. Wenn man den Mittelpunkt einer solchen Kugelkappe mit dem Mittelpunkte der dazu gehörigen Kugel verbindet, so heißt diese grade Linie die *Axe* des Spiegels.

Um die Lage und Größe der durch solche Spiegel erzeugten Bilder zu ermitteln, müssen wir zunächst die Lage des Bildes von einem einzelnen leuchtenden Punkte angeben, welcher entweder in der *Axe* liegt oder außerhalb ihr.

Kämen die Lichtstrahlen von einem unendlich entfernten in der *Axe* liegenden Punkte, so würden die auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel sein. Wegen der außerordentlich großen Entfernung der Sonne von uns, können wir die auf den verhältnißmäßig sehr engen Raum eines solchen Spiegels fallenden Strahlen, ohne einen bemerkenswerthen Fehler zu begehen, als parallel ansehen. Halten wir nun den



(Fig. 285.)

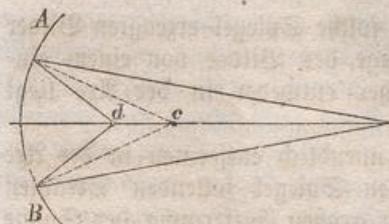
Spiegel (Fig. 285), von welchem AB den Durchschnitt bedeuten soll, der Sonne so gegenüber, daß die auffallenden Strahlen, z. B. sa und sb mit der *Axe* cm parallel gehen, und zeichnet man die Spiegelradien ea und eb nach den Einfallspunkten a und b, so sind sac und sbc die Einfallswinkel, weil die Radien ea und eb auf den getroffenen Stellen, zu denen man sich die Tangenten denken muß, lothrecht stehen. Werden nun diese Einfallswinkel auf die entgegengesetzten Seiten der Strahlen in derselben Ebene übergetragen, so erhält man die zurückgeworfenen Strahlen ad und bd, welche einander in dem Punkte d der *Axe* treffen.

Je näher die parallel auffallenden Strahlen der Axe liegen, desto genauer treffen die zurückgeworfenen einander in dem Punkte  $d$ , welcher der Halbierungspunkt des Strahles  $em$  ist. Kommen in dieser Weise Wärmestrahlen auf den Spiegel, also z. B. die mit den Lichtstrahlen der Sonne gleichzeitig ausgehenden Wärmestrahlen, so kann in  $d$  eine so bedeutende Hitze entstehen, daß ein daselbst befindlicher und leicht brennbarer Gegenstand anbrennt und daher heißt dieser Punkt  $d$  der Hauptbrennpunkt und seine Entfernung  $dm$  vom Spiegel die Brennweite und ein solcher Spiegel ein Brennspiegel.

Es wird erzählt, daß Archimedes feindliche römische Schiffe bei der Belagerung von Syrakus, 213 v. Chr., mittelst eines Brennspiegels angezündet habe. Dieser Spiegel wird wohl aus ganz kleinen ebenen Spiegeln zu einem großen mit kugelhähnlicher Form und großem Radius zusammengesetzt gewesen sein, weil man so große Kugelhohlspiegel zu schleifen nicht vermochte.

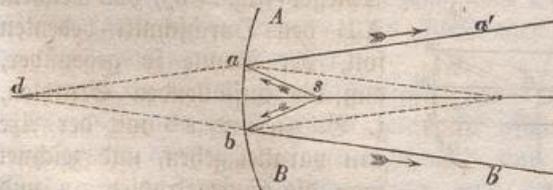
Wenn der leuchtende Punkt in  $d$  wäre, so würden die Strahlen nach der Zurückwerfung parallel sein und ein Bild des Punktes nicht geben können.

Rückt der leuchtende Punkt aus der unendlichen Entfernung auf der Axe dem Punkte  $d$  näher (Fig. 286), so fallen seine Strahlen divergent,



(Fig. 286.)

d. h. auseinandergehend, auf den Spiegel, bilden also mit den als Einfallsloten anzusehenden Strahlen kleinere Winkel als im vorigen Falle, so daß auch die Ausfallswinkel kleiner sind und das Bild des Punktes muß sich von dem Spiegel und dem Brennpunkte entfernen. Ist der leuchtende Punkt im Krümmungsmittelpunkte  $c$ , so ist auch sein Bild dort; sowie aber jener dem Spiegel noch näher kommt, entfernt sich dieser von  $c$ .



(Fig. 287.)

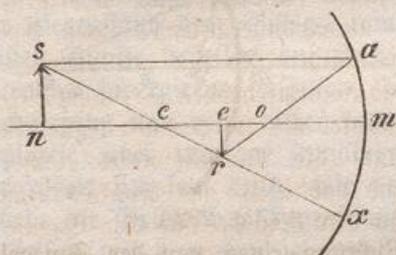
der Fall war und die zurückgeworfenen Strahlen  $aa'$  und  $bb'$  divergiren vom Spiegel an oder sie fahren auseinander und können nach dieser Seite ein wirksames Bild des Punktes nicht bilden, wohl aber erscheint dasselbe im Punkte  $d$  hinter dem Spiegel, welcher der Treffungspunkt ihrer Verlängerung ist. Je näher  $s$  dem Spiegel kommt, desto mehr

Tritt der leuchtende Punkt  $s$  (Fig. 287) vom Hauptbrennpunkte aus dem Spiegel auf der Axe noch näher, so sind die Einfallswinkel der Strahlen  $sa$  und  $sb$  größer, als es im Brennpunkte

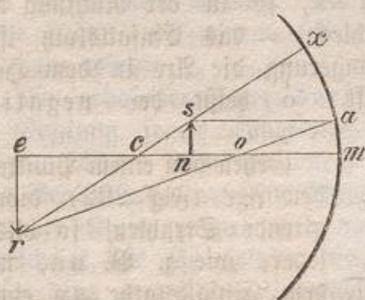
divergiren seine zurückgeworfenen Strahlen, desto eher also und dem Spiegel auf der Rückseite näher muß das Bild entstehen.

Je nach der Lage des leuchtenden Punktes entsteht also beim Hohlspiegel sein Bild entweder vor ihm und kann mittelst eines mattgeschliffenen weißen Glases oder eines durchscheinenden Papiers in der Luft aufgefangen werden oder es entsteht hinter ihm: in jenem Falle heißt es ein physisches, in diesem ein mathematisches Bild. Die Bilder bei ebenen Spiegeln waren nur mathematische.

Will man die Lage des Bildes eines außerhalb der Aze befindlichen Punktes erhalten, so braucht man nur den Durchschnittspunkt zweier vom Spiegel zurückgeworfenen und von ihm ausgehenden Strahlen bestimmen und zwar des durch den Krümmungsmittelpunkt gegangenen Hauptstrahles und des mit der Aze parallel auffallenden; jener wird in sich selbst zurückgeworfen, dieser nach dem Hauptbrennpunkte, so daß dann ihr Durchschnittspunkt der Sammelpunkt (Brennpunkt) aller zurückgeworfenen Strahlen ist und das Bild des Punktes gibt. Wir können dann, wenn wir die Lage des Bildes von einem in der Aze befindlichen Punkte dazu nehmen, sofort die nöthigen Aufschlüsse über die Lage, Größe und Entfernung der Bilder ganzer Gegenstände erhalten.



(Fig. 288.)

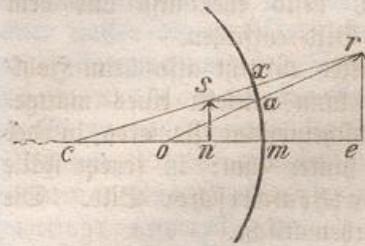


(Fig. 289.)

Gegenstand dem Brennpunkte, so entfernt sich das Bild und wird größer, bis es endlich verschwindet, wenn der Gegenstand im Brennpunkte selbst ist, weil dann die zurückgeworfenen Strahlen parallel sind.

Ist der leuchtende Punkt s (Fig. 288) in größerer Entfernung vom Spiegel, als der Krümmungsmittelpunkt, so erscheint sein Bild jenseits der Aze in r zwischen dem Brennpunkte o und dem Krümmungsmittelpunkte c; denn der durch c von s ausgehende Strahl sx wird in sich selbst und der mit der Aze parallele sa nach dem Brennpunkte o in der Richtung aor zurückgeworfen. Von dem Gegenstande sn erscheint also ein verkleinertes und umgekehrtes Luftbild re.

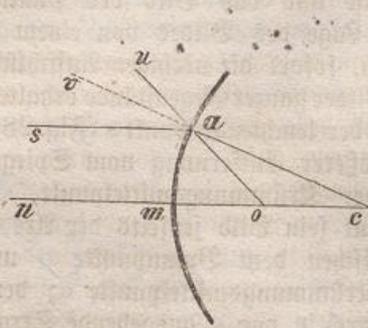
Ist umgekehrt der Gegenstand sn (Fig. 289) zwischen c und o, so erscheint sein verkehrtes und vergrößertes Bild re jenseits des Mittelpunktes des Spiegels. Wenn sich der Gegenstand innerhalb dieser Gränze dem Krümmungsmittelpunkte nähert, so nähert sich ihm auch das Bild und wird kleiner; nähert sich aber der



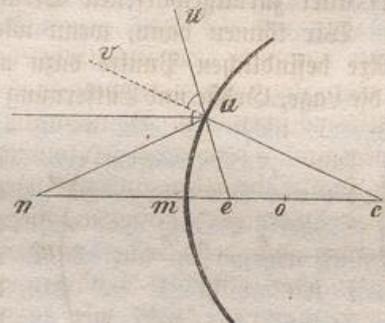
(Fig. 290.)

Ist der Gegenstand  $sn$  (Fig. 290) zwischen dem Brennpunkte  $o$  und dem Spiegel, so entsteht hinter dem Spiegel ein mathematisches grades und größeres Bild  $re$ , welches mit der Annäherung des Gegenstandes an den Spiegel sich ihm auch nähert und dabei kleiner wird, bis beide einander gleich sein würden, wenn der Gegenstand dem Spiegel bis zur Berührung sich nähern könnte.

Bei erhabenen Kugelspiegeln kann zwar eine vollständige Kugel vorhanden sein, aber man kann einen Gegenstand höchstens nur einer der beiden Hälften zur Spiegelung darbieten. Die Bilder sind stets hinter dem Spiegel, also mathematische und kleiner, als der Gegenstand.

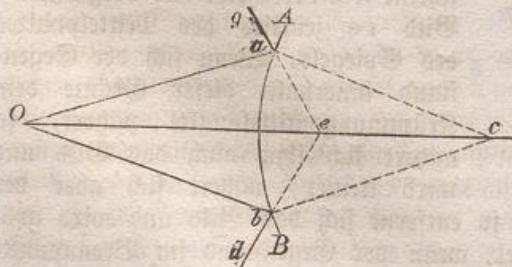


(Fig. 291.)



(Fig. 292.)

Jeder auf den Spiegel in der Richtung eines von der Spiegelfläche an verlängerten Kugelradius auffallende Lichtstrahl wie  $nm$  (Fig. 291) wird in seiner eigenen Richtung zurückgeworfen; jeder mit der Axe  $nc$  parallele Strahl, wie etwa  $sa$ , so in der Richtung  $au$  (wobei  $av$  als Verlängerung des Strahles  $ca$  das Einfallslot ist), daß die von  $a$  rückwärts gehende Verlängerung die Axe in dem Halbirungspunkte  $o$  des Kugelradius trifft.  $o$  heißt der negative Brennpunkt.

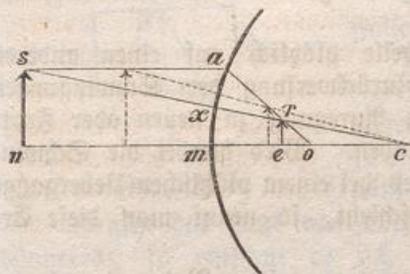


(Fig. 293.)

Gehen von einem Punkte  $n$  der Axe (Fig. 292) divergierende Strahlen, so bildet jeder, wie z. B.  $na$ , mit dem Einfallslot  $av$  einen größeren Einfallswinkel  $van$ , als der mit der Axe parallele Strahl; der zurückgeworfene Strahl  $au$  wird also bei

seiner Rückwärtsverlängerung die Aze in einem dem Spiegel näheren Punkte  $e$  treffen.

Läßt man von  $o$  aus (Fig. 293) zwei Strahlen  $oa$  und  $ob$  gehen und sind  $ag$  und  $bd$  ihre zurückgeworfenen Strahlen, so geben deren Verlängerungen rückwärts in ihrem Treffungspunkte  $e$  das Bild von  $o$ , welches dem Spiegel näher liegt, als der negative Brennpunkt.



(Fig. 294.)

Gehen die Strahlen von einem außerhalb der Aze liegenden Punkte  $s$  (Fig. 294) divergirend aus, so geht der nach dem Krümmungsmittelpunkte  $c$  gerichtete  $sx$  in sich selbst zurück, der mit der Aze parallele  $sa$  bei seiner Verlängerung rückwärts durch den Brennpunkt  $o$ , also entsteht in dem auf derselben Seite der Aze liegenden Durchschnittspunkte  $r$  beider Linien das Bild von  $s$ .

Ist nun vor dem Kugelspiegel ein ganzer Gegenstand  $sn$ , so entsteht von ihm ein aufrechtes und verkleinertes Bild  $re$  jenseits des Spiegels zwischen dem Brennpunkte  $o$  und dem Spiegel. — Je näher der Gegenstand dem Spiegel kommt, je mehr also die von einem gewissen Punkte desselben auf zwei gewisse Punkte des Spiegels fallenden Strahlen divergirend auffallen, desto mehr divergiren sie nach der Zurückwerfung und desto näher tritt auch das Bild auf der Rückseite dem Spiegel; aber mit der Annäherung des Gegenstandes an den Spiegel vergrößert sich sein Bild, wie es die punktirte Zeichnung andeutet und würde die Größe des Gegenstandes erreichen, wenn es möglich wäre, denselben mit dem Spiegel zur Berührung zu bringen.

Vollständige Kugelspiegel gewähren in hübschen Gegenden, Parkanlagen und anderwärts durch ihre theils todten, theils lebenden Bilder einen angenehmen Anblick. Man nimmt dazu hohle Glasfugeln, deren innere Fläche mit einem schwarzen oder metallisch glänzenden Stoffe überzogen wird.

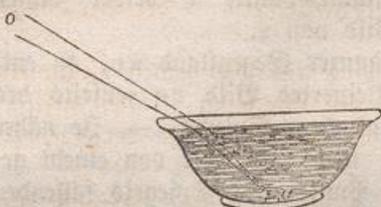
Ein erhabener Zylinderspiegel verlängert einen Gegenstand in der Richtung seiner Längsaxe und ein Kegelspiegel nach seiner Spitze. Wenn man die durch solche Spiegel erhaltenen Verzerrungen eines Gegenstandes auf eine Ebene rings um den als Basis des Spiegels dienenden Kreis zeichnet und dann den Spiegel auf diesen Kreis setzt; so erscheint das Spiegelbild des Zerrbildes in seiner richtigen Gestalt. Diese, eine angenehme Unterhaltung gewährenden Darstellungen nennt man katoptrische Anamorphosen.

### Dritter Abschnitt.

#### Brechung von Schwingungen.

In jeder nach Dauer und Weite bestimmten Schwingung eines bestimmten Theiles eines gewissen Stoffes liegt eine bestimmte Schwingungskraft.

Treffen nun schwingende Stofftheile plötzlich auf einen anderen Stoff, so kann statt oder neben der Zurückwerfung der Schwingungen eine Uebertragung der Kraft und eine Anregung zu neuen oder Fortsetzung der alten Schwingungen stattfinden. Wird hierbei die Schwingungsrichtung plötzlich verändert, wie es bei einem plötzlichen Uebergange aus einem Stoffe in einen anderen geschieht, so nennt man diese Erscheinung eine Brechung.

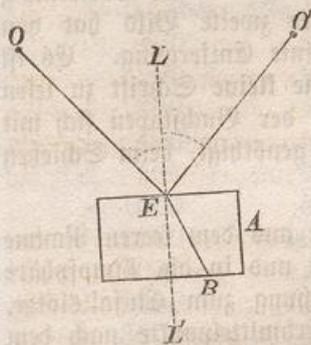


(Fig. 295).

Legt man auf den Boden eines leeren undurchsichtigen Gefäßes (Fig. 295) ein kleines Geldstück a, hält das Auge o seitwärts oberhalb so, daß der Rand das Geldstück soeben bedeckt und gießt dann in das Gefäß Wasser, so wird a sichtbar, ohne daß man das Gefäß hinab oder das Auge herauf bewegt hat; es ist, als wenn das Geldstück gehoben worden wäre, denn wir sehen einen Gegenstand stets in der Richtung, in welcher die von ihm ausgehenden Strahlen unmittelbar unser Auge treffen. Wenn die von a im Wasser fortgehenden Strahlen bis ans Niveau den unten gezeichneten Gang nehmen, so müssen sie von da an sich vom Wasser an in der Luft darüber tiefer richten, um o zu treffen. Die Strahlen entfernen sich also, wenn sie aus dem Wasser in die Luft übergehen, von dem durch den Uebergangspunkt gezogenen angenommenen Lothe.

Hält man einen graden Stab schräge zum Theil in Wasser und sieht ihn von der Seite an, so erscheint er von der Wassergränze an gebrochen, indem der im Wasser befindliche Theil höher zu liegen scheint, dabei aber noch grade ist. Je tiefer also ein Punkt des Stabes liegt, um so mehr erscheint er gehoben.

Läßt man durch eine kleine Oeffnung O (Fig. 297) eines Fensterladens ein dünnes Bündel von Sonnenstrahlen auf die Oberfläche eines Glasgefäßes A mit Wasser im Punkte E schräge auffallen, so gehen diese Strahlen im Wasser nicht in derselben Richtung wie in der Luft fort, sondern sie nähern sich dem durch den Uebergangspunkt E auf der Wasserfläche gezogenen Lothe EL' und gehen etwa in der Richtung EB im Wasser fort. In diesem Falle ist der Winkel, welchen der ankommende Strahl OE mit dem Einfallslothe LE bildet, d. i. der



(Fig. 296.)

Einfallswinkel, größer, als der, welchen der gebrochene Strahl EB mit dem verlängerten Lothe, also mit  $EL'$ , bildet und welcher der Brechungswinkel heißt. Bei staubiger Luft und trübem Wasser kann man den Gang der Strahlen leicht erkennen.

Es liegen also hier zwei verschiedenartige Fälle vor:

- 1) geht das Licht aus Luft in Wasser (aus einem Mittel in ein dichteres), so nähert es sich dem Einfallslothe oder wird zum Einfallslothe gebrochen (der Einfallswinkel ist größer, als der Brechungswinkel);
- 2) geht das Licht aus Wasser in Luft (aus einem Mittel in ein dünneres), so entfernt es sich vom Einfallslothe oder es wird vom Einfallslothe gebrochen (der Einfallswinkel ist kleiner, als der Brechungswinkel).

Diese beiden Gesetze gelten nicht blos für die beiden genannten, sondern für alle Stoffe und der Grad der Brechung ist für dieselben Stoffe, wenn sie auch übrigens unverändert bleiben, stets derselbe, für verschiedene aber verschieden.

Denkt man sich von E aus auf dem einfallenden Strahle EO und auf dem gebrochenen EB gleiche Stücke genommen und von ihren Endpunkten auf das Einfallslot  $LL'$  die beiden Perpendikel gefällt, so geben sie für die zwei bestimmten Stoffe, aus welchem und in welchem der Strahl tritt, das Brechungsverhältniß dieser Stoffe an: es ist für das Licht aus Luft in Wasser 4 : 3, aus Wasser in Luft 3 : 4, aus Luft in Glas 3 : 2. Den Quotienten aus dem Verhältnisse der die Brechung angegebenden Zahlen nennt man den Brechungsquotienten; er ist für den:

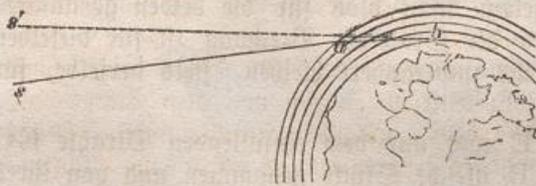
Leeren Raum . . . . .	1,000000	Kalkspath gew. Br. . . . .	1,654
Wasserstoff . . . . .	1,000138	Kalkspath ungew. Br. . . . .	1,483
Sauerstoff . . . . .	1,000272	Kronglas . . . . .	1,503
Eis . . . . .	1,308	Bergkrystall . . . . .	1,547
Wasser . . . . .	1,336	Flintglas v. Frauenhofer . . .	1,642
Alkohol . . . . .	1,375	Diamant . . . . .	2,500

Der Diamant hat unter allen Körpern die stärkste Kraft das Licht zu brechen und der Kalkspath, wie noch einige andere Krystalle, haben das Vermögen, das Licht doppelt zu brechen, so daß man durch einen solchen Krystall von der Form eines verschobenen Würfels von einem Punkte auf Papier zwei Bilder sieht.

Bei dieser Gelegenheit will ich eine nicht häufig beobachtete Erscheinung auführen, nämlich die, daß mein rechtes Auge, ohne irgend eine Verschiedenheit von dem anderen äußerlich zu zeigen, ebenfalls dop-

peltbrechend ist, denn ich sehe einen kleinen Punkt in der Entfernung von etwa 9 Zollen doppelt: das etwas mattere zweite Bild hat von dem Hauptbilde in diesem Abstände gegen 1 Linie Entfernung. Es ist also klar, daß ich mit diesem Auge allein eine kleine Schrift zu lesen nicht im Stande bin, weil die zweiten Bilder der Buchstaben sich mit den Hauptbildern verlaufen; ich bin also auch genöthigt, beim Schießen das linke Auge anzuwenden.

Die Refraktion. Auch wenn das Licht aus dem leeren Raume kommt, d. h. durch den Weltäther gegangen ist und in die Atmosphäre der Erde gekommen ist, erleidet es eine Brechung zum Einfallslothe, d. h. zu der graden Verbindungslinie vom Erdmittelpunkte nach dem Punkte, in welchem der Lichtstrahl die Atmosphäre trifft. Da aber die Dichtigkeit derselben nicht eine gleichmäßige ist, sondern nach der Erdoberfläche hin wächst, so ist die Lichtbahn in der Atmosphäre auch nicht eine grade; sondern bei ihrem tieferen Eindringen eine mehr und mehr nach der Erde hin gekrümmte, wie es Fig. 297 andeutet, wo sa



(Fig. 297.)

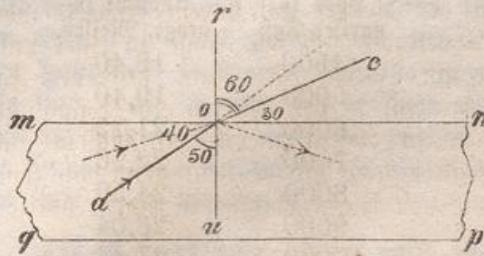
der auffallende Strahl und ab sein Weg in der schichtenförmig gezeichneten Atmosphäre sein soll. Da die Dichtigkeit der Schichten nicht schroff wechselt, sondern unmerklich übergeht, so ist ab nicht gebrochen, sondern gekrümmt. Ist in b das Auge eines Beobachters, so sieht es den von s, z. B. der Sonne, ausgehenden Strahl nicht in s, sondern in der Richtung bs', also höher. Diese Erhebung eines Gestirnes über den Horizont des Beobachtungsortes beträgt am Horizonte so ziemlich den Sonnendurchmesser, so daß sie bei ihrem Aufgange so eben mit ihrem unteren Rande den Horizont zu verlassen scheint, während sie in Wirklichkeit mit ihrem oberen denselben erst berührt. Dasselbe gilt vom Monde. Je weiter sich ein Gestirn erhebt, desto weniger weit ist der Weg seiner Strahlen durch die Atmosphäre, desto weniger wird es durch diese sogen. Refraktion von seinem wahren Orte abgelenkt und nur im Scheitelpunkte oder Zenithe sehen wir es ohne Ablenkung. Der Wechsel in der Dichtigkeit der Atmosphäre bringt auch eine Veränderung in der Strahlenbrechung hervor, was für genaue astronomische Beobachtungen wichtig ist.

Fernsicht. Wenn auf die durch die Atmosphäre bewirkte Ablenkung der Lichtstrahlen von ihrer gradlinigen Bahn keine Rücksicht genommen wird, so gibt die folgende Tabelle an, wie weit man von einem erhöhten Standpunkte aus rings um sich sehen kann oder wie lang die bis an den Horizont gezogenen Berührungslinien sind.

Höhe in pariser Fuß.	Aussicht in geogr. Meilen.	Höhe in pariser Fuß.	Aussicht in geogr. Meilen.
100	2,75	4500	18,40
200	3,88	5000	19,40
300	4,75	6000	21,25
400	5,50	7000	22,96
500	6,17	8000	24,50
1000	8,66	9000	26,04
1500	10,62	10000	27,44
2000	12,30	12000	30,06
2500	13,72	14000	32,50
3000	15,04	16000	34,70
3500	16,25	18000	36,80
4000	17,36	20000	38,80

Für dazwischen liegende Höhen läßt sich die Fernsicht durch Einschaltung leicht berechnen. Sie ist wegen der Refraktion stets noch etwas zu vergrößern. Diese Betrachtung ist bei der Anlage von Leuchttürmen wichtig, um ihnen die für den betreffenden Ort angemessene Höhe zu geben.

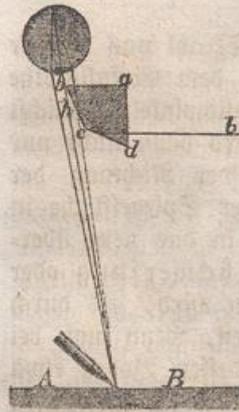
Die gänzliche Zurückwerfung. Geht ein Strahl aus Wasser oder Glas in die Luft über, so entfernt er sich von dem Einfallslothe oder der Brechungswinkel ist größer, als der Einfallswinkel. Wächst nun der letztere, so wächst auch der erstere und es wird dann nicht nur der Fall eintreten, daß der gebrochene Strahl in der Richtung der Trennungsfäche geht, sondern daß er wie von einer Spiegelfäche in das erste Mittel gänzlich zurückgeworfen wird, ohne in das neue überzugehen. Diese Erscheinung heißt die gänzliche Zurückwerfung oder totale Reflexion, weil dabei mehr Licht zurückgeworfen wird, als durch die besten Spiegel. Sie kann leicht beobachtet werden, wenn man bei einem ziemlich weiten Glase mit etwas Wasser, an dessen Boden etwa eine Münze liegt, das Auge hinreichend tief unter den Wasserspiegel hält. — Taucht man ein Reagentiengläschen in ein Trinkglas mit Wasser, so erscheint es, von oben betrachtet, wie Silber. Dieser Schein verschwindet, wenn man Wasser hineingießt. — Die Brechung verwandelt sich also dann in gänzliche Zurückwerfung, wenn der Einfallswinkel so groß wird, daß der Brechungswinkel größer, als 90 Grad werden müßte und dann sieht man im ersten Beispiele die Münze durch die innere Spiegelung des Niveaus sehr deutlich. Fig. 298 soll diese Umstände verdeutlichen.  $mnpq$  enthalte einen dichteren Stoff, als er über der Gränzfläche  $mn$  ist, und von  $a$  aus gehe in jenem ein Lichtstrahl nach  $o$ . Hier geht er nicht in derselben Richtung fort, sondern er entfernt sich von dem Einfallslothe  $or$ , so daß der Brechungswinkel  $roc$  größer, als der Einfallswinkel  $aou$  ist; jener z. B.  $60^\circ$ , dieser  $50^\circ$ , also fehlen jenem zu einem rechten Winkel  $30^\circ$ , diesem  $40^\circ$ . Wenn nun



(Fig. 298.)

um  $5^\circ$ , also im ganzen um  $35^\circ$ , so würde  $co$  schon  $5^\circ$  diesseits der Trennungsebene liegen, also ebensoweit von ihr, als  $ao$ , und  $ao$  erscheint von ihr unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter welchem es auffällt.

Die helle Kammer. Wollaston hat dieser Erscheinung eine praktisch wichtige Anwendung in der sogen. hellen Kammer (Camera lucida) gegeben.



(Fig. 299.)

welches den Lichteindruck lothrecht auf eine darunter befindliche horizontale Ebene AB versetzt.

Wenn nun der aus der Ebene  $ab$  des Prismas kommende Strahl dicht bei der Kante  $b$  austritt und man hält das Auge mit seiner Pupille, durch welche die Lichtstrahlen in das Innere des Auges dringen, auch dicht an diese Kante, so kann man nicht nur das auf der Ebene erscheinende Bild des seitlichen Gegenstandes, sondern auch ein dort befindliches Papier gleichzeitig sehen und nun jenes auf dieses unmittelbar aufzeichnen. Man hat eine ähnliche Vorrichtung auch mit einem Mikroskope in Verbindung gebracht, um recht kleine Gegenstände vergrößert abzeichnen zu können.

der Strahl  $ao$  von dem Lothe  $ou$  sich um  $30^\circ$  nach  $mo$  hin entfernte, so würde der gebrochene Strahl  $co$  sich der Trennungsebene um ebensoviele Grade nähern, also derselbe grade in die Trennungsebene fallen. Bewegte sich dann  $ao$  noch

In Fig. 299 ist  $abcd$  der lothrechte Querschnitt eines Glasprismas, der Winkel  $a$  ist ein rechter,  $c$  ein stumpfer von  $135^\circ$ ,  $b$  und  $d$  jeder  $67\frac{1}{2}^\circ$ . Kommt auf die lothrecht gedachte Fläche  $ad$  von außen ein horizontaler Strahl, so geht er ungebrochen in das Glas und in ihm in unveränderter Richtung bis auf die Ebene  $cd$ , die er unter einem Winkel von  $22\frac{1}{2}^\circ$  trifft; von hier wird er unter demselben Winkel nach der Ebene  $bc$  im Innern des Glases zurückgeworfen und trifft auch sie unter  $22\frac{1}{2}^\circ$ , so daß eine zweite gänzliche Zurückwerfung nach  $ab$  unter einem rechten Winkel erfolgt. Hier also erst muß der Strahl in die Luft übergehen und kann von einem darüber befindlichen Auge aufgefangen werden,

**Luftspiegelung.** Wenn der Araber auf hohem Kameele über den brennenden Sand reitet, so befindet sich sein Auge in einer Luftschicht, welche kälter ist, als die am Boden. Es kann also der Fall eintreten, daß die von einem entfernten, in der kälteren Luft befindlichen Gegenstände kommenden Strahlen in die wärmeren Luftschichten nicht eindringen, sondern zurückgeworfen werden, und er sieht dann von ihnen ein verkehrtes Bild unterhalb, wie von einem Baume in einem horizontalen Wasserspiegel.

Unmittelbar über dem Meeresspiegel ist in warmen Gegenden die Luft öfters kälter, als in größeren Höhen. Es kann also der Fall eintreten, daß von den in jenen kälteren Schichten befindlichen Gegenständen, z. B. den Schiffen, nach den wärmeren Schichten gehenden Strahlen von hier zurückgeworfen werden und ein verkehrtes Bild in der Höhe geben, wie von einem horizontalen Spiegel darüber, wobei das Auge des Beobachters in der kalten Luftschicht sich befindet. Diese Bilder zeigen natürlich das ganze Leben und Treiben auf den Schiffen und der etwa dargestellten Landschaft, aber wegen der nicht seltenen Schwankungen der Luft in einem bunten chaotischen Durcheinander. Man hat diese feenhafte Luftspiegelung deshalb auch *fata morgana* genannt.

Der Grund für die Brechungserrscheinungen liegt in der verschiedenen Dichtigkeit des Weltäthers in verschiedenen Stoffen, wodurch eine Veränderung in der Breite und der Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Wellen durch den neuen Stoff hervorgebracht wird. Wenn die Wellenbewegung in den neuen Stoff so eindringt, daß der Strahl der eindringenden Welle dem Einfallslothe sich nähert; so ist die Geschwindigkeit der Fortpflanzung in dem neuen Stoffe in dem Verhältnisse des Brechungsquotienten kleiner: entfernt sich aber der Wellenstrahl vom Einfallslothe, so ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in diesem Verhältnisse größer; in jenem Falle wird die Wellendimension kleiner, in diesem größer; in jenem die Fortpflanzungszeit jeder Welle größer, in diesem kleiner. Der Brechungsquotient des Lichtes aus dem Wasser in den leeren Raum ist  $\frac{1000}{1336}$ ; daher die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser 1000, wenn die im leeren Raume 1336 ist. Ist der Brechungsquotient bei Luft und Wasser  $\frac{3}{4}$ , und wird die Geschwindigkeit des Lichtes in jener zu 42000 Meilen angenommen, so ist sie in diesem  $\frac{3}{4} \cdot 42000 = 31500$  Meilen. Die Wellen sind im Wasser kürzer als in der Luft.

### Vierter Abschnitt.

#### Durchgang von Wellenbewegungen.

Jedermann ist bekannt, daß man selbst durch eine dicke Wand hören und durch eine Glasplatte sehen kann; weniger bekannt ist es, daß die Wärmestrahlen durch eine Platte aus Steinsalz ebenso dringen, wie die Lichtstrahlen durch die Glasplatte. Die Körper sind also mehr oder minder geeignet, Schall-, Licht- oder Wärmeschwingungen durch sich zu lassen, damit sie jenseits weiter verbreitet werden; d. h. sie sind durchhörig, durchsichtig, durchwärmig (diatherman).

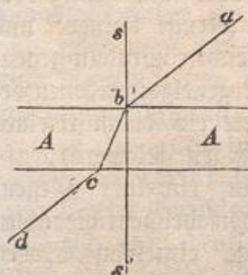
Die verschiedenen Körper sind aber in einem sehr verschiedenen Grade für die Fortsetzung der Schwingungen geeignet. Im Allgemeinen kann man sagen, daß ein bestimmter Stoff um so geeigneter ist, je gleichmäßiger seine Oberfläche und sein inneres Gefüge ist und je weniger er von fremdartigen Stoffen unterbrochen wird. Von je besser gebrannten Steinen eine Mauer aufgeführt und je dichter sie gemauert ist, desto besser läßt sie den Schall und die Wärme durch. Reines Eis in ganzen Platten ist durchsichtig; ist es aber zu ganz kleinen Stücken zerstampft, so daß Eis und Luft häufig abwechseln, so ist es undurchsichtig; neblige Luft ist weniger durchsichtig, als wasserfreie und deshalb erscheint auch die Sonne beim Auf- und Untergange trübe; an der Oberfläche rauh oder mattgeschliffenes Glas ist nur durchscheinend, es wird aber, wie auch das Papier, durch das Einölen durchsichtiger. Jeweilere erkennen das Innere von rauhen Edelsteinen, wenn sie dieselben in ein Del (Sassafrasöl) legen, welches mit ihnen dieselbe Lichtbrechung besitzt.

Je durchsichtiger ein Körper ist, desto weniger verbergen sie andere Körper hinter sich und desto weniger sind sie selbst sichtbar; aber auch Luft, Glas, Wasser u. a. werden in dickeren Schichten nur durchscheinend und selbst undurchsichtig: den Boden eines tiefen, selbst ganz klaren und ruhigen Wassers erkennt man nicht mehr; bei 70 bis 80 selbst ganz klaren Glascheiben und einer 700 Fuß langen Wassersäule im Meere verschwindet das Sonnenlicht, so daß man auch im Wasser den Grund tiefer selbst ganz klarer Gewässer nicht mehr erkennen kann.

Wir können im Allgemeinen sagen, daß Schwingungen als solche um so mehr vernichtet werden, je öfterer sie gezwungen sind, ihre ursprüngliche und jede neue Richtung zu verlassen und daß dann natürlich auch der von ihnen ursprünglich bewirkte sinnliche Eindruck verloren geht. Einweiß läßt die Lichtschwingungen ziemlich gut durch, ist es zu Schaum geschlagen, d. h. möglichst mit Luft vermischt, so hemmt es dieselben.

In einem hohen Grade wichtig aber sind die Erscheinungen, welche sich ergeben, wenn die Schwingungen durch Körper von bestimmter Form und mit bestimmten Begrenzungsflächen gegangen sind. Wir wollen vier wichtige Fälle einer näheren Betrachtung unterwerfen.

1) Der die Wellen durchlassende Körper hat parallele Begrenzungsebenen, wie die Spiegel- und Fensterscheiben.



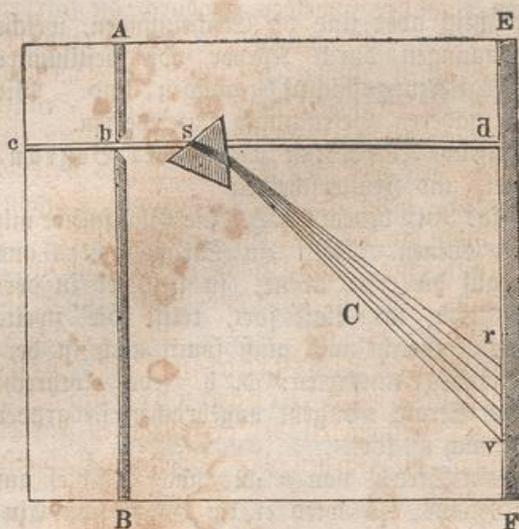
(Fig. 300.)

In Fig. 300 bedeute AA eine Glasscheibe mit parallelen Ebenen. Fällt ein Strahl von s aus lothrecht auf die erste Ebene, so geht er in derselben Richtung im Glase fort, trifft die zweite Ebene auch lothrecht und muß somit auch in derselben Richtung austreten: d. h. jeder lothrecht auffallende Strahl sb geht ungebrochen in grader Richtung nach s' fort.

Fällt ein Strahl von a aus nach b schief auf die erste Fläche, so wird er im Glase zum Einfallslothe, etwa in der Richtung bc, gebrochen; aber bei seinem Austritte in die Luft unter demselben Winkel vom Einfallslothe und muß daher bei seinem Fortgange in der Luft jenseits parallel sein dem diesseits auffallenden Strahle; d. h. sind die Brechungsflächen eines Körpers, durch welchen Wellen gehen, parallel; so behalten die Wellenstrahlen ihre Richtung, werden aber bei schiefer Lage um so mehr seitwärts geschoben, je dicker der Körper ist. Letzteres nehmen wir u. a. an Fensterscheiben bei schiefer Ansicht eines jenseits befindlichen Gegenstandes wahr, welcher übrigens seine Form und Größe nicht verändert zeigt.

2) Die durchlassenden Ebenen bilden einen Winkel, wie es der Fall ist bei zwei benachbarten Seitenflächen eines Prismas. Wir wollen uns ein dreiseitiges Prisma denken, d. h. einen solchen Körper, welcher von drei Parallelogrammen und drei vollkommen übereinstimmenden Dreiseiten begrenzt ist.

In Fig. 301 stellt AEFB ein finsternes Zimmer dar, b ist eine kleine kreisrunde Oeffnung in dem Laden AB, durch sie wird ein Sonnenstrahlenbüschel gelassen, welches, wenn es von c kommt, in der graden Richtung cbd auf der gegenüberstehenden weißen Wand EF bei d ein kreisrundes Bild zeigt. Hält man aber im Zimmer an die Oeffnung ein reines blasenfreies Glasprisma, von welchem bei S der senkrechte Querschnitt dargestellt ist; so wird für diese Lage des Prismas, wenn nämlich die beiden Durchgangsflächen für das Licht nach oben zusammentreffen und die Längenkanten des Prismas horizontal liegen, das Bild bedeutend nach unten hin verlegt, also weg von der brechenden Kante, außerdem ist es nicht mehr rund, sondern von oben nach unten bedeutend in die Länge gezogen und endlich zeigt es die sieben im Regenbogen vorhandenen Farben in derselben Ordnung, näm-



(Fig. 301.)

Es ist möglich, daß man durch ein Polygonalglas nur einen Gegenstand sieht; es müssen aber die einzelnen Theile desselben auf einem ebenen Blatte rings um das Gesichtsfeld des Glases angemessen vertheilt gezeichnet sein. Dadurch sind aber die Bilder so verzerrt, daß man bei ihrer Ansicht ohne Glas wohl schwer das herausfinden wird, was man durch das vorgehaltene Glas sieht. Dies sind die dioptrischen Anamorphosen, welche eine angenehm überraschende Unterhaltung gewähren, besonders wenn man auf die Mitte des Blattes eine Zeichnung in vollständig richtiger Darstellung ohne Anwendung eines Glases macht, welche einen Kontrast gegen das von dem Glase beim Durchsehen zusammengesetzte Bild gewährt; z. B. eine richtig gezeichnete Maus in die Mitte und eine Katze auf den Umfang vertheilt, ein mit Krücken einhersehender Krüppel und ein munterer Reiter. Das mittelste richtige Bild verschwindet nämlich, wenn man durch das Glas sieht, bei angemessener Lage der Glasflächen durch die Zurückwerfung der Strahlen und es zeigt sich durch die Brechung mittelst der einzelnen Flächen nur das verzerrt gezeichnete in der richtigen Zusammensetzung.

Fängt ein Auge das Farbenbild oder Spektrum des Prismas in seiner vorigen Lage auf, wobei man das Glas dem Auge ganz nahe halten kann, so sieht es den Gegenstand c, welches auch ein weißer Punkt oder Strich auf schwarzem Grunde sein kann, nicht nur bedeutend nach oben gehoben, sondern auch die Farbenpracht so, daß Violett an der oberen, Roth an der unteren Gränze erscheint, weil man ja bekanntlich den Gegenstand in die Richtung versetzt, in welcher das Auge von seinen Strahlen unmittelbar getroffen wird. Die vom Prisma S nach der Wand EF gehenden Strahlen fahren auseinander (divergiren),

lich von oben nach unten: Roth, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Dunkelblau und Violett.

Wenn die eine Seite eines Glases zwar eben ist, die andere aber aus einer beliebigen Menge kleinerer und unter gleichen Winkeln gegeneinander geneigter Ebenen besteht (wie ein Abschnitt eines regelmäßigen Körpers), so wird ein einzelner Gegenstand, von welchem Strahlen auf diese einzelnen Ebenen gelangen, durch das Glas vervielfältigt erscheinen. Dies sind die Polygonalgläser.

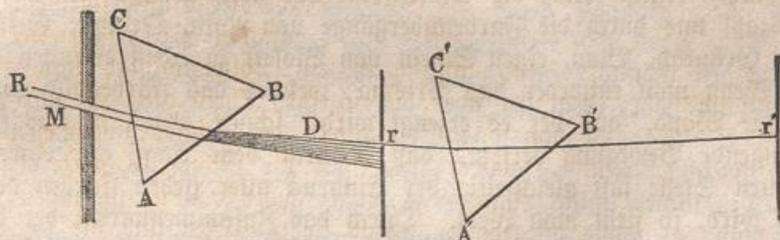
müssen also rückwärts verlängert einander schneiden, wodurch die Farben für das Auge eine entgegengesetzte Lage bekommen. — Sieht man bei derselben Stellung des Prismas einen schwarzen Punkt auf weißem Grunde an, so erscheint er unten violett, weil dort die obere Gränze des Weiß, und unten roth, weil hier die untere Gränze des Weiß ist.

Die violetten Strahlen haben den weitesten Weg durch das Prisma gemacht, sind also die brechbarsten; denn da sie die größte Schwingungszahl haben, so besitzen sie auch die meiste Kraft.

Läßt man das Farbenbild auf eine Spiegelfläche fallen und neigt man dieselbe gegen jenes mehr und mehr, so wird das Violett auch am ersten zurückgeworfen, also:

je brechbarer die farbigen Lichtstrahlen sind, desto leichter werden dieselben auch zurückgeworfen.

Dieser verschiedene Grad der Brechbarkeit bei verschiedenen Farben zeigt sich recht deutlich, wenn man die Farben des Spektrums einzeln durch ein zweites Prisma gehen läßt.



(Fig. 302.)

In Fig. 302 komme von R durch die Oeffnung M das Strahlenbündel R auf das Prisma ABC, welches jetzt die brechende Kante nach unten gerichtet hat, so daß das farbige Bild nach obenhin gerückt wird. Hat die auffangende Wand bei r, wo das violette Licht ist, eine Oeffnung und fängt man jenseits dieses Licht mit einem zweiten Prisma A'B'C' auf, so wird dadurch das violette Licht von seiner graden Richtung abgelenkt, ohne aber eine neue Farbenercheinung zu zeigen. Läßt man so nach und nach die anderen Farben bei unveränderter Lage des zweiten Prismas durch, so werden sie durch dasselbe nach dem Roth hin immer weniger gebrochen, jede bleibt aber unverändert, ohne in andere Farben zerlegt zu werden; das Grün z. B. wird nicht etwa in Blau und Gelb zerlegt.

Stellt man das zweite Prisma mit seiner Axe lothrecht gegen die Axe des ersten und fängt man mit ihm das durch das erste gebildete lange Farbenbild auf, so schiebt es das vorige senkrechte Farbenbild nach der Seite, aber das Violett am meisten, Roth am wenigsten.

Wenn man mit dem Finger bei einer Harfe über eine Reihe von Saiten mit verschiedener Spannung (oder auch Länge und Dicke) fährt,

so hört man hintereinander eine Reihe verschiedener Töne, welche durch dieselbe Kraft hervorgehört worden sind. Der Weltäther wird in dem Glase mit der von der brechenden Kante an beginnenden Dicke desselben sicher auch eine wachsende Spannkraft haben und durch dieselbe Schwingungskraft der weißen Strahlen zu Schwingungen von verschiedener Geschwindigkeit angeregt werden, und zwar nach der Kante hin zu den langsamsten, welche Roth geben, und an der dicksten Stelle zu den schnellsten, welche die Empfindung des Violett erzeugen.

Unser Auge ist für noch langsamere Schwingungen, als die des Roth, und für noch schnellere, als die des Violett, nicht schon und nicht mehr empfindlich; aber es ist eine Thatsache, daß es noch diesseits und jenseits des Spektrums Aetherschwingungen gibt: jene langsameren sind Wärmeschwingungen, diese schnelleren zeichnen sich durch die Energie aus, mit welcher sie chemische Verbindungen und Zersetzungen hervorbringen, welche schon beim Grün beginnen.

Es ist bemerkenswerth, daß Eisen, wenn es allmählich bis zum Weißglühen erhitzt wird, die Stufenfolge der stetig wachsenden Schwingungszahl uns durch die Farbenübergänge von Roth, Orange, Gelblich, etwas Grünlich, Blau, einen Schein von Violett zu Weiß erkennen läßt.

Wenn man entweder das Prisma, welches das Farbenbild erzeugt oder die Wand, auf der es erzeugt wird, schnell genug in eine solche schwingende Bewegung versetzt, daß dadurch dem Auge auf einer bestimmten Stelle fast gleichzeitig der Eindruck aller sieben Farben dargeboten wird, so sieht man Weiß. Durch das Zusammenwirken der langsamen und der schnellen Schwingungen müssen neue von der mittleren Geschwindigkeit aller entstehen, so daß also zu Weiß in runder Zahl 600 Billionen Schwingungen des Weltäthers in 1 Sekunde gehören.

**Achromasie.** Das Licht wird bei jedem durchsichtigen Körper, dessen Ein- und Austrittsflächen für dasselbe nicht parallel sind, sowohl gebrochen und von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, als auch in Farben zerstreut; beides aber für verschiedene Stoffe in verschiedenem Grade, so daß die Farbenbilder gleicher Prismen aus verschiedenen Stoffen unter übrigens gleichen Umständen eine verschiedene Länge haben, selbst wenn die Ablenkung des Ganzen gleich ist; oder daß zwar die Farbenbilder eine gleiche oder fast gleiche Länge haben, aber in verschiedenem Grade abgelenkt sind. Macht man nun aus zwei Stoffen, welche das Licht zwar sehr ungleich brechen, aber eine möglichst gleiche Farbenzerstreuung besitzen, zwei Prismen mit ungleichen brechenden Winkeln und legt sie mit zwei Seitenflächen so aneinander, daß die brechenden Winkel gegeneinander liegen; so sind die Ein- und Austrittsflächen einander nicht parallel, also der ganze Körper zum Brechen des Lichtes noch geeignet, aber die beiden farbigen Bilder der einzelnen Prismen geben, da sie bei angemessen gewählten Winkeln für die beiden Prismen in entgegengesetzter Richtung einander decken, ein farbloses

oder achromatisches Bild. Diese Betrachtung wird uns später von großem Nutzen sein.

Die Spektralanalyse. Fraunhofer entdeckte im Sonnenspektrum eine große Anzahl von dunklen Linien, welche auf den langen Seiten desselben lothrecht stehen, verschiedene Dicke besitzen und untereinander eine ganz bestimmte Lage haben. Diese dunklen Linien bezeichnen unstreitig Stellen, in welchen entgegengesetzt gerichtete Aetherschwingungen einander aufheben. Wie aber das scheinbar einfache Sonnenlicht solche Stellen, welche nur durch mindestens zwei gleichzeitig stattfindende Schwingungen hervorgebracht werden können, zu erzeugen im Stande ist, hat man erst in neuester Zeit ermittelt.

Das Licht eines glühenden Platindrahtes hat im Spektrum weder helle noch dunkle Linien, ist also einfach. Das Spektrum einer mit Kochsalz gelb gefärbten Spiritusflamme zeigt ein sehr stark entwickeltes Gelb, während alle übrigen Farben verschwinden und in ihm eine sehr hell gefärbte und blendend gelbe Linie an derselben Stelle, wo das ebenso lange Sonnenspektrum eine schwarze Linie besitzt. Läßt man nun durch jenes gleichartige Licht des Platins die durch Kochsalz gelb gefärbte Flamme gehen und beobachtet nun das vereinigte Licht durch ein Prisma; so ist jene gelbe Linie verschwunden und an ihrer Stelle eine schwarze. Die nähere Untersuchung hat ergeben, daß die gelbe Linie nur von dem im Kochsalze enthaltenen Natrium-Metalle herrührt.

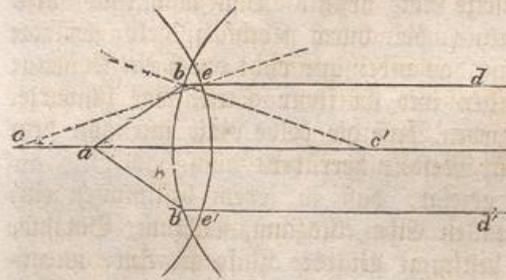
In gleicher Weise hat sich gezeigt, daß zu jedem bestimmten einfachen Stoffe, z. B. zu den Metallen Eisen, Kalium, Lithium, Barium, Strontium, Kalzium, auch eine bestimmt gefärbte Linie an einer unveränderlichen Stelle gehört und daß dieses farbige Licht stets ausgelöscht wird durch gleichartiges Licht, welches jenes durchdringt. Daraus folgt also, daß jede dunkle Linie im Sonnenspektrum zu einem Stoffe gehört, dessen farbige Flamme ausgelöscht wird, wenn durch sie gleichartiges Licht geht. Da mit Ausnahme des Lithium die Linien der anderen obigen Körper im Sonnenspektrum vorhanden sind, so ergibt sich, daß vom Sonnenkörper gleichartiges Licht ausgeht und daß dieses das in ihrer Atmosphäre durch Verbrennung verschiedener Stoffe, vorzüglich des Eisens, entstandene Licht durchdringt. Auf diese Weise ist u. a. ermittelt, daß der Syrius aus Steinsalz besteht.

Man hat somit ein Mittel, das Vorhandensein von Stoffen selbst in solchen Fällen zu ermitteln, in welchen die Chemie uns völlig rathlos läßt. Das Natrium gibt wunderbarer Weise selbst in einem Dreimilliontel Milligramm Kochsalz noch die gelbe Linie; das Lithium gibt in gleichem Maße eine rothe und noch eine schwach gelbliche Linie; von Kalium ist ein Tausendtel eines Milligramms nothwendig. Ein Stäubchen Zigarrenasche auf einem angehauchten Platindrahte verräth die Anwesenheit aller drei Metalle in ihr. Sind Pflanzen auf granithaltigem Boden gewachsen, so verräth sich das Lithium sogar noch in

dem Blute der Thiere, welche solche Pflanzen genossen haben. So hat die Wissenschaft ein Mittel gefunden, welches uns nicht nur über die Stoffe der Himmelskörper in dem unendlichen Raume, sondern auch der irdischen Körper in ihrer Vertheilung bis ins unendlich Kleine Aufschluß zu geben verspricht.

3) Die beiden Begrenzungsflächen des Körpers, durch welchen die Wellenbewegung geht, gehören Kugelflächen an.

Wenn ein Körper von zwei krummen Flächen begrenzt wird, welche Theile von Kugelflächen sind, so heißt er eine Linse und zwar eine doppelt erhabene oder bikonvexe, wenn die Kugelstücke einander die hohle Seite zuwenden; eine doppelt hohle oder bikonkave, wenn sie einander die erhabene Seite zulehren. Jene sind in der Mitte dicker, diese dünner als am Rande. Es gibt noch Linsen, welche auf der einen Seite eben, auf der anderen entweder erhaben oder hohl sind (plankonvex, plankonkav), und noch konvexkonkave und konkavkonvexe, jenachdem die Konkavität oder Konvexität größer ist.

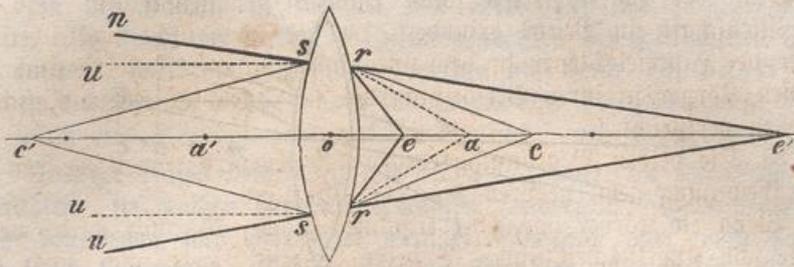


(Fig. 3 3.)

a) Bikonvexe Linsen. Wenn in Fig. 303 c und c' die Mittelpunkte von zwei Kugeln (hier mit gleichen Radien) sind, so daß also cc' die Axe ist; so ist bee'b der Axenschnitt der Linse oder des beiden Kugeln gemeinschaftlichen Theiles.

Kommen Strahlen parallel mit der Axe an, wie es von den Sonnenstrahlen gilt, z. B. die Strahlen de und d'e'; so wird jeder im Glase zu seinem Einfallslothe gebrochen, welches für de der Strahl ee, für d'e' der Strahl ee' ist. Dieses bewirkt schon eine Annäherung zur Axe. Wenn ihre Wege im Glase eb und e'b' sind, so werden sie bei ihren Austrittspunkten b und b' in die Luft von den Einfallsloten e'b und e'b' gebrochen und nähern sich somit der Axe noch mehr, so daß sie dieselbe in einem Punkte a treffen, welcher der Brennpunkt der Linse heißt, weil in ihm, wenn man die Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen läßt, dort ein kleines Sonnenbild entsteht und ein leicht entzündlicher Gegenstand, z. B. Papier, Zündschwamm, Holz, anbrennt. Solche doppeltkonvexe Linsen werden daher auch Brenngläser genannt. Die Brennweite ist die Entfernung des Brennpunktes von dem Mittelpunkte der Linse.

Es ist klar, daß Strahlen, welche vom Brennpunkte ausgehen, jenseits der Linse parallel fortgehen müssen und somit ein Bild nicht erzeugen können. Es wird für die weitere Betrachtung angemessen sein, diesen Fall als Grundlage festzuhalten.



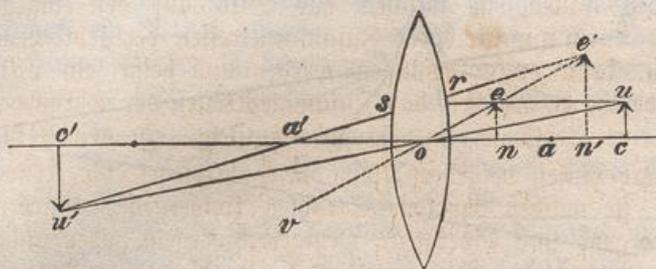
(Fig. 304.)

Der Punkt in der Axe, von welchem Strahlen ausgehen können, kann nun vom Brennpunkte  $a$  aus (Fig. 304) entweder der Linse sich nähern oder von ihr sich entfernen.

Nähert sich der Punkt der Linse, z. B. bis  $e$ , oder gehen die Strahlen wie er noch mehr auseinander, als wenn sie vom Brennpunkte kämen, so können sie jenseits der Linse nicht mehr parallel bleiben, sondern müssen noch wie  $sn$  auseinander gehen und können nur rückwärts verlängert diesseits in  $e'$  einander treffen und ein Bild geben. Dieses Bild aber ist in um so größerer Entfernung von der Linse, je näher der Ausgangspunkt nach dem Brennpunkte liegt; je näher der Ausgangspunkt an die Linse rückt, desto näher tritt auch das Bild auf derselben Seite an sie heran.

Entfernt sich der in der Axe liegende Ausgangspunkt der Strahlen von dem Brennpunkte und der Linse, z. B. bis  $c$ , so werden die auf fallenden Strahlen  $cr$  nach dem Durchgange weniger divergent, als wenn sie vom Brennpunkte ausgingen, werden also jenseits der Linse zusammenlaufen (konvergent werden) und dort ein Bild  $c'$  geben, welches sich der Linse nähert, wenn sich der Ausgangspunkt entfernt. — Bei diesem Entfernen des Punktes und Annähern seines Bildes tritt endlich einmal der Fall ein, daß beide von der Linse gleiche Entfernung haben und die Strahlen beider zu beiden Seiten der Linse gleich oder symmetrisch liegen und daher heißen diese Punkte die symmetrischen Sammelpunkte. Sie liegen bei Glaslinsen in der doppelten Brennweite von der Linse.

Liegt der Punkt, von welchem Wellenstrahlen ausgehen, außerhalb der Axe, aber in ihrer Nähe, wie  $u$  oder  $e$  (Fig. 305), so geht der mit der Axe parallele Strahl  $ur$  oder  $er$  nach der doppelten Brechung durch den Brennpunkt  $a'$  der Linse. Der Strahl, welcher von  $u$  und von  $e$  durch den Mittelpunkt  $o$  der Linse gerichtet ist, nämlich  $uo$  und  $eo$ , geht in unveränderter Richtung durch die Linse, weil die beiden Stellen des Ein- und des Austrittes als parallel anzusehen sind. In beiden Fällen entsteht ein Bild des Ausgangspunktes: ist derselbe, wie  $u$  außerhalb der Brennweite, so liegt es jenseits der Linse auf der ent-



(Fig. 305.)

gegegenseitigen Seite der Axe in  $u'$ ; ist derselbe innerhalb der Brennweite wie  $e$ , so liegt es diesseits der Linse auf derselben Seite der Axe in  $e'$  und in größerer Entfernung von der Linse. In jenem Falle treffen die durchgegangenen Strahlen  $ou'$  und  $sa'$  bei ihrer Verlängerung einander unmittelbar, in diesem Falle müssen sie, nämlich  $ov$  und  $sa'$ , rückwärts verlängert werden, wie  $oe$  und  $se'$ .

Nun läßt sich leicht bestimmen, wie es sich mit der Lage, Größe und Entfernung der Bilder von ganzen Gegenständen verhalten wird.

1) Ist der Gegenstand in der Entfernung der Brennweite, so erscheint kein Bild, weil die Strahlen nach der Brechung parallel sind.

2) Ist der Gegenstand, wie  $en$ , innerhalb der Brennweite, so entsteht von ihm auf derselben Seite ein grades und entfernteres, also vergrößertes Bild  $e'n'$ , welches mit der Annäherung des Gegenstandes an den Brennpunkt sich entfernt und vergrößert.

Diesen Fall benutzt man, um kleine Schrift mittelst der sogen. Lesegläser sich vergrößert darzustellen oder um noch viel kleinere Gegenstände, z. B. Pflanzentheile mittelst der Loupen, welche eine größere Konvexität, also kleinere Brennweiten haben, noch deutlich zu erkennen.

3) Ist der Gegenstand, wie  $uc$  außerhalb der Brennweite, so entsteht auf der entgegengesetzten Seite ein umgekehrtes Bild und zwar

a) von derselben Größe in der Entfernung des symmetrischen Sammelpunktes beider. Man kann dies leicht an dem mit einem weißen Papiere aufgefangenen Bilde einer kleinen Flamme erkennen, die in der doppelten Brennweite einer Glaslinse aufgestellt ist.

b) Nähert sich der Gegenstand vom Sammelpunkte aus dem Brennpunkte, so entfernt sich das Bild vom anderen Sammelpunkte und wird größer.

c) Entfernt sich der Gegenstand vom Sammelpunkte und der Linse, so ist das Bild zwischen dem anderen Sammel- und Brennpunkte und wird kleiner.

In den Fällen, in welchen das Bild auf der entgegengesetzten Seite, also durch unmittelbares Zusammentreffen der gebrochenen Strahlen entsteht, kann es aufgefangen werden und heißt ein physisches, in den anderen, in welchen das Zusammentreffen der gebrochenen Strahlen durch eine Verlängerung rückwärts entsteht, ein mathematisches.

Konvexe Linsen befördern, wie die Hohlspiegel, die Konvergenz der Strahlen: sie machen parallele Strahlen konvergent, konvergente noch mehr konvergent und divergente weniger divergent oder auch parallel und selbst konvergent. Dieses gilt von Strahlen aller Arten, also von Schall-, Wärme- und Lichtstrahlen.

Setzt man aus dünner Kollodiumhaut eine große bikonvexe Linse mittelst eines kreisrunden Drahtes zusammen und füllt man den Zwischenraum mit einer stärker brechenden Luftart, als atmosphärischer Luft aus, so hört man in dem Brennpunkte der Linse das Ticken einer Taschenuhr sehr deutlich, wenn dieselbe auch in einer ziemlich großen Entfernung jenseits sich befindet; in anderen näher liegenden Punkten nicht so deutlich.

Schleift man aus recht klarem Steinsalze eine bikonvexe Linse, so zeigt sich in ihrem Brennpunkte durch die Brechung der Wärmestrahlen eine namhafte Temperaturerhöhung, wenn jenseits der Linse ein heißes Stück Eisen u. dergl. in größerer Entfernung angebracht ist.

Newtons Farbenringe. Hierher gehören noch die Farberscheinungen, welche sich bei einer ganz dünnen Schicht eines festen oder flüssigen Körpers zeigen und von dem Zusammenwirken des gebrochenen und zurückgeworfenen Lichtes von zwei sehr nahe liegenden Quellen herühren, z. B. bei Splintern von ganz dünnen Glaskugeln, bei Seifenblasen, bei einer dünnen Luftschicht in dem Sprunge eines dicken Glases oder Krystalles, bei einem Tropfen ätherischen Oeles oder Firnisses auf Wasser, bei altem Fensterglase.

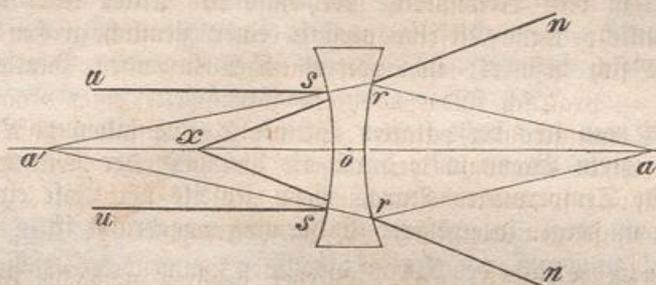
Um diese Erscheinungen genauer zu untersuchen, wendete Newton eine ebene, recht gut geschliffene Glasplatte und eine Konvexlinse von sehr großem (40—50 Fuß langem) Krümmungsradius an. Legt man die Linse auf die Platte, so ist zwischen beiden eine Luftschicht, deren Dicke von dem Berührungspunkte der Gläser an zunimmt und in jeder Entfernung von ihm bestimmt werden kann. — Läßt man einfarbiges Licht durchgehen oder zurückwerfen, so zeigen sich abwechselnd dunkle und helle Ringe von der betreffenden Farbe, welche für Roth am breitesten, für Violett am schmalsten und für die Zwischenfarben von mittlerer Ausdehnung sind. Für jede einzelne Farbe werden die Ringe nach außen zu immer schmaler, weil die Dicke der Zwischenschicht rascher wächst, als die Entfernung vom Berührungspunkte. Da, wo im durchgelassenen Lichte die dunklen Ringe sind, befinden sich im zurückgeworfenen die hellen und umgekehrt, weil das Licht bei der Zurückwerfung von der

entfernteren Gränzfläche um eine halbe Wellenlänge sich verspätet gegen den Fall beim durchgelassenen Lichte.

Es ist wohl klar, daß sich auch hieraus die Wellenlängen und Schwingungszahlen der verschiedenen Farben bestimmen lassen. Vergl. S. 30 und 39.

Wendet man weißes Licht an, so entstehen wegen der verschiedenen Wellenlängen der einzelnen Farben sieben wahrnehmbare Ringsysteme, worunter aber auch gemischte Farben sind, weil die einfachen einander zum Theil decken.

Ist Wasser statt Luft in der Zwischenschicht, so sind die Ringe enger, weil die Geschwindigkeit des Lichtes im Wasser kleiner, als in der Luft ist. Man kann übrigens aus der Wellenbreite und Schwingungszahl auch auf die Geschwindigkeit schließen.



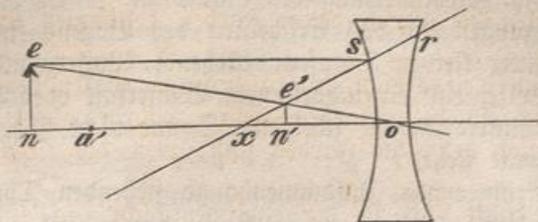
(Fig. 306.)

b) Bikonkave Linsen. Wenn  $a$  und  $a'$  (Fig. 306) die Krümmungsmittelpunkte der im Durchschnitte gezeichneten Linse sind, also  $aa'$  die Axe ist und es fallen mit der Axe parallele Strahlen  $us$  auf, so werden sie schon in der Linse von der Axe weg in der Richtung  $sr$  gebrochen, weil sie sich dem verlängerten Einfallslothe  $a's$  nähern und bei ihrem Austritte jenseits noch mehr in der Richtung  $rn$ , weil sie sich von dem Einfallslothe  $ar$  entfernen. Die diesseits parallel auffallenden Strahlen werden also jenseits divergent und können nur rückwärts verlängert ein Bild in dem negativen Brennpunkte  $x$  geben, welches bei Glaslinsen im Halbierungspunkte des Strahles liegt.

Gelangen ankommende Wellenstrahlen von der Axe aus divergent auf die Linse, so müssen sie nach der doppelten Brechung noch mehr divergiren und ihr Durchschnittspunkt liegt der Linse stets näher, als der negative Brennpunkt  $x$ .

Liegt der Ausgangspunkt  $e$  (Fig. 307) der Strahlen außerhalb der Axe, so geht der nach dem Mittelpunkte  $o$  der Linse gerichtete Strahl ungebrochen durch, der mit der Axe parallele muß nach der doppelten Brechung in seiner nach dem negativen Brennpunkte verlängerten Richtung  $rx$  betrachtet werden und gibt mit jenem in dem

Durchschnittspunkte  $e'$  das Bild von  $e$ ; also das Bild erscheint auf derselben Seite der Axe und der Linse stets näher.



(Fig. 307.)

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die Konkavlinse die Strahlen zerstreuen und stets verkleinerte mathematische Bilder auf derselben Seite der Linse geben. Mit Annäherung des Gegenstandes an die Linse wächst das Bild, wie es leicht von einem Auge jenseits der Linse erkannt wird. — Praktisch findet man die Brennweite einer Konkavlinse, wenn man Sonnenstrahlen parallel mit der Axe auffallen läßt und die Linse einer weißen Fläche so weit nähert, daß der erleuchtete Kreis auf ihr einen doppelt so großen Durchmesser, als die Linse hat; die Entfernung der Linse von der Fläche ist die Brennweite.

Nur die in der Nähe der Axe auf die Linse kommenden Strahlen haben einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt, die in größerer Entfernung, namentlich am Rande auffallenden aber andere der Linse näher liegende Punkte. Man hält daher die Randstrahlen durch einen schwarzen Ring, die sogen. Blende, ab, damit die Oeffnung der Linse, die Apertur, vom Brennpunkte aus kleiner erscheint.

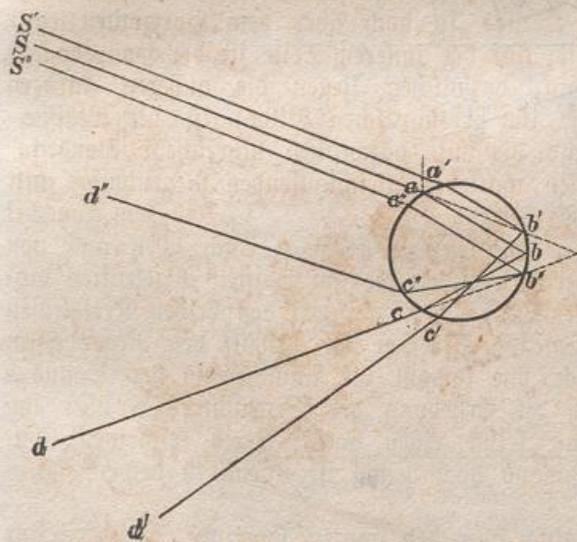
So wie man aus zwei verschiedenen Glasarten Prismen zusammensetzen konnte, welche die Strahlen zwar noch brechen, die Farben aber nicht mehr zerstreuten, so hat man auch farblose oder achromatische Linsen geschliffen. Man setzt ein konvexes Kronglas mit einem konkaven Flintglase oder, um die für einzelne Farben noch übrig gebliebene Zerstreung zu beseitigen, zwei konvexe Kronglaslinsen mit einer bikonkaven von Flintglas zu einer Linse zusammen, welche bikonvex ist. Erst nach der Konstruktion der achromatischen Linsen ist es möglich geworden, die herrlichsten Entdeckungen im Großen und Kleinen zu machen; denn die Farbenzerstreung macht die Bilder sehr undeutlich.

**Der Regenbogen.** Nun wollen wir die noch hierher gehörige prachtvolle Naturerscheinung des Regenbogens etwas näher betrachten und zu erklären suchen.

Schon der Umstand, daß die Thautropfen, wenn die Sonne auf sie scheint, in den herrlichen Farben des Regenbogens, je nach unserem



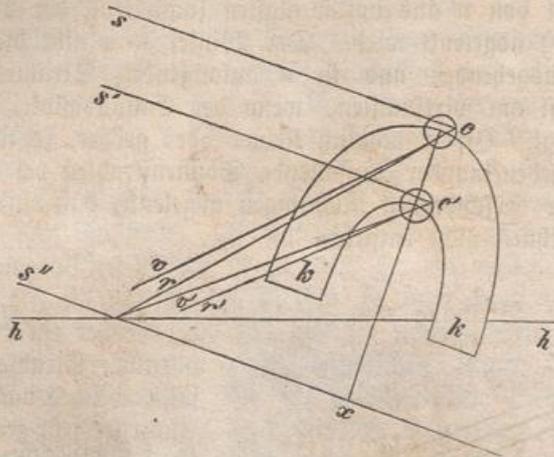
Um die Entstehung des Hauptregenhogens zu ermitteln, sei  $ou$  (Fig. 308) der lothrechte Schnitt eines Regentropfens,  $su$  ein auf ihn fallender Sonnenstrahl, für welchen  $ou$  das Einfallslotth ist. Er wird von seiner graden Richtung  $ue$  weg zum Einfallslotthe in der Richtung  $uc$  gebrochen, hier auf der Rückwand des Tropfens theils vorwärts in die Luft gebrochen, theils rückwärts unter demselben Winkel ( $ocn = ocu$ ) geworfen, tritt bei  $n$  wieder in die Luft und wird hier vom Einfallslotthe  $on$  weggebrochen nach  $na$ . Ist in  $a$  ein Auge, so sieht es ein Sonnenbild in der Richtung  $ane$ , aber nicht einfarbig, sondern in den Farben des Spektrums mit Roth nach oben, Violett nach unten, weil der rothe Strahl von  $n$  aus am wenigsten (nach  $nr$ ), der violette am meisten (nach  $nv$ ) abgelenkt wird. Der Winkel  $sea$  gibt die Ablenkung des von  $s$  ausgehenden und in  $a$  anlangenden Strahles an. Der Eindruck in  $a$  ist am wirksamsten, wenn der Einfallswinkel  $sum$  gegen  $58-60^\circ$  beträgt. Ist er nämlich kleiner oder größer, so werden selbst parallel dicht nebeneinander auffallende Sonnenstrahlen bei ihrem Austritte nach so sehr verschiedenen Richtungen abgelenkt, daß ein wirksamer Eindruck von ihnen nicht entsteht.



(Fig. 309.)

Dießer Vorgang ver-  
deutlicht die Fig. 309,  
bei welcher ein Bündel  
paralleler Strahlen auf-  
fällt, welches nach dem  
Austritte sehr zerstreut  
ist. Die Wege sind durch  
die gleichartigen Buch-  
staben bezeichnet.  
Da aber jeder Strahl  
in Farben zerlegt wird,  
so ist die Ablenkung  
in diesem Falle für  
das Roth nach der  
Richtung des auffallen-  
den Strahles höchstens  
 $42^\circ 30'$  und für das  
Violett  $40^\circ 30'$ , so  
daß der Winkel, wel-  
chen die äußersten Farben bilden,  $2^\circ$  (eigentlich  $2^\circ 18'$ ) beträgt. Weil  
aber die Sonne nicht ein leuchtender Punkt ist, sondern einen Durch-  
messer von  $30'$  besitzt, so muß jede einzelne Farbe eine Breite von  $30'$ ,  
also alle sieben Farben eine von  $7 \cdot 30'$  oder  $3\frac{1}{2}^\circ$  haben. Da dieses  
mehr beträgt, als die Breite des Regenhogens, so ergibt sich daraus,  
daß die benachbarten Farben etwas in einander übergreifen. — Es ist  
ferner klar, daß alle Wassertropfen, welche gegen die Sonne und das

Auge dieselbe Lage haben, auch dieselbe Strahlengattung zeigen müssen. Es ist nun sehr leicht, die Lage aller dieser Tropfen zu bestimmen. Man denkt sich durch den Mittelpunkt der Sonne und das Auge die auf dem Horizonte senkrechte Ebene gelegt. In dieser Ebene befindet sich in einem bestimmten Augenblicke ein Wassertropfen, welcher eine bestimmte Farbe zeigt. Fällt man von ihm die lothrechte Linie auf die verlängerte Verbindungslinie zwischen Sonne und Auge und dreht man den entstandenen rechten Winkel um die letztere Linie als Axe, so beschreibt der im Tropfen liegende Ausgangspunkt des Perpendikels eine Kreislinie, in welcher die Tropfen dieselbe Farbe geben müssen



(Fig. 310.)

a die rothen, am wenigsten abgelenkten Strahlen nach oben und von den in der inneren Peripherie liegenden die am meisten abgelenkten violetten Strahlen nach unten sehen. Der zwischen den beiden Kreislinien über dem Horizonte  $hh$  liegende Streifen  $kk$  enthält den Regenbogen. Es ist hier zugleich deutlich, wie sowohl die Annäherung der Sonne  $s$  an den Horizont, als auch die Erhebung des Beobachters  $a$  über ihn den Bogen vergrößert und selbst einen vollen Kreis erscheinen läßt, wenn nur dabei die Regenwand hoch genug ist; denn in beiden Fällen wird  $x$  gehoben.

Regnet es vor uns nicht über den ganzen Horizont, sondern nur aus einer einzigen seitlichen Wolke, so ist auch der Bogen unvollständig, was man wohl eine Wassergalle nennt.

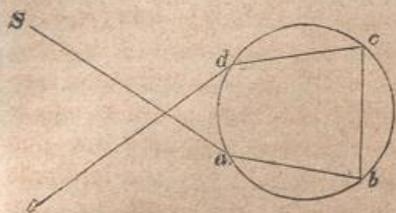
Obwohl die Stellen, an denen wirksame Strahlen erscheinen, fortwährend durch neue Tropfen ersetzt werden, so ist der Eindruck für uns doch ein dauernder, weil unser Auge, wie auch aus anderen bekannten Erfahrungen hervorgeht, einen in einem gewissen Augenblicke empfundenen Eindruck mit dem Aufhören der wirkenden Ursache nicht auch sofort verliert, sondern noch eine kurze Zeit behält.

Wenn man nun (F. 310) in Beziehung auf die Tropfen  $c$  und  $c'$  mit  $cx$  und  $c'x$  die Kreise um  $x$  beschreibt, so werden wir von den in der äußeren Peripherie liegenden Tropfen mit dem Auge bei

Aus verschiedenen Standpunkten sieht man in demselben Augenblicke oder auch in demselben Standpunkte und verschiedenen Zeiten einen anderen und durch andere Tropfen gebildeten Regenbogen. Morgens kann er nur gegen Westen, abends nur gegen Osten, mittags in der nördlichen Halbkugel nur gegen Norden erscheinen.

Auch durch den Mond wird zuweilen, wenn auch nur ein matter Regenbogen gebildet.

Der Hauptregenbogen wird gebildet von Strahlen, welche auf den Vordertheil der oberen Hälfte der Wassertropfen fallen; der Nebenregenbogen aber von solchen, welche auf den Vordertheil der unteren



(Fig. 311.)

Hälfte eintreffen. Ist (Fig. 311) S der auffallende Strahl, so wird er im Tropfen nach ab gebrochen, von b nach c und von c nach d zurückgeworfen und geht von d in die Luft gebrochen nach de so fort, daß die violetten Strahlen am weitesten nach unten, die rothen am weitesten nach oben gerichtet sind und ein Auge in e den durch zweimalige Brechung und Zurückwerfung matt gewordenen Strahl in dem Bogen so wahrnimmt, daß Violett nach oben, Roth nach unten erscheint, indem jenes von den oberen, dieses von den unteren Tropfen herrührt.

Farbenbogen durch Eiskrystalle in der Atmosphäre. Am 8. Februar 1861 sah ich bei klarer fast ganz ruhiger Luft und  $3,4^{\circ}$  R. Luftwärme fast während einer Stunde (mittags 1—2 Uhr) vor der Sonne zwei farbige Bogen, welche einander die konvexen Seiten zuekehrten und eine symmetrische Farbenvertheilung besaßen.

Eine solche Erscheinung kann nur unter ganz besonders günstigen Umständen eintreten und ist noch nicht sehr häufig beobachtet worden. Es gehört dazu, wie ich meine, eine Wand von zarten Eiskrystallen, welche sich vor der Sonne befindet, so daß die Sonnenstrahlen durch prismatische Zerstreuung in den Krystallen farbig werden; während diese Wand durch Stauung eines sehr sanften Südwindes an der Erdoberfläche vor dem Beobachter abgegränzt wird, befindet sich über ihm noch eine nach unten ziemlich eben abgegränzte und durch den warmen Wind abgeschnittene Schicht ebensolcher Krystallchen. Die erste Wand erzeugt den Hauptbogen und dieser wird in der letzteren Schicht matter abge spiegelt, erscheint also verkehrt, wie jeder Gegenstand, welchen wir durch einen horizontal über uns gehaltenen Spiegel ansehen. Dabei zeigten sich noch Nebensonnen durch Spiegelung.

Die Morgen- und Abendröthe entsteht ebenfalls durch Lichtbrechung. Wenn die atmosphärische Luft das Wasser in wirklichem Dampfzustande enthält, so ist sie klar und durchsichtig; je mehr aber

die Verwandlung der Dämpfe in Dünste vorschreitet, welche aus sehr kleinen hohlen Wasserbläschen bestehen, desto mehr wird das reine Blau gebleicht und der Himmel erscheint graumeiß, wenn die Dunstbildung noch nicht ganz vollendet ist. Das durch die den Uebergang aus Wasserdämpfen in Wasser darstellenden Dunstbläschen gehende Licht wird theils gebrochen, theils zurückgeworfen: die brechbarsten blauen Strahlen werden auch am leichtesten zurückgeworfen. Daher verkürzt sich auch in der Dämmerung das prismatische Farbenbild mehr und mehr an der blauen Seite, während es zu Mittag, namentlich um die Zeit unseres Sommer-Sonnenstillstandes (21. Juni) am ausgebildetsten ist. Wenn nun durch die Ansammlung der Wasserdünste sich Wolkengruppen von verschiedener Dichtigkeit und Gestalt bilden und die Sonne einen niedrigen Stand am Horizonte hat, so daß ihre Strahlen unter einem sehr kleinen Winkel durch sie gehen; so werden die brechbarsten nach dem blauen Ende des Spektrums liegenden Strahlen zurückgeworfen und nur die rothen und gelben durchgelassen, welche aber, je nach der Dichtigkeit und Beschaffenheit der Wolken und ihrer Gruppierung, oft die herrlichsten Schattirungen und Uebergänge von den zartesten Tönen bis zur glühendsten Farbenpracht zeigen, obwohl den Sonnenstrahlen am Horizonte, wo sie den weitesten Weg (etwa 15 mal weiter, als wenn sie im Zenithe steht) durch die Atmosphäre zu gehen haben, etwa nur 5—6 Hundertel ihrer Stärke geblieben sind.

Beim Sonnenaufgange werden an der Erdoberfläche durch Erwärmung, namentlich aber erst bei einem bereits höheren Stande der Sonne aus den Dünsten unsichtbare Dämpfe erzeugt; beim Sonnenuntergange entstehen aber durch die eintretende Abkühlung umgekehrt aus den Dämpfen sichtbare Dünste. Weil nun diese Verwandlung in der Regel früher eintritt, als jene, so ist das Abendroth meist schöner, als das Morgenroth, und es lohnet sich selten, bei Gebirgsreisen auf sehr hohen Bergen das Morgenroth begrüßen zu wollen.

Wenn man diese beiden Erscheinungen als Vorboten für das etwa zu erwartende Wetter beurtheilen will, so ist festzuhalten, daß beide zwar auf eine große Menge von Dünsten in der Atmosphäre hinweisen, daß sie aber beim Morgenroth in der Entstehung aus Wasser begriffen sind und somit in der Atmosphäre eine Vermehrung des Wasservorrathes anzeigen und daß sie beim Abendrothe vernichtet oder zu Wasser verwandelt werden, wodurch die Atmosphäre von Dünsten befreit wird.

Ein starkes Morgenroth deutet also im Allgemeinen auf schlechtes, ein starkes Abendroth auf gutes Wetter, wenn nicht etwa durch Umsetzen des Windes, wobei der Barometerstand sich ändert, eine Abänderung eintritt. Die Meteorologie wird uns darüber noch einige Aufschlüsse geben. Bei mangelndem Abendrothe und grauem Himmel ist in der Atmosphäre viel dunstförmiges Wasser, also Aussicht zu schlechtem Wetter vorhanden; ist aber der Himmel wolkenfrei und röthlich gelb

gefärbt, so ist für den folgenden Tag große Hitze bei wolkenfreiem Himmel zu erwarten.

Das Blau des Himmels hat seinen Grund darin, daß durch die Luft und die in ihr schwebenden Wasserdämpfe von dem weißen Sonnenlichte nur die blauen Strahlen, welches die brechbarsten sind, auch am leichtesten zurückgeworfen werden. Je mehr aber sichtbare Dünste in der Atmosphäre schweben, desto weniger werden die Lichtstrahlen durchgelassen und von den tiefer liegenden Theilen der Atmosphäre zurückgeworfen, desto weniger blau erscheint also auch der Himmel; je mehr aber die Dünste als unsichtbarer Dampf erscheinen, wie nach einem heftigen Gewitterregen oder Sommerregen überhaupt, desto dunkler ist er gefärbt. In heißen Gegenden erscheint der Himmel auch von der Erdoberfläche aus tiefer blau gefärbt, als in größeren Breiten und in Polargegenden ist er stets grau, weil hier bei der niedrigen Temperatur die Luft mit Dünsten meist übersättigt ist. Je höher man in der Atmosphäre über einem gewissen Orte steigt, desto dunkler erscheint der Himmel, weil die Dunstmenge, durch welche wir sehen, immer geringer wird. Bei ringsum über dem Horizonte gleichmäßiger Beschaffenheit der Atmosphäre wächst die klare und tiefere Färbung nach dem Scheitelpunkte oder Zenithe und die mattere Farbe nach dem Horizonte, weshalb uns die scheinbare Himmelkugel auch, wie wir wissen, abgeplattet erscheint.

Morgen- und Abenddämmerung. Wir wissen aus den Erscheinungen der Refraktion bereits, daß der Einfluß der die Erde umhüllenden Atmosphäre alle Gestirne, die nicht etwa grade im Scheitelpunkte des Beobachters stehen, über den Horizont um so mehr erhebt, je näher sie an demselben liegen und daß diese Erhebung die Sonne uns schon ganz sichtbar erscheinen läßt, wenn sie in Wirklichkeit mit ihrem oberen Rande erst grade in den Horizont tritt. Dieser Einfluß ist es auch, welcher Licht von ihr schon in die Nachtseite treten läßt, wenn sie uns auch noch ganz verborgen ist. Wenn der Sonnenmittelpunkt vor dem Aufgange und nach dem Untergange noch und schon  $18^\circ$  unter dem Horizonte ist, erkennen wir den ersten und letzten matten Lichtschimmer in der Gegend, wo die Sonne auf- und untergehen wird, und von da an beginnt für den Morgen die wachsende Beleuchtung über dem Horizonte oder wir haben Morgendämmerung und für den Abend die völlige Nacht oder die Abenddämmerung hat ihr Ende erreicht.

Aus dieser Lage der Sonne unter dem Horizonte bei der Gränze der Dämmerung kann man den Schluß ziehen, daß die Atmosphäre noch in einer Höhe von etwa 10 Meilen schon die Fähigkeit besitzt, das Licht von seiner gradlinigen Bahn abzulenken.

In einer geographischen Breite von 50 Graden steht am längsten Tage die Sonne um Mitternacht nur  $16\frac{1}{2}$  Grad unter dem Horizonte, also geht die Abend- in die Morgendämmerung über und es wird bei

unbedecktem Himmel niemals ganz finster. Je geringer die geographische Breite eines Ortes ist, von desto kürzerer Dauer ist die Dämmerung und in den Tropengegenden, wo der Himmel meist rein und wolkenleer ist, das Sonnenlicht also weniger zerstreut wird und die Sonne fast senkrecht auf- und untergeht, erstaunt man über den schroffen Uebergang vom Tage zur Nacht. Mit zunehmender geographischer Breite dagegen wächst die Zeit der Dämmerung und verkürzt namentlich den Bewohnern der Polargegenden die langen Nächte ungemein, wozu noch die weißen Schneefelder kommen. — Da für den Pol die Sonne bei ihrem tiefsten Stande nur  $22\frac{1}{2}$  Grade unter dem Horizonte sich befindet, so bleibt sie nicht lange außerhalb der Dämmerungsgränze. — Das herrliche Mitternachtroth am Nordhimmel in den kürzesten Nächten.

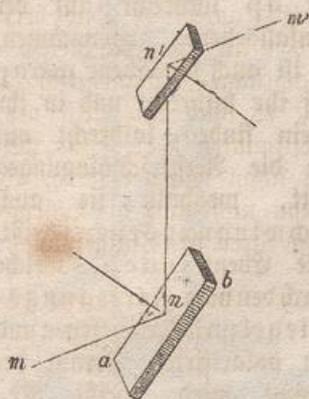
Durch sorgfältige und ganz neue Beobachtungen, namentlich in Polargegenden, ist die Thatsache ermittelt, daß es auch eine Wärmedämmerung gibt, d. h. daß es an einem bestimmten Orte, für welchen die Sonne noch unter dem Horizonte ist, schon wärmer wird, als es die sonstige Temperatur anzeigen würde, wenn nicht auch die Wärmestrahlen in der Atmosphäre eine Ablenkung von ihrer gradlinigen Bahn nach der Erdoberfläche hin erfahren.

## Fünfter Abschnitt.

### Die Polarisation.

Schwingungen werden einseitig durch das Gefüge der Körper. Da die kleinsten Massentheilchen eines bestimmten Körpers eine bestimmte Gestalt besitzen und sich demnach auch, wenn sie nicht etwa darin gestört werden, in einer ganz bestimmten Weise gruppieren, um den ganzen Körper zu bilden; so ist es natürlich, daß die in die Körper dringenden Schwingungen nach verschiedenen Richtungen auch verschiedene Widerstände erleiden werden. Wir finden daher u. a., daß im Holze der Schall und die Wärme, in den Krystallen das Licht nicht nach allen Richtungen gleich gut fortgepflanzt werden. Es wird also der Fall eintreten, daß die Schwingungen nach gewissen Richtungen mit Leichtigkeit weiter fortgepflanzt werden, somit auch tiefer eindringen können, nach anderen aber zurück- und herausgeworfen werden. Dadurch erleiden sie Veränderungen in ihren Richtungen. Für die Schallschwingungen lassen sich die Erscheinungen weniger leicht verfolgen, weil die Wellendimensionen zu bedeutend sind, aber für die Wärme- und Lichtwellen ergeben sich einige interessante und auch praktisch wichtige Resultate.

Wenn Lichtstrahlen unter irgend einem Winkel auf eine spiegelnde Fläche fallen, so werden sie zwar stets unter demselben Winkel zurückgeworfen und sind auch unter allen Umständen in der Richtung des zurückgeworfenen Strahles sichtbar; aber es gibt für jeden bestimmten, zu einem Spiegel verwendeten Stoffe einen bestimmten Einfallswinkel, bei welchem der zurückgeworfene Strahl nicht mehr durch lothrecht auf ihm stehende Aetherschwingungen in allen denkbaren Ebenen, denen er angehört, erzeugt wird, sondern nur durch Schwingungen in einer einzigen Ebene, so daß also der zurückwerfende Körper die Schwingungen nach allen übrigen Richtungen vernichtet hat.



(Fig. 312.)

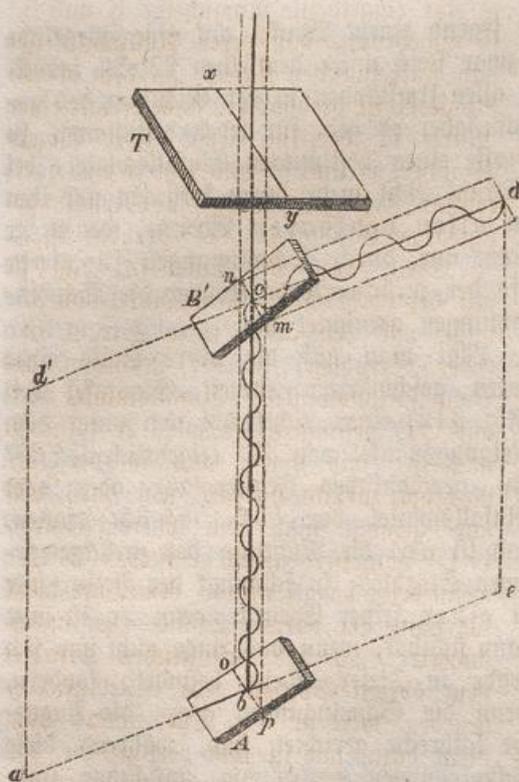
Läßt man auf die obere Seite einer unten geschwärzten ebenen Glasplatte *ab* (Fig. 312) einen Lichtstrahl *mn* unter dem Neigungswinkel von  $35^\circ$  (eigentlich  $35^\circ 25'$  für gewöhnliches Fensterglas) oder dem Einfallswinkel von  $55^\circ$  ( $54^\circ 35'$ ) fallen, und ist *nn'* die Richtung des zurückgeworfenen Strahles; so schwingt der Aether nur in einer seiner Ebenen, denn er ist nur dann sichtbar, wenn das Auge nicht nur sich grade in dieser Ebene befindet, sondern, wenn die Schwingungen gegen die Augenaxe lothrecht gerichtet sind, während diese Schwingungen vollständig unsichtbar sind,

wenn sie in der Richtung der Augenaxe stattfinden.

Fängt man nämlich den zurückgeworfenen Strahl *nn'* mit einer zweiten oberhalb geschwärzten Glasplatte auf und hält sie zunächst der Tafel *ab* parallel; so wird der auf sie gekommene Strahl unter einem gleichen Winkel nach *n'm'* zurückgeworfen und das Auge sieht das Licht. Dreht man aber die zweite Tafel um die Linie *nn'* als Axe so, daß ihr Neigungswinkel sowohl gegen sie, als auch gegen *n'm'* derselbe bleibt, nämlich  $35^\circ$ ; so ist das Licht bei  $90^\circ$  Drehung verschwunden, erscheint bei  $180^\circ$  wieder, verschwindet abermals bei  $270^\circ$  und ist nach vollendeter Drehung wie anfänglich sichtbar. In den Zwischenpunkten findet eine allmähliche und abwechselnde Ab- und Zunahme der Lichtstärke statt.

Das durch die erste Tafel, den Polarisationspiegel, in dieser Weise veränderte und in der Richtung *nn'* fortgehende Licht heißt polarisirt und der Einfallswinkel des Strahles *mn* gegen die erste Tafel der Polarisationswinkel; die zweite Tafel heißt Zerlegungsspiegel (Analyseur).

Der Vorgang bei den Schwingungen läßt sich aus Fig. 313 übersehen. *ab* ist der auf die erste Platte *A* fallende Strahl, *bc* die Richtung des zurückgeworfenen und die zweite hier parallel gezeichnete Platte *B* unter demselben Winkel treffenden und *cd* die Richtung des



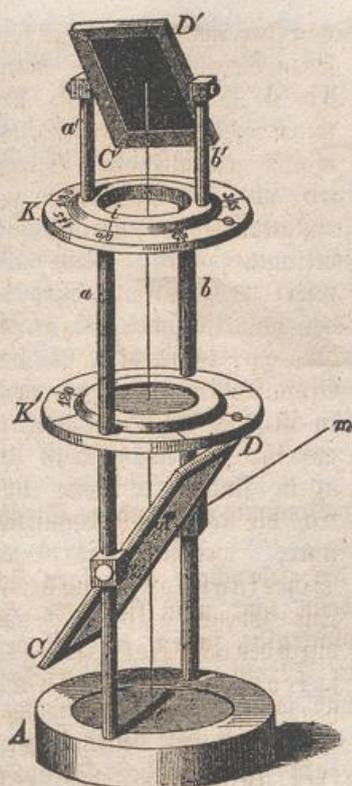
(Fig. 313.)

Ist nun der Zerlegungsspiegel B mit der ersten Platte A parallel, so wirft er die Schwingungen derselben vollständig und so zurück, daß sie auf dem Strahle cd und auf der Polarisationsebene lothrecht geschehen.

Die Einfallsebene  $abcd'$  und die Polarisationsebene  $bcde$  fallen in eine Ebene oder die eine ist die Erweiterung der anderen; die Schwingungsebene steht auf beiden lothrecht, welches auch der Fall ist, nachdem man B um  $180^\circ$  gedreht hat. Ist die Drehung von B um  $90^\circ$  oder um  $270^\circ$  geschehen, so verschwinden die auf  $cb$  lothrechten und nur in der Schwingungsebene geschehenden Schwingungen in der Platte B und geschehen in unwirksamer Weise nur noch in der Richtung des zurückgeworfenen Strahles; es stehen in diesen zwei Fällen die Einfallsebene und Polarisationsebene auf einander lothrecht.

Zur bequemen Beobachtung der Polarisationserscheinungen hat man verschiedene Apparate angegeben. Fig. 314 stellt den von Nörrenberg dar. A ist ein runder Fuß, welcher in der Mitte eine spiegelnde Glasstafel hat und gegen den Rand zwei Ständer a und b trägt; am Ende des ersten Drittels derselben ist um eine horizontale Axe drehbar die geschliffene Glasstafel CD, am Ende des zweiten und letzten Drittels

von der zweiten zurückgeworfenen Strahles; — die Ebene  $abcd'$ , welche durch den unter dem Polarisationswinkel einfallenden Strahl ab und den polarisirt zurückgeworfenen Strahl bc bestimmt wird, heißt die Einfallsebene. Wird in der polarisirenden Platte A die  $op$  lothrecht auf der Einfallsebene angenommen, so ist auch die Ebene  $mno$  auf ihr lothrecht und in ihr allein finden lothrecht auf  $bc$  die Aetherschwingungen statt, weshalb sie auch Schwingungsebene heißt. Die Ebene  $cdeb$ , welche durch den vom Zerlegungsspiegel zurückgeworfenen und den polarisirten Strahl bestimmt wird, heißt Reflexionsebene oder auch Polarisationsebene.



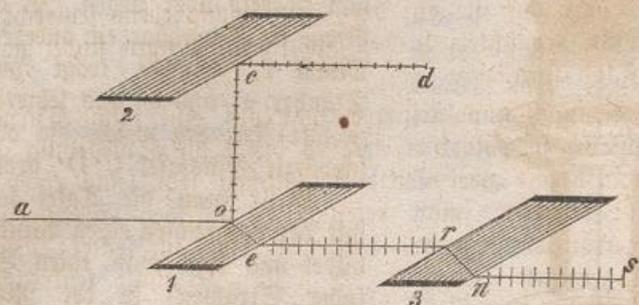
(Fig. 314.)

je eine eingetheilte Ringscheibe  $K$  und  $K'$  so angebracht, daß deren Nullpunkte genau übereinander liegen. In dem oberen Ringe  $K$  ist drehbar ein anderer mit einer Marke  $i$ , derselbe trägt zwei kürzere Ständer  $a'$  und  $b'$  und letztere eine horizontale Axe, um welche die oberhalb geschwärzte Glastafel  $C'D'$  drehbar ist.

Stellt man die Tafel so, daß sie mit der Lothrechten einen Winkel von  $35^\circ$  bildet und läßt man einen Strahl  $mn$  (oder Strahlen) in der Richtung des Polarisationwinkels (Einfallswinkel  $55^\circ$ ) auf  $CD$  gelangen, so wird er lothrecht nach  $mc$  und von  $c$  aus in derselben Richtung zurückgeworfen, geht durch  $CD$  und gelangt nach dem oberen Spiegel  $C'D'$  polarisirt unter demselben Winkel, wenn beide parallel sind. Nun kann durch Drehung der oberen Ständer bei unveränderter Lage des auffallenden Strahles dem oberen Spiegel jede beliebige Lage gegeben werden. — Der untere Ring dient dazu, um in ihm verschiedene, das Licht polarisirende Körper anzubringen.

Es ist eine bemerkenswerthe und durchgreifende Thatsache, daß, wenn ein Lichtstrahl, welcher die Oberfläche eines Körpers unter dem Winkel der vollständigen Polarisation trifft und hier theils von dem Körper zurückgeworfen, theils in ihm gebrochen wird, der zurückgeworfene Strahl auf dem gebrochenen lothrecht steht, daß der gebrochene Strahl dann ebenfalls polarisirt ist, daß aber die Polarisationsebene des gebrochenen Strahles auf der des zurückgeworfenen lothrecht steht.

Nimmt man zur besseren Darstellung der Erscheinung statt einer einfachen Glasscheibe einen Satz von 8 bis 10 Plättchen aus weißem Glase und läßt einen Strahl  $ao$  (Fig. 315) unter dem Polarisationwinkel auffallen, so wird er theils durch Zurückwerfung nach  $oc$  polarisirt und die Schwingungen geschehen, wenn  $oc$  lothrecht auf dem Horizonte ist, horizontal, senkrecht auf der Einfallsebene und parallel mit der zurückwerfenden Ebene des ersten Plättchensatzes, theils dringt er in das Glas in der Richtung  $oe$  und geht von  $e$  aus in der Richtung  $er$  parallel mit  $ao$  weiter, aber die Schwingungen geschehen hier auch nur in einer Ebene und zwar lothrecht auf  $er$  und parallel mit der Ein-



(Fig. 315.)

fallsebene  $aoe$ , so daß also auch der durch Brechung entstandene Strahl  $er$  polarisirt ist.

Der zurückgeworfene Strahl  $oc$  und der gebrochene  $er$  zeigen sich in ihrem Verhalten grade entgegengesetzt; denn läßt man sie beide auf einen neuen mit dem ersten parallelen Glasplattensatz fallen,  $oc$  auf den zweiten,  $er$  auf den dritten; so wird jener Strahl nach  $ed$  zurückgeworfen, dieser aber nach  $ns$  durchgelassen und jener wird nicht durchgelassen, dieser nicht zurückgeworfen. Dreht man jeden der beiden letzten Plattensätze mit Festhaltung der Lage des auf sie fallenden Strahles um  $90^\circ$ , so tritt der umgekehrte Fall ein: beim zweiten Satze ist der zurückgeworfene, beim dritten der gebrochene Strahl verschwunden. Der verschiedene Schwingungszustand in beiden Fällen ist seiner Richtung nach in der Zeichnung durch die in der Ebene des Papiers liegenden, auf  $er$  und  $ns$  lothrechten Striche einerseits und durch die auf dieser Ebene senkrechten, im Querschnitte als Punkte sich darstellenden Striche auf  $oc$  und  $ed$  andererseits angegeben.

**Polarisation der Krystalle.** Ein merkwürdiges Verhalten in Beziehung auf die Polarisation zeigen die Krystalle, namentlich der Turmalin, weil ja bei ihnen eine durch mathematische Gesetze bedingte Anordnung selbst ihrer kleinsten Massentheile stattfindet.

Bei Krystallen nennt man Hauptaxe diejenige durch sie gehende Linie, bei welcher die auf ihr senkrechten Schnittflächen auf eine regelmäßige Weise durch die Oberfläche\* des Krystalles begränzt werden. Schleift man aus einem Turmaline dünne Plättchen, deren Oberflächen mit der krystallographischen Hauptaxe parallel sind, so können dieselben statt des Zerlegungspiegels angewendet werden. Wird in dem Apparate Fig. 313 der Zerlegungspiegel weggenommen und dafür eine Turmalinplatte  $T$  so gelegt, daß die Hauptaxe  $xy$  mit der Schwingungsebene  $mno$  zusammenfällt (oder daß  $xy$  auf der Polarisationsebene

bode senkrecht steht), so geht das Licht durch die Platte; wird der Krystall so gedreht, daß die Hauptaxe  $xy$  grade in der Polarisations-ebene liegt (oder daß sie auf der Schwingungsebene senkrecht steht), so wird das Licht vernichtet; in den Zwischenstellungen findet natürlich ein Zwischenzustand statt.

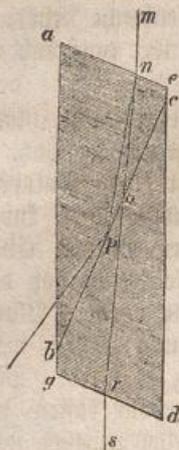
Fällt demnach unpolarisirtes Licht auf eine solche Turmalinplatte, so wird dasselbe so polarisirt, wie es durch die Spiegelung geschah. — Man kann also aus zwei Turmalinplättchen sehr leicht einen Polarisationsapparat erhalten: man befestigt sie an den Enden einer kurzen Röhre in paralleler Lage so, daß das eine in seiner eigenen Ebene drehbar ist. Liegen die Axen der beiden Krystalle senkrecht vor dem Auge, so erscheint das Gesichtsfeld hell; dreht man die vordere Platte, so verdunkelt sich dasselbe und erscheint bei  $90^\circ$  Drehung, oder wenn die Axen aufeinander lothrecht stehen, ganz schwarz u. s. w. Man kann auch jeden Krystall in eine bestimmte Kapsel drehbar fassen und diese durch eine Art Zange so verbinden, daß sie parallel nebeneinander sich bringen lassen. Diese Einrichtung heißt die Turmalinzange.

Weil Turmaline, namentlich wenn sie recht klar sein sollen, kostspielig sind, hat Nikol aus Doppelspathkrystallen, welche man meist sehr durchsichtig hat, eine sinnreiche Vorrichtung erdacht, welche bei Untersuchungen zu technischen Zwecken vielfache Anwendung findet.

Schneidet man aus einem Kalkspathkrystalle ein dreiseitiges Prisma, bei welchem die brechende Kante parallel mit der Hauptaxe ist, so zeigt ein durchgegangener Strahl sich doppelt. Der am stärksten gebrochene behält seinen Brechungsquotienten auch für andere Formen des Krystalles und heißt der ordentliche Strahl; der andere aber, der außerordentliche, ändert seine Brechungsrichtung je nach der Lage: er fällt mit jenem zusammen, wenn das Licht grade in der Richtung der Axe durch den Krystall geht; er entfernt sich von ihm am weitesten, wenn das Licht senkrecht zur Hauptaxe durch den Krystall geht.

Beide Strahlen sind polarisirt; denn hält man zwischen den die zwei Bilder zeigenden Kalkspath und das Auge eine Turmalinplatte, so wird bei deren Drehung abwechselnd das eine der beiden Bilder heller, das andere dunkler, bis eines von ihnen verschwindet, während das andere am hellsten erscheint. — Nur ein Bild entsteht dann, wenn die Axe der Turmalinplatte entweder senkrecht oder parallel zur brechenden Kante des Kalkspaths steht. Weil aber die Turmalinplatte nur solche Strahlen durchläßt, deren Schwingungsebene mit ihrer Axe zusammenfällt, solche aber nicht, die auf ihr senkrecht stehen, so müssen die Schwingungen der beiden durch den Kalkspath gegangenen Strahlen selbst aufeinander senkrecht stehen, wobei die des ordinären Strahles lothrecht zur optischen Axe, die des extraordinären parallel zu ihr erfolgen. Aus diesen Gründen läßt sich ein Kalkspathkrystall sowohl als Polarisations-

als auch als Zerlegungsspiegel verwenden, wenn man das störende außerordentliche Bild beseitigt.



(Fig. 316.)

In Fig. 316 ist der Querschnitt aedg eines Prismas dargestellt, bei welchem die Flächen so abgeschliffen sind, daß die Winkel a und d nur  $68^\circ$  statt der natürlichen  $70^\circ$  betragen; sodann ist der Krystall durch eine Ebene bc zerschnitten, die Schnittflächen sind gut polirt und die Theile durch Kanadabalsam wieder zusammen gekittet.

Fällt nun ein Lichtstrahl mn auf die Fläche ae, so wird er im Krystalle nach np und no gebrochen. Die Schnittfläche bc hat aber gerade eine solche Lage, daß der ordentliche Strahl np an ihr eine gänzliche Zurückwerfung erfährt und nur der außerordentliche in unveränderter Richtung or fortgeht und bei r nach rs, welches mit mn parallel ist, polarisirt austritt.

Wird dieser Krystall mittelst Kork\* in eine Messinghülle gefaßt, so bietet dieser Nikol einen höchst bequemen Polarisationsapparat dar.

Wenn eine vor das Auge gehaltene Turmalinplatte einen polarisirten Strahl in seiner größten Lichtstärke zeigt und man läßt ihn dann durch eine senkrecht zur Axe geschliffene Platte aus Bergkrystall gehen, so ist er verschwunden und zeigt sich erst dann und zwar mit allmählicher Entwicklung der prismatischen Farben von Roth zum Violett, wenn man den Turmalin nach rechts dreht. Bei manchen anderen Krystallen muß man ihn nach links drehen. Diese Erscheinung nennt man die Zirkularpolarisation.

Durch die erwähnten Mittel findet man, daß das Licht des heiteren Himmels polarisirt ist in einer Ebene, in welcher der beobachtete Punkt am Himmel, z. B. der Polarstern, das Auge des Beobachters und der Mittelpunkt der Sonne liegt, selbst wenn sie unter dem Horizonte ist. Ist also der Polarstern sichtbar, so kann man aus der Lage der Polarisationsebene gegen den durch das Zenith und den Polarstern gehenden Meridian stets die Zeit des Tages angeben. Darauf ist gegründet Wheatstons Polaruhr.

Das von weißen Wolken ausgehende Licht ist nicht polarisirt. — Die Kometen zeigen polarisirtes Licht, also ist es von ihnen zurückgeworfenes Sonnenlicht, wie das des Mondes und der Planeten. Weil das Mondlicht polarisirt ist, besitzt es nicht die Fähigkeit, in den irdischen Körpern Wärmeschwingungen zu erregen, selbst nicht durch Anwendung von Brenngläsern. — Das von Metallspiegeln zurückgeworfene Licht ist nicht polarisirt, wohl aber das von polirtem Holze, von einem Del- oder Wasserspiegel.

Der letztere Umstand gestattet uns in den meisten Stellungen nicht in die Tiefe des Wassers zu sehen, wenn das aus ihm kommende Licht nicht polarisirt ist. Hält man aber vor das Auge ein Nikolsches Prisma so, daß sein Hauptschnitt senkrecht zur Reflexionsebene ist, so geht das vom Wasser zurückgeworfene Licht nicht durch, wohl aber das aus dem Wasser hervortretende, man kann somit in dasselbe sehen und Fische, untergesunkene Gegenstände, etwaige Klippen u. a. erkennen.

So wie durch das Nikol der Glanz des Wasserspiegels vertilgt worden ist, kann man auch den die Betrachtung von Bildern störenden Firnißglanz beseitigen, wozu man sich zweier brillenartig gefaßter Nikols bedient.

Die Zirkularpolarisation ist anwendbar zur Prüfung der Beschaffenheit mancher Flüssigkeiten und Säfte, z. B. um den Zuckergehalt im Saft des Rohr- oder Rübenzuckers, des Syrups, der Melasse, in der Milch oder im Harne derjenigen, welche an der Zuckerharnruhr leiden, zu entdecken. Zu den rechts drehenden Flüssigkeiten gehören noch Terpentinöl, Auflösungen von Gummi, Kirschlorbeerwasser; zu den links drehenden Zitronensäure, Auflösungen von Weinsäure, Kampfer, krystallisirter Zucker. Man erkennt also durch die Polarisation die Beschaffenheit und chemische Zusammensetzung von Flüssigkeiten.

Physiologisches in Betreff des Lichtes. Die Wirkungen des Lichtes überhaupt auf die organische Welt sind zu auffallend, als daß nicht schon Jeder darauf aufmerksam geworden wäre. Weniger scheint man die Verschiedenheit der Wirkungen des direkten und des durch Zurückwerfung polarisirten Lichtes gewürdigt zu haben.

Pflanzen und Menschen erleiden in Kellerräumen, zu welchen das Licht nur wenig dringen kann. Die Pflanzen strecken begierig ihre Arme nach den Lichtstellen aus. Wenn solche im Dunkeln gezogene Schwächlinge an das helle Tageslicht gebracht, noch mehr aber, wenn sie dem unmittelbaren Sonnenlichte ausgesetzt werden, so sterben die Pflanzen häufig ab und Menschen fühlen sich ganz matt. Der sog. Sonnenstich ist besonders bei so erzogenen und gehaltenen Schwächlingen tödlich. Man meint daher gewöhnlich, daß das Sonnenlicht die Menschen schwäche, wie es in der That den Städtebewohnern, welche sich viel in oft dunklen Stuben aufhalten, scheint, wenn sie dann ausnahmsweise im Freien der Sonne sich aussetzen. Aber das Sonnenlicht ist im Gegentheile das vortrefflichste und naturgemäße Kräftigungsmittel, welches es gibt. Menschen, welche sich den Sonnenstrahlen viel aussetzen, bedürfen weniger des Schlafes und sind dabei doch noch arbeitsfähiger, als wenn sie die Sonne und ihr Licht überhaupt meiden. Im Finstern lebende Geschöpfe sind stets träge und schlaffüchtig, während die Bewohner der Lüfte munter und flüchtig sind. Man vergleiche den Höhlen bewohnenden Eskimo des sonnenarmen Nordens mit dem die Bambushütte bewohnenden Neger des glühenden Südens! Dort unüber-

windliches Phlegma, hier sprudelnde Lebendigkeit! Unsere Landleute sind im Winter verhältnißmäßig träge und bedürfen zur Stärkung vielen Schlafes. Im Sommer aber muß man staunen, daß diejenigen, welche im Freien arbeiten, trotz einer oft äußerst angestrengten Thätigkeit, wie z. B. in der Erndtzeit, durch nur wenige Stunden Schlaf vollständig gekräftigt sind. Man hat, nachdem man sich der Sonne ausgesetzt hat, ein viel geringeres Bedürfnis zu schlafen. Wahrhaft bewundernswürdig ist die Kraft, Ausdauer und Leistungsfähigkeit der Neger, auf deren Körper die Sonne wegen der Hautfarbe einen noch größeren Einfluß hat. Wenn in unseren geographischen Breiten die Arbeitsleute während der freien Zwischenzeiten am Tage sich in den Schatten legen; so ist dies weniger zu billigen, als wenn sie ihren ganzen Körper der Sonne aussetzen und ihn möglichst senkrecht bescheinen lassen.

Es findet beim Bescheinen durch die Sonne jedenfalls eine Uebertragung der in den Aetherschwingungen liegenden lebendigen Kraft auf den organischen Körper, namentlich auf die Muskeln, statt.

Man sollte bei der Anlage neuer Straßen stets eine solche Richtung wählen, daß die Wohnräume wenigstens während eines großen Theiles des Tages unmittelbares Sonnenlicht erhielten. Selbst für Schlafgemächer ist eine zu große Dunkelheit nachtheilig und stärkt das Bedürfnis zur Verlängerung der Zeit zum Schlafen. Sparsamkeit in der Menge und Größe der Fenster ist also auch nicht angemessen und es kann keine unsinnigere Steuer geben, als die Fenstersteuer, weil durch sie das Licht für die Häuser einer Beschränkung ausgesetzt ist. — Gefängnisse mit wenig Licht sind Anstalten, um Menschen langsam zu morden. Auch in Viehställen sollte man viel weniger sparsam mit dem Lichtgeben sein, namentlich beim Zugviehe.

Weniger auffällig, als der Unterschied des Einflusses zwischen Licht überhaupt und Finsterniß ist der zwischen unmittelbarem und mittelbarem Licht.

In dieser Beziehung sind die Pflanzen, namentlich deren Blüthen, empfindlicher, als die Thiere. Es gibt eine ganze Menge von Pflanzenarten, deren Blüthenkelche sich nur bei einem gewissen Stande der Sonne über dem Horizonte der Sonne gegenüber ausbreiten, so daß also die Aetherschwingungen möglichst parallel zu den Flächen der Blätter sind. Wenn man also die Frage aufwirft: Warum stellen sich die Blüthen und Blätter der Pflanzen so, daß die Sonnenstrahlen möglichst senkrecht auf ihre Oberfläche stehen? so möchte die Antwort lauten: Weil sie durch die Aetherschwingungen so gestellt werden, daß diese mit ihnen parallel laufen, um so von ihnen am wenigsten (bei vollkommen paralleler Lage gar nicht) gestoßen zu werden; sie sind der Stoßrichtung ausgewichen, wenn sie sich parallel mit den Schwingungen gestellt haben.

Wenn sich die Pflanzen nachmittags oder abends, wie man zu sagen pflegt, schlafen legen, wobei viele Akazienarten die vorher ausge-

breiteten Blätter herabsenken und zusammenlegen, so ist das Sonnenlicht mehr polarisirt. Es dürfte wohl kaum zu bezweifeln sein, daß das polarisirte Licht auch auf das thierische Leben von Einfluß sein muß; was wir mehr und mehr erkennen werden, wenn wir uns bemühen, der Natur in ihrem geräuschlosen Wirken die Geheimnisse abzulauschen. Das durch Zurückwerfung polarisirte Licht ist also wohl auch dem Wohlbe-  
finden der Menschen weniger zuträglich, als das unmittelbare.

Die strahlende Wärme erfährt zwar auch eine Polarisation; weil aber die dahin einschlagenden Betrachtungen keine Verwerthung zu praktischen Zwecken zulassen, so übergehen wir sie in diesem mehr für das bürgerliche Leben bestimmten Buche.

## Sechster Abschnitt.

### Beugung der Wellen.

Wenn eine fortschreitende Welle eine Wand mit einer kleinen Oeffnung trifft, so wird diese durch den Eintritt eines kleinen Theiles eines Wellenberges, also eines Wellenhügels, der Mittelpunkt eines neuen Wellensystems jenseits der Wand; ist die Oeffnung aber größer, so geht der mittlere Theil der Welle ungestört durch und setzt sich jenseits fort, außerdem aber bilden sich an den Rändern durch die Stauung neue Wellensysteme, zu welchen die Gränzpunkte an den Rändern die Mittelpunkte sind.

Es ist aus früheren Betrachtungen klar, daß im zweiten Falle aus den zwei neuen Wellenzügen Interferenz- und Koinzidenzerscheinungen sich bilden müssen.

Geht also durch die Oeffnung die Kreiswelle eines Wasserspiegels, so kommen jenseits derselben Stellen vor, in welchen auf die Thäler des einen Systems die Berge des anderen fallen und andere, in denen Berg mit Berg, Thal mit Thal zusammentrifft. Auf diese Weise verbreitet sich die Wellenbewegung zu beiden Seiten der Oeffnung jenseits der Wand in einer größeren Breite fort, als es der Durchmesser der Oeffnung angibt.

Man sieht also bei den Kreiswellen des Wasserspiegels hinter der Oeffnung nach beiden Seiten auswärts gerichtete, gewissermaßen gebeugte Fortsetzungen der Strahlen; man hört bei den kugelförmigen Schallwellen auch seitwärts von der Oeffnung oder um die Ecke und zwar tiefe Töne mit ihren breiten Wellen besser, als hohe, abgesehen davon, daß vielleicht auch die Wand den Schall fortleiten kann, aber

Interferenz kann beim Schalle wegen zu großer Weite des Gehörganges und der zu großen Breite der Wellen niemals eintreten; man sieht endlich auf einer das durchgegangene Licht auffangenden vorgehaltenen Wand eine umfangreichere Erleuchtung, als sie die Oeffnung zulassen würde, wenn die Lichtstrahlen nur in grader Richtung an den Gränzen der Oeffnung vorüber und durchgingen.

Bei der Biegung der Kreiswellen sind Adhäsion, Kohäsion, Reibung, Stoß und Gewicht der Flüssigkeit zu berücksichtigen; bei der von den Schall- und Lichtwellen noch die Elastizität

Wenn man in die Durchgangsöffnung einen schmalen Gegenstand hält, so wird die Erscheinung noch etwas zusammengesetzter. Es sind zwei Oeffnungen und die Wirbel und Interferenzen sind in den beiden Fällen einander entgegengesetzt. Es bieten in dieser Beziehung besonders die Lichtwellen eine Reihe der interessantesten Erscheinungen dar, von welchen wir Einiges anführen wollen.

Wir lassen zunächst jede von den sieben einfachen Farben, welche wir durch das Prisma erhalten, einzeln entweder durch eine feine Oeffnung in einem Staniolstreifen oder durch den feinen Spalt zwischen zwei Schneiden (Diffraktionschneiden) lothrecht gehen und fangen das Bild in einer Entfernung von 6 bis 10 Fuß auf. In jedem Falle trägt das Bild in seiner Mitte die betreffende Farbe und zu beiden Seiten in gewissen Abständen abwechselnd helle und dunkle Streifen, welche beim Roth am breitesten sind und nach dem Violett hin immer schmaler werden.

Für die hellen Streifen ist der Gangunterschied der von zwei entgegengesetzt liegenden Punkten des Spaltes kommenden Wellen ein grades Vielfache der halben Wellenlänge; für die dunklen Streifen ein ungrades Vielfache davon; dort ist Koïnzidenz, hier Interferenz. (Vergl. Fig. 271).

Für das violette Licht ist der Abstand der hellen und dunkeln Stellen von der Mitte des Spektrums ungefähr die Hälfte von dem im rothen, was mit der früheren Bemerkung, daß zu Violett fast doppelt so viele Schwingungen (oder halbe Wellenlängen) gehören, als zum Roth, übereinstimmt.

Es läßt sich natürlich auch aus diesem Versuche die Wellenlänge für die einzelnen Farben angeben.

Läßt man nur weißes Sonnenlicht durch den Spalt gehen, so bildet jede seiner Farben ihr eignes Spektrum und alle sieben Spektren würden einander vollkommen decken, wenn sie gleiche Breite hätten, was aber nicht der Fall ist; denn Violett hat das schmalste, Roth das breiteste und daher zeigt das Bild auf den Innenseiten (zu beiden Seiten der weißen Mitte) violett, auf den Außenseiten Roth mit abnehmender Lichtstärke.

Ist der Spalt schief gegen die ankommenden Strahlen, so ist der Gangunterschied der Strahlen zu beiden Seiten desselben verschieden

und die Spektre sind an dem dadurch entstandenen stumpfen Winkel zahlreicher und breiter.

Bringt man in den Spalt eine ganz feine Schneide (selbst auch u. a. eine Stricknadel), so ist der Schatten von ihr breiter, als es bei gradliniger Fortpflanzung des Lichtes zu erwarten stände, hat in der Mitte sogar eine Lichtlinie und außerhalb farbige Ränder, welche beim weißen Lichte auf der inneren Seite roth, auf der äußeren blau, also grade in umgekehrter Ordnung gegen den obigen Fall gefärbt sich zeigen. Die Ränder verschwinden, sowie man das Licht nur an der einen Seite der Schneide vorübergehen läßt, was ein sehr deutliches Zeichen davon ist, daß die Erscheinung nur durch das Zusammenwirken zweier Lichter entsteht.

Die prachtvollsten Farbenercheinungen zeigen sich aber, wenn man das Licht durch ein feines Drahtgitter, dessen Maschen sehr verschiedene Formen haben können, oder durch eine Gruppe von beliebig geformten gleichmäßigen Oeffnungen, durch zwei unter einem beliebigen Winkel einander kreuzende Stabgitter, durch feine auf einem mit Goldblatt belegten Glase radirte Linien, durch Flor, Mouffelin u. dergl. gehen läßt. — Noch mannigfaltiger und schöner werden die Erscheinungen, wenn man mehre leuchtende Punkte durch ein ruhendes oder bewegtes einfaches oder zusammengesetztes Stabgitter betrachtet. Man kann auch zwei oder mehre Farben durchgehen lassen und dadurch erhält man außerordentlich schöne Farbenercheinungen.

Wenn spiegelnde Flächen gestreift sind, wie man sie u. a. erhält, wenn man die Oberfläche der aus zarter Schichten bestehenden Perlmuttermuschel abschleift, bis sie glänzt; so erscheinen hübsche irisirende oder schillernde Farben, weil auch hier das Licht von verschiedenen, nahe hintereinander liegenden Punkten ausgeht. Werden die Körper mit solchen engen und parallelen Streifen im Sonnenlichte gedreht, so müssen sie alle möglichen Farben spielen. Man hat diese Erscheinung zur Anfertigung der Irisknöpfe (Barton) benützt. Da auch die Abdrücke derselben auf Siegellack, Blei, Zinn oder Wachs die Farben zeigen, so ist also nur die Gestalt der Oberfläche der Grund davon und nicht die Beschaffenheit des Stoffes. Eben darauf beruht auch das Schillern matter Fensterscheiben, der Flügel mancher Insekten, mancher Seidenzeuge, fein getheilter Maßstäbe u. dergl.

Der sogen. Heiligenschein um den Schatten eines erleuchteten Kopfes auf dichtem Nebel, so wie die Höfe um Sonne und Mond, welche öfters auch gefärbt erscheinen, sind ebenfalls Beugungsercheinungen.

Steht die Sonne nur wenige Grade über dem Horizonte und sieht man im Herbst, wenn die Felder mit feinen Spinnengeweben ganz überzogen sind, auf sie gegen die Sonne, so erscheinen ebenfalls Beugungsfarben; bei Thau sind es in diesem Falle Brechungsfarben. — Will man auf

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 Thatfachen 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 gerade 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.

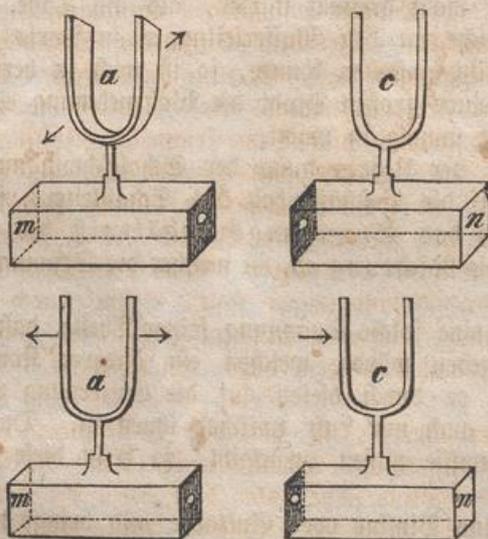
Liegt auf dem Tische eine Violine oder Gitarre und bringt man in einiger Entfernung davon mit einem dergleichen Instrumente oder irgendwie, auch singend, verschiedene Töne hervor, so werden die Saiten jenes Instrumentes sofort miltönen, wenn die ihnen zukommenden Töne hervorgebracht werden und selbst 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 hochtönigen 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 flüßig wird, wenn er eine ganz bestimmte Wärme angenommen hat und daß der erhaltene flüßige 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, verschiebt 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 (vorkäufig 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.

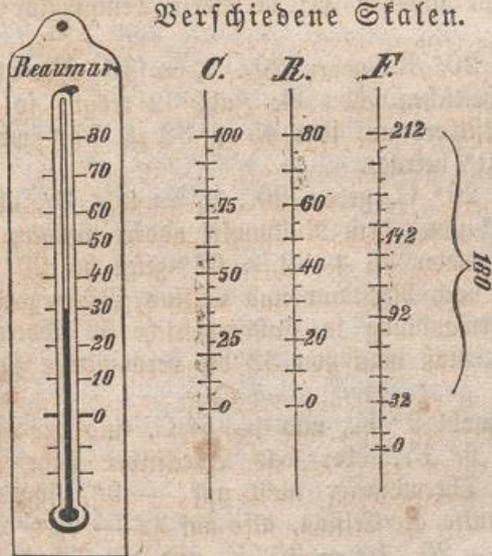
Die Entfernung zwischen jenem Schmelz- und diesem Siedepunkte wird nun in eine beliebige Anzahl gleicher Theile getheilt und solche Theile, welche man Grade nennt, werden noch von beiden Punkten ab- und aufwärts aufgetragen; die ersteren, also unter Null befindlichen, heißen Kältegrade und werden kurz 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 genauer 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 statthaft 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

$$1° R. = \frac{1}{4}° C. = \frac{9}{4}° F.,$$

$$1° C. = \frac{4}{5}° R. = \frac{9}{5}° F. \text{ und}$$

$$1° F. = \frac{5}{9}° R. = \frac{4}{9}° C. \text{ ist.}$$

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  $1° C. = \frac{4}{5}° R.$ , aus 20° C. werden also  $20 \cdot \frac{4}{5} = 16° R.$  oder man muß die Anzahl der Zentesimalgrade mit  $\frac{4}{5}$  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  $\frac{9}{4}° F.$  und 20° R. geben  $20 \cdot \frac{9}{4} = 45° F.$ , aber da der Nullpunkt des Fahrenheit'schen schon die Zahl 32 trägt, so ist der wirkliche Stand des Quecksilbers auf ihm  $45 + 32 = 77°$ , wenn der auf dem Reaumur'schen 20° beträgt.

1° C. gibt  $\frac{9}{5}° F.$  und 20° C. geben  $20 \cdot \frac{9}{5} = 36° F.$ , aber auch hier müssen noch die 32° unter dem Nullpunkte addirt werden, so daß das Fahrenheit'sche Thermometer  $36 + 32 = 68°$  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  $32 - 9 = 21$ .

Oder — 20° C. geben —  $20 \cdot \frac{9}{5} = 36° F.$  und der Stand bei letzterem ist  $32 - 36 = -4$ , 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.

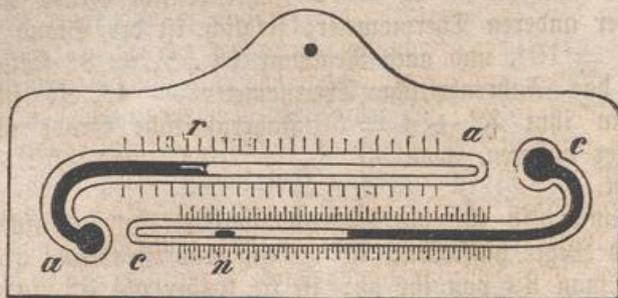
Man kann die Quecksilberthermometer anwenden bis zu  $+360$  und  $-35^\circ \text{C.}$ ; aber darüber hinaus kommt man in jenem Falle dem Siedepunkte ( $+400^\circ \text{C.}$ ), in diesem dem Gefrierpunkte ( $-40^\circ \text{C.} = 32^\circ \text{R.}$ ) des Quecksilbers zu nahe, so daß die Ausdehnung 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 Gränzfläche 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 Metalle 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  $60^{\circ}$  und 1 Pfund Leinöl von  $90^{\circ}$  geben untermengt  $70^{\circ}$ , also verliert Leinöl  $20^{\circ}$ , während Wasser nur  $10^{\circ}$  gewinnt. — Wird 1 Pfund Wasser von  $90^{\circ}$  zu 1 Pfund Leinöl von  $60^{\circ}$  gethan, so gibt das  $80^{\circ}$  im Gemenge, so daß Leinöl  $20^{\circ}$  gewinnt, während Wasser nur  $10^{\circ}$  verliert. — Daraus folgt, daß die Wärmekapazität des Wassers doppelt so groß, als die des Leinöls ist.

Ein Pfund Wasser von  $20^{\circ}$  und 1 Pfund Eisen (vielleicht in Feilspännen) von  $60^{\circ}$  geben  $24^{\circ}$  oder 1 Pfund Wasser von  $60^{\circ}$  und 1 Pfund Eisen von  $20^{\circ}$  geben  $56^{\circ}$ . 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 Oekonomie 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 (2 $\frac{1}{4}$  : 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  $10^{\circ}$  Wärme in eine so große Stube, worin die Luft eine Temperatur von  $20^{\circ}$  zeigt, so ist nach Ausgleichung der Wärme in dem Raume die Luft nur noch  $15^{\circ}$  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 Kohlen säure in einen luftleeren kalten Raum als einen dünnen Strahl strömen, so ist die dabei entwickelte Kälte (60°) so groß, daß die Kohlen säure 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 Mitleuchten 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.

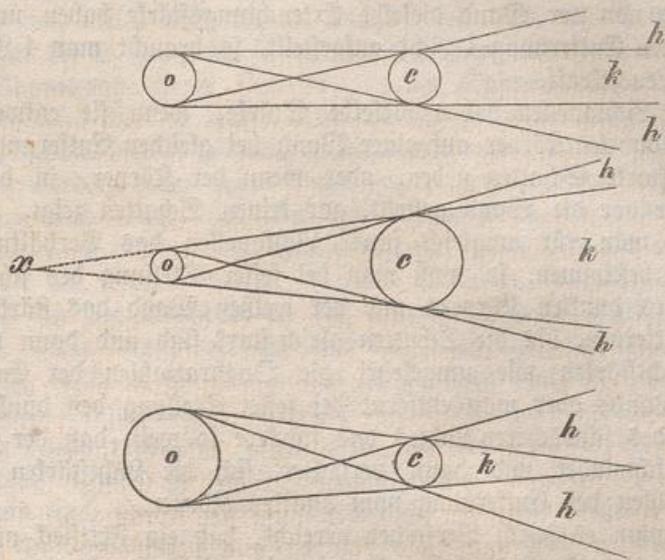
Nehmen wir an, daß der leuchtende und der beleuchtete undurchsichtige Körper kugelförmig sind, wie es bei den Himmelskörpern stattfindet, so können wir uns drei Fälle denken, welche durch die Fig. 320 dargestellt werden:

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 Zerstreung 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 Wachslight, 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 Verfinsternung 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 Verfinsternung noch eine nur theilweise oder partiale ist, erscheint der Erdschatten grau; beim Eintritte der gänzlichen oder totalen Verfinsternung 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 Verfinsternung 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-

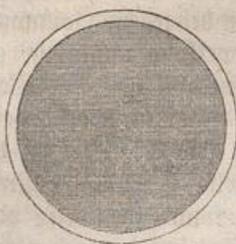


(Fig. 321.)

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 schein 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.



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.