



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

**Spiller, Philipp**

**Berlin, 1866**

Erster Abschnitt. Allgemeine Erscheinungen.

---

[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 Nutz- anwendungen 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 Schwingungserrscheinungen 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.

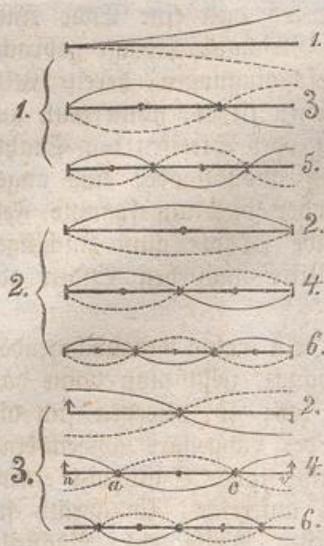
2) Die Längenschwingungen. Ist ein ruhig herabhängender Gummischlauch durch ein Gewicht mäßig gespannt, zieht man dann das Gewicht noch etwas nach unten und läßt es los; so bewegen sich die Theilchen des Schlauches in der Richtung der Längensaxe abwechselnd auf- und abwärts. Wenn man eine angespannte 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.

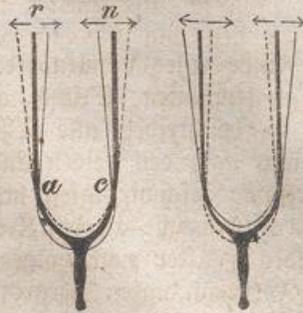
Seilwellen. Bewegt man das freie Ende eines dünnen, etwa 8 Fuß langen, angebundenen und nicht angespannten Seiles oder Gummischlauches zuerst langsam im Kreise, so beschreiben alle Theile desselben auch Kreise, welche von der Mitte aus nach den beiden Enden kleiner werden. Bei etwas vergrößerter Drehungsgeschwindigkeit 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.



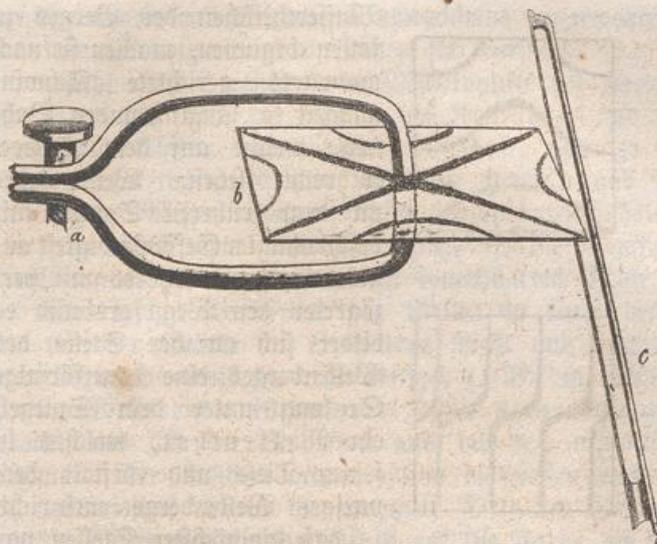
(Fig. 256.)

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.

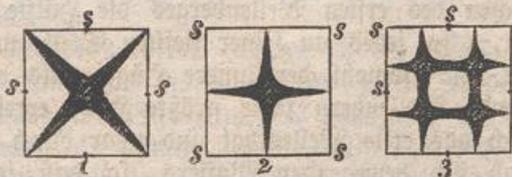
Stabwellen. Beschreibt man mit dem einen Ende eines dünnen und langen

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),



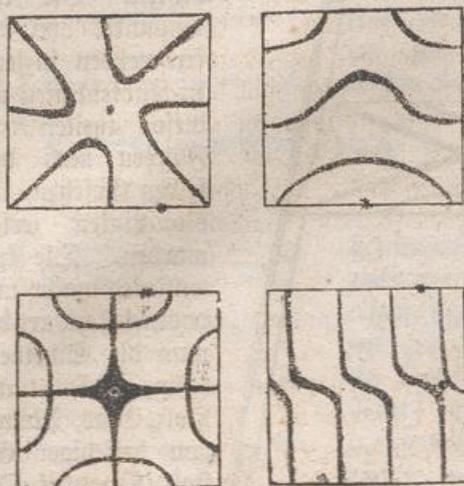
(Fig. 258.)

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.

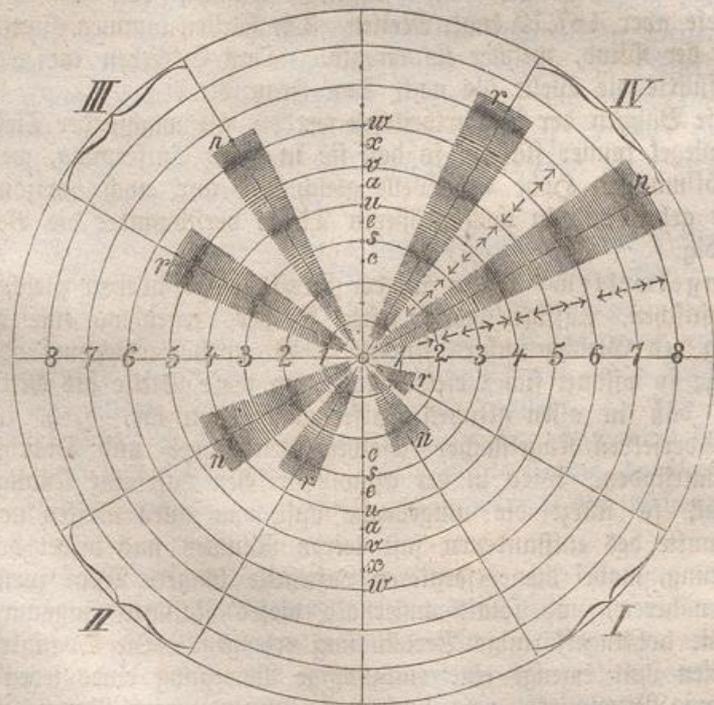
Die Bahnen der Wassertheilchen werden mit wachsender Tiefe unter dem Spiegel immer flacher, so daß sie in einer Entfernung, welche der etwa 350maligen Höhe der Welle gleich ist, nur noch horizontal hin und her gehen und in noch größeren Tiefen verschwindet die Bewegung vollständig.

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, Knallsilber) 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 Kugelwellen. 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.

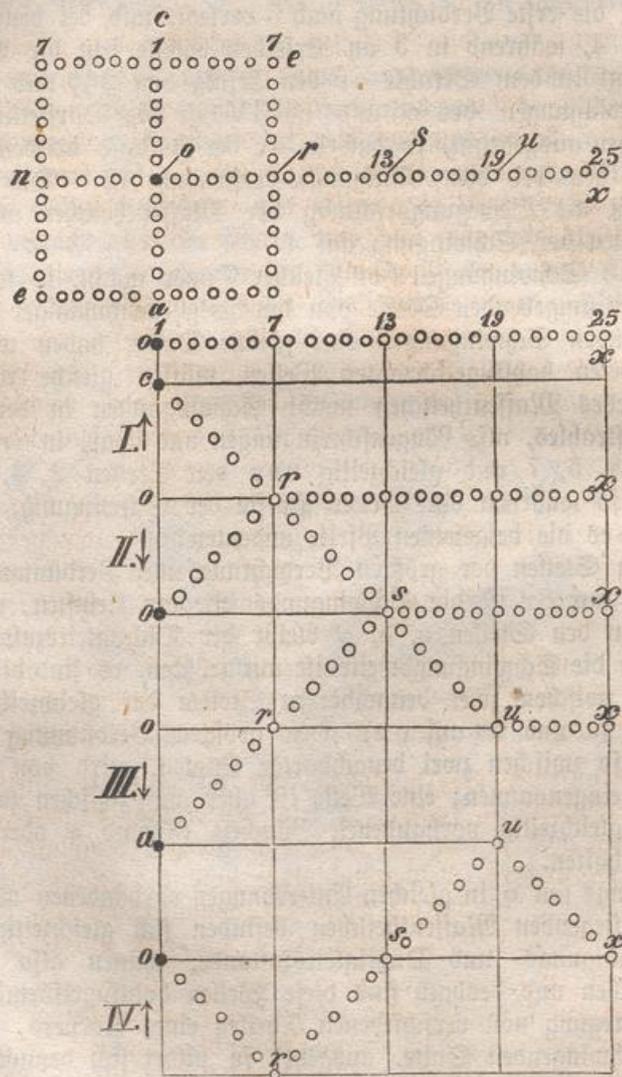
Wenn o Schwingungen von gleicher Dauer macht, so werden auch die in einem umgebenden Stoffe von durchweg gleichmäßiger Beschaffenheit entstehenden Schwingungen eine gleiche Dauer haben und die dadurch gebildeten hohlkugelförmigen Wellen müssen gleiche Abmessungen besitzen. Jedes Massentheilchen macht 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 Elasticität 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 Kugeloberfläche 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 Grenzen 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.

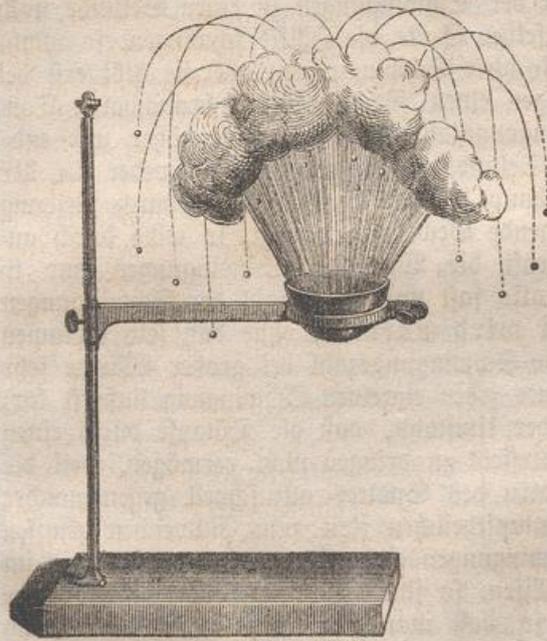
Wird ein Stück Eisen (Nagel, Messer) an einen rasch gedrehten trockenen Schleiffstein gedrückt, so wird das Eisen nicht nur sehr heiß, sondern geräth in sichtbare Lichtschwingungen, indem glühende Theile von ihm in geschmolzenem Zustande abspritzen. In diesem Falle sind also fühlbare und sichtbare Schwingungen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

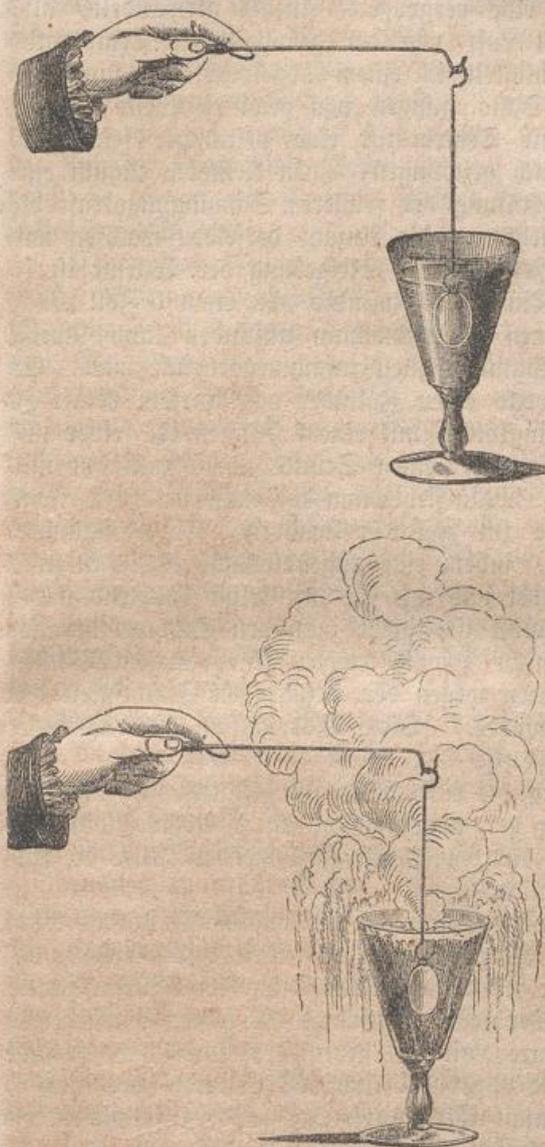


(Fig. 262.)

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.)

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

Spiller, Physik.

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

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, Thürpfosten, 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 lebenvolles 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.

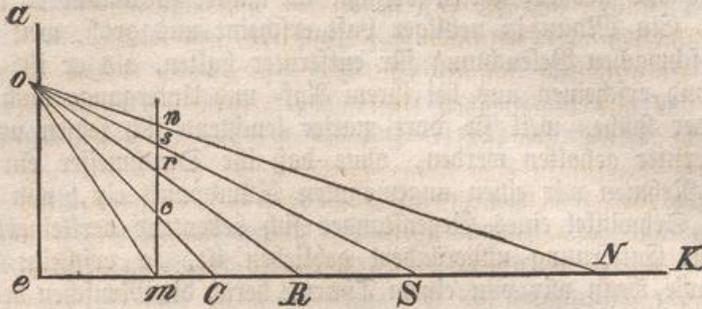
2) Ebenfowenig können wir Entfernungen sehen oder hören, sondern nur aus begleitenden Umständen beurtheilen und werden daher auch nicht selten getäuscht. Schwachen Kanonendonner setzen wir in eine große, starken in eine kleine Entfernung; von einem uns matt erscheinenden Berge meinen wir, daß er entfernt, 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 verzerrten Zeichnung auf der Ebene die natürliche Gestalt der Figur. Man kann die verzerrte 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 Feueergewehr 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 mäffiger, 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

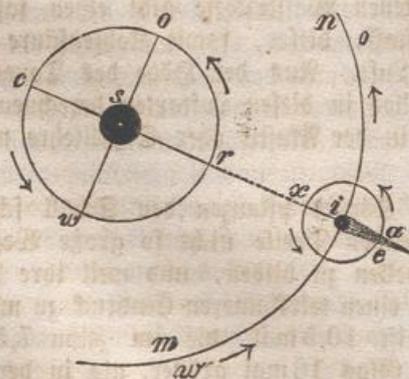
deshalb nicht zu verwundern, daß der Kanonendonner bei der Belagerung von Antwerpen im Jahre 1830 bis in den Harz vernommen wurde. — Einen silbernen Löffel, welcher in die Mitte eines Fadens gebunden ist, dessen Enden in die Ohren oder mit den Zähnen gehalten werden, hört man sehr stark tönen, wenn man 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 Wärmerscheinung 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 auflebt: 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 lothrechter 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.

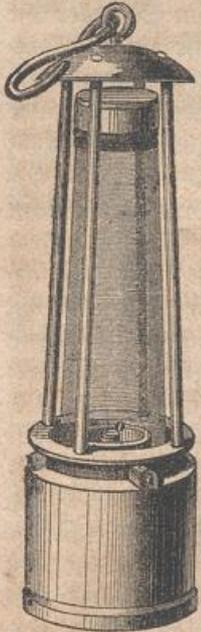
Davon, daß Wasser nicht ein guter Wärmeleiter ist, überzeugt man sich, daß eine auf kaltes Wasser gegossene Schicht von siedendheißem Del dasselbe nach unten nur sehr langsam erwärmt.

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 Defen 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.

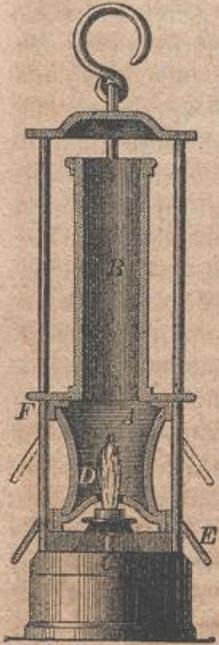
Wird ein feines Metalldrahtgeflecht über eine Flamme gehalten, so wird diese dadurch abgekürzt, weil das Metall die Wärme allzuschnell ableitet, als daß die zum Verbrennen dienende Luft noch die hinreichende Wärme behält. In Bergwerken wird daher mittelst der Sicherheitslampe von Davy, bei welcher die 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.



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 Seidenschnüre 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.

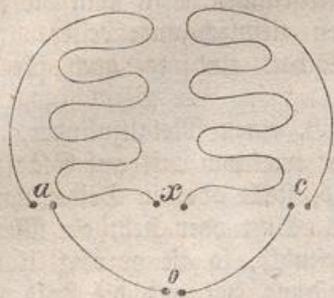
In dem chemisch reinen Kupfer beträgt die Geschwindigkeit der Elektrizität über 60000 Meilen in 1 Sekunde. Dieses hat man auf verschiedene höchst sinnreiche Weise ermittelt. Wir wollen nur eine davon auführen, welche zugleich die Dauer des elektrischen Funkens erkennen läßt.

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 mittelste allein ist noch mit seinem Anfangspunkte vor- oder rückwärts verschoben, jenachdem der Spiegel gedreht wird, welches ein Zeichen davon ist, daß der mittelste 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.

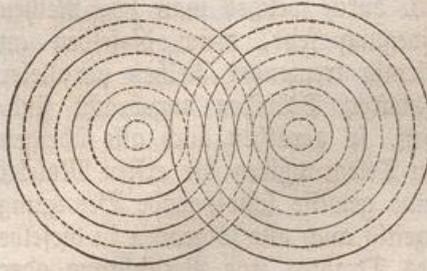
Von der Geschwindigkeit des Magnetismus kann nicht die Rede sein, da er, wie wir sehen werden, ein erzwungener Ruhezustand nach einer vorhergegangenen Bewegung ist.

#### 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.

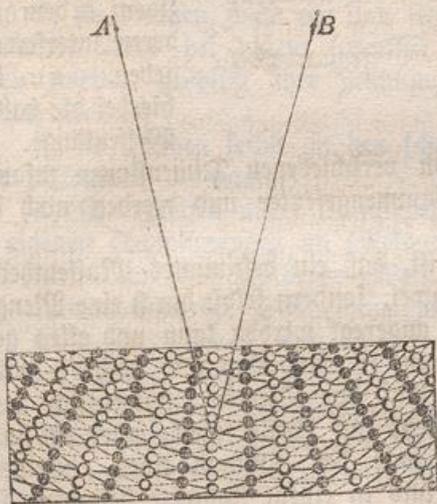
Da die Zinken einer angeschlagenen Stimmgabel gleichzeitig mit gleicher Stärke nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, so erzeugen sich auch zwei und zwar kugelförmige Tonwellensysteme, die mit einander entgegengesetzten Richtungen von den Zinkenenden als ihren Mittelpunkten in der Luft fortschreiten. 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 gefonderte 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.)

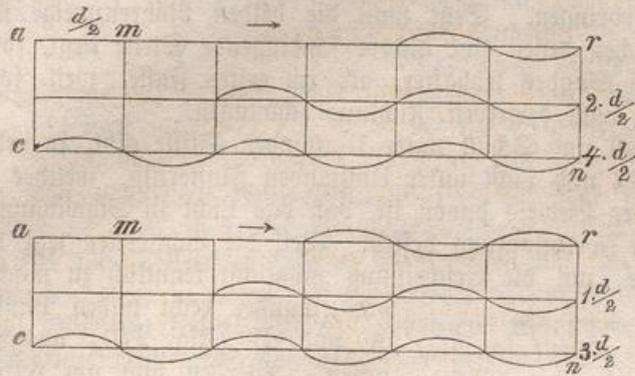
von einander recht nahen Punkten A und B (Fig. 270) ausgehen lassen. Werden nun um A und B mit gleichen Radien lauter Kugelflächen von solchen gleichen Abständen gedacht, daß immer zwischen je zwei benachbarten eine halbe Lichtwelle eingeschlossen ist, so geschehen die Aetherschwingungen solcher Nachbarstreifen 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.