

wird nicht gestört (auf einer Wasserfläche bildet sich eine ruhende, ebene Fläche). Dies Ergebniss wird mit dem Namen der Interferenz der Wellensysteme bezeichnet.

Trifft ein Wellensystem auf eine feste Wand, so wird es — gleich einem elastischen Körper — zurückgeworfen oder reflektirt, und das ursprüngliche und das reflektirte Wellensystem interferiren mit einander.

Befindet sich eine Oeffnung in der Wand, so geht der mittlere Theil der Welle ungehindert hindurch; an den Seiten der Oeffnung aber entsteht eine Stauung und beim Abfluss derselben nach aussen treten zwei neue Wellensysteme auf. Diese Verbreiterung des Wellensystems heisst Beugung.

## 9. Die Lehre vom Schall.

(Akustik.)

**Entstehung und Natur des Schalls.** Ein Schall entsteht durch die Erschütterung eines Körpers.

Beispiele: Aufschlagen eines Hammers auf einen Amboss; Anreissen einer gespannten Geigensaite mit dem Finger. — Schlag eines Ruders in Wasser; Fallen der Regentropfen auf eine Wasseroberfläche. — Peitschenknall, Zusammenschlagen der Hände; Blasen über das offene Ende einer Glasröhre oder eines Hohlschlüssels.

Durch die Bewegungen eines schallenden Körpers werden Wellenbewegungen in der Luft erzeugt: die Schallwellen, welche nach allen Seiten fortschreiten und in abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen. Sie sind Longitudonalwellen. Die Luftverdichtungen entsprechen den Wellenbergen, die Luftverdünnungen den Wellenthälern bei der Wasserbewegung. Der Schall wird aber nicht nur durch die Luft und luftförmige Körper, sondern auch durch flüssige und feste Körper geleitet, und zwar am besten durch elastische und durchweg gleichartige feste Körper.

Poröse Körper dämpfen den Schall und zwar vor allem deshalb, weil sie nicht durchweg gleichartig sind. Ein luftleerer Raum leitet den Schall nicht.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls beträgt in der Luft bei 0° Wärme rund 333 m in der Sekunde. Mit steigender Temperatur nimmt die Geschwindigkeit zu.

Die Stärke oder Intensität des Schalls nimmt mit zunehmender Entfernung von dem Orte der Entstehung ab und zwar im quadratischen Verhältniss der Entfernung, so dass z. B. ein Schall in doppelter Entfernung nur noch in Viertelstärke vernommen wird.

Dies kommt daher, dass der Schall sich von dem Orte seiner Entstehung aus nach allen Seiten, also kugelförmig ausbreitet. Da die Oberfläche einer Kugel mit dem Radius  $r$  aber  $4r^2\pi$  ist, also dem Quadrate des Radius proportional ist, so hat eine Kugel mit  $n$  mal so grossem Radius eine  $n^2$  mal so grosse Oberfläche, und der gleiche Schall muss, wenn er sich auf diese Oberfläche vertheilt, an jedem Punkte nur  $\frac{1}{n^2}$  so stark sein als an jedem Punkte der Kugel mit dem Radius  $r$ . Die Schallstärke ist also umgekehrt proportional dem Quadrate des Radius der Ausbreitung oder dem Quadrate der Entfernung.

**Reflexion der Schallwellen.** Treffen die Schallwellen auf die Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers, so werden sie reflektirt. Durch diese Reflexion entsteht entweder eine blosser Verstärkung des Schalls oder ein Nachhall oder ein Wiederhall (oder Echo).

Der Wiederhall — die von dem ursprünglichen Schall deutlich getrennte Wiederholung desselben — tritt dann auf, wenn die reflektirende Wand, gegen die man ruft, singt u. dergl., mindestens 19 m entfernt ist. Da nämlich das menschliche Ohr in 1 Sekunde etwa 8 bis 10 oder sagen wir: 9 Silben zu unterscheiden im Stande ist, so gehört zur Wahrnehmung einer Silbe  $\frac{1}{9}$  Sekunde Zeit. Hat man daher eine Silbe gerufen, so darf sie frühestens nach Verlauf von  $\frac{1}{9}$  Sekunde als Wiederholung wieder an unser Ohr gelangen, wenn sie gesondert von der ersten wahrgenommen werden soll. In  $\frac{1}{9}$  Sekunde legt aber der Schall  $333:9 = 37$  m zurück. Da er sich nun zur reflektirenden Wand hin und wieder zurück bewegt, muss diese mindestens  $\frac{37}{2} = 18\frac{1}{2}$  oder 19 m entfernt sein, damit er nicht zu früh zu unserm Ohre zurückgelangt.

Ist die reflektirende Wand weniger als 19 m weit entfernt, so fällt der zurückgeworfene Schall mit dem ursprünglichen theilweise zusammen, und es entsteht der Nachhall. Dies geschieht z. B. in Kirchen und grossen Sälen, besonders wenn sie leer sind. Personen oder Möbel, die sich in einem Raum befinden, desgl. Säulen, Vorsprünge, Bilder, Fahnen u. s. w. nehmen dem Nachhall die Regelmässigkeit und heben dadurch die störende Wirkung auf.

In kleineren Räumen (Zimmern u. s. w.) wird der zurückgeworfene Schall mit dem ursprünglichen zugleich gehört, und es findet nur eine Verstärkung des letzteren statt.

Auf der Zurückwerfung des Schalls (im Innern der Apparate) beruht die Einrichtung des in die Wände eines Hauses eingemauerten Kommunikations- oder Schallrohrs, des Sprachrohrs und des Hörrohrs.

**Ton und Geräusch.** Wenn mehrere einfache Schalle schnell auf einander folgen, so stellen sie sich dem Ohr als etwas Zusammenhängendes dar: sie bilden einen zusammengesetzten Schall. Sind die Bestandtheile eines solchen von gleicher Beschaffenheit und folgen sie schnell und in gleichen Zwischenräumen auf einander, so bilden sie einen Ton und sind von der Art der

Schwingungen. Ein unregelmässig zusammengesetzter Schall heisst ein Geräusch. (Knarren, Rasseln, Plätschern, Rauschen u. s. w.)

An einem Ton unterscheidet man Höhe, Stärke und Klangfarbe.

**Tonhöhe.** Je grösser die Schwingungszahl eines Tones ist, desto höher ist er. Dies kann an einer Sirene, einem in schnelle Umdrehung zu versetzenden Zahnrade, gegen dessen Zähne man ein elastisches Kartenblättchen oder dergleichen hält, ermittelt werden. Je schneller man dreht oder je mehr Zähne das Zahnrad hat, desto höher ist der Ton, den es giebt. Die Wellenlänge höherer Töne ist kleiner als diejenige tieferer Töne.

Die Schwingungszahl des tiefsten hörbaren Tones (in der Sekunde) ist 7, die des höchsten hörbaren Tones 24 000. Der tiefste in der Musik gebräuchliche Ton (das Subcontra-*C*) hat zur Schwingungszahl 16 (Wellenlänge 20 m), der höchste musikalische Ton (das 5 mal gestrichene *c*) hat zur Schwingungszahl 4096. Der sogenannte Kammerton *a'* hat die Schwingungszahl 440. (Die Schwingungen, von denen hier die Rede ist, entsprechen — mit den Pendelschwingungen, S. 52, verglichen — je einer Doppelschwingung; in Frankreich giebt man in den Schwingungszahlen die Anzahlen der einfachen Schwingungen an.)

Hat ein Ton die doppelte Schwingungszahl eines anderen, so bildet er die Oktave des letzteren. Das musikalische Intervall (Tonschritt) Prime/Oktave steht also in dem Verhältniss der Schwingungszahlen 1:2. Die übrigen musikalischen Intervalle weisen folgende Verhältnisse auf:

$$\begin{aligned} \text{Prime/Sekunde} &= 1 : \frac{9}{8}; & \text{Prime/Terz} &= 1 : \frac{5}{4}; & \text{Prime/Quarte} &= 1 : \frac{4}{3}; \\ \text{Prime/Quinte} &= 1 : \frac{3}{2}; & \text{Prime/Sexte} &= 1 : \frac{5}{3}; & \text{Prime/Septime} &= 1 : \frac{15}{8}. \end{aligned}$$

Die Verhältnisse der Schwingungszahlen (die physikalischen Intervalle) zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Tönen sind hiernach:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	

d. h.: Es ist die Schwingungszahl der Sekunde  $\frac{9}{8}$  mal so gross als die der Prime, die Schwingungszahl der Terz  $\frac{10}{9}$  mal so gross als die der Sekunde u. s. w.

Die Intervalle  $\frac{9}{8}$  und  $\frac{10}{9}$  sind einander ziemlich gleich, das Intervall  $\frac{16}{15}$  dagegen ist beträchtlich kleiner; man bezeichnet es daher als einen halben Ton (bezw. ein halbes Tonintervall), während jene als ganze Töne gelten.

Obige Zusammenstellung von acht Tönen, Tonleiter genannt, besteht daher aus zwei Hälften, deren jede zwei ganze und einen halben Ton umfasst, während beide von einander durch einen ganzen Ton getrennt sind:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1	$\frac{1}{2}$		1	1	$\frac{1}{2}$	

Sie heisst diatonische Tonleiter.

Die chromatische Tonleiter enthält zwischen den ganzen Tönen noch halbe, so dass sie durchweg nach halben Tönen fortschreitet. (Dur und Moll; musikalische Temperatur.)

**Musik-Instrumente.** Zur Hervorbringung musikalischer Töne dienen:

1. die Saiteninstrumente (Geige, Guitarre, Zither, Harfe, Klavier u. s. w.). Bei ihnen wird der Ton durch Transversalschwingungen der theils angestrichenen, theils angerissenen, theils angeschlagenen Saiten erzeugt. Die Höhe des Tones ist abhängig von der Länge, Dicke und Spannung der Saiten: Die Tonhöhen — und damit die Schwingungszahlen — verhalten sich (bei gleichbleibender Dicke und Spannung) umgekehrt wie die Saitenlängen. Je dünner und je stärker gespannt eine Saite ist, desto höher ist der Ton, den sie giebt.

2. Die Scheiben- oder Flächeninstrumente (Becken, Glocke, Trommel, Pauke u. s. w.). Bei ihnen schwingen Platten oder Häute (Felle, Membranen), sei es als Ganzes oder in mehreren schwingenden Abtheilungen, welche durch Knotenlinien von einander abgegrenzt sind. (Chladni'sche Klangfiguren.)

3. Die Blasinstrumente (offene und gedeckte Lippenpfeife, Flöte, Trompete, Posaune u. s. w.). Der Ton entsteht durch Longitudonal-Schwingungen der in den Instrumenten befindlichen Luft, über die man hinweg- oder in die man einen schmalen Luftstrom hineinbläst. — Die Wellenlänge des Tones einer gedeckten Pfeife ist das Vierfache ihrer Länge; eine offene Pfeife giebt die Oktave des Tones einer gleich langen gedeckten Pfeife und denselben Ton wie eine halb so lange gedeckte Pfeife (vorausgesetzt, dass der Querschnitt der Pfeifenrohre derselbe ist).

Eine besondere Art von Blasinstrumenten sind die Zungenwerke (Klarinette, Oboe, Fagott, die Zungenpfeifen der Orgel, welch' letztere aber auch Lippenpfeifen besitzt). Bei ihnen wird die Luft durch die Schwingungen elastischer Plättchen zum Tönen gebracht. — Den Zungenpfeifen ähnlich ist das menschliche Stimmorgan: die Stimmbänder werden durch einen Luftstrom in tönende Schwingungen versetzt.

4. Die klingenden Instrumente (Stimmgabel, Triangel, Zinken der Spieldose u. s. w.), bei denen elastische Stäbe Transversalschwingungen ausführen.

**Tonstärke und Klangfarbe.** Die Stärke eines Tones ist von der Schwingungsweite abhängig. Die Klangfarbe erhält ein Ton durch eine Reihe von Obertönen, die sich dem Grundton beigesellen und dadurch entstehen, dass die schwingenden Körper, welche den Ton hervorbringen (z. B. eine Geigensaite), nicht nur als Ganzes schwingen, sondern sich zugleich in kleinere schwingende Abschnitte zerlegen, die durch in verhältnissmässiger Ruhe befindliche Knoten getrennt werden. Die Schwingungszahlen der Obertöne sind Vielfache der Schwingungszahl des Grundtones. Die Wellen der Obertöne kombiniren sich mit denen des Grundtones; jene und diese lagern sich über einander (Uebereinanderlagerung kleiner

Bewegungen), so dass ein Grundton je nach den ihn begleitenden Obertönen verschiedene Wellenform besitzt.

Der Nachweis der in den verschiedenen Klängen enthaltenen Obertöne lässt sich mit Hilfe der v. Helmholtz'schen Resonatoren erbringen.

**Mittönen und Resonanz.** Wird eine von zwei denselben Ton gebenden Stimmgabeln (Saiten u. dergl.) zum Tönen gebracht und gleich darauf durch Berührung mit der Hand in ihren Schwingungen unterbrochen, so hört man, dass die andere leise nachtönt. Dies beweist, dass die Schwingungen der ersten Stimmgabel sich durch die Luft auf die zweite übertragen und ein Mitschwingen und Mittönen der letzteren hervorriefen.

Stemmt man eine angeschlagene Stimmgabel auf Holz, so schwingen die Holztheilchen mit, und der Ton der Stimmgabel wird verstärkt. Die gleiche Verstärkung wird durch die Resonanzböden oder Resonanzkästen der verschiedenen musikalischen Instrumente erreicht, in denen sowohl die Luft wie das Holz zum Mittönen veranlasst wird.

**Phonograph und Grammophon.** Der Phonograph (Edison, 1877) und das Grammophon dienen dazu, Tonreihen zu konserviren und nach Verlauf beliebiger Zeit wieder zum Vorschein kommen zu lassen. Der Phonograph besteht aus einer dünnen Glasmembran, gegen die gesprochen, gesungen, geblasen u. s. w. wird, so dass sie in Schwingungen geräth. Diesen Schwingungen entsprechend macht ein auf der Rückseite der Membran befestigter Stift Eindrücke auf einen Wachscylinder, der sich an ihm, gleichzeitig seitlich vorrückend, vorbeidreht. Wird späterhin der Wachscylinder, der beliebig aufgehoben werden kann, genau so wieder eingestellt wie zu Anfang des Versuchs, an dem Stift vorbeigedreht und dieser leicht gegen den Wachscylinder gedrückt, so vollführt die Membran dieselben Schwingungen wie bei der Erzeugung der Eindrücke auf dem Wachscylinder und sendet daher dieselben Tonwellen und damit dieselben Töne nach aussen in die Luft, die vorher auf sie übertragen worden waren.

## 10. Die Lehre vom Licht.

(Optik.)

**Natur des Lichtes.** Das Licht beruht ebenso wie der Schall auf einer Wellenbewegung, aber nicht der uns umgebenden Körper, sondern des alle Zwischenräume zwischen den Körpertheilen erfüllenden Aethers (Weltäthers oder Lichtäthers). Die Schwingungen sind transversale.

Dass der Aether der Träger der Lichtschwingungen ist, erkennt man daraus, dass das Licht durch luftleere Räume ungeschwächt hindurchgeht (dass