

8. Stoss elastischer Körper und Wellenbewegung.

Stoss elastischer Körper. Wenn eine elastische Kugel in senkrechter Richtung gegen eine feste Wand gerollt wird, so kehrt sie mit gleicher Geschwindigkeit in der gleichen (senkrechten) Richtung, nur im entgegengesetzten Sinne, zurück.

Wird die Kugel unter einem gewissen spitzen Winkel gegen die Wand gerollt, so bewegt sie sich wiederum mit gleicher Geschwindigkeit und unter dem gleichen Winkel, aber nach der andern Seite, von der Senkrechten zur Wand aus gerechnet, zurück. — Den Winkel, den die Bewegungsrichtung der heranrollenden Kugel mit der Senkrechten zur Wand — dem Einfallslothe — bildet (Fig. 55, *a*), nennt man (in Anlehnung an eine Bezeichnung in der Lehre vom Licht) den Einfallswinkel; den Winkel, den die zurückrollende Kugel mit der Senkrechten bildet (Fig. 55, *b*), den Ausfallswinkel. — Einfallswinkel und Ausfallswinkel sind einander gleich.

Wird eine elastische Kugel mit einer gewissen Geschwindigkeit gegen eine andere, ihr völlig gleiche, ruhende gerollt, (so dass die Stossrichtung mit der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Kugeln zusammenfällt — centraler Stoss), so bleibt die erste Kugel stehen, und die zweite bewegt sich in derselben Richtung wie jene und mit der gleichen Geschwindigkeit fort. — Werden zwei gleiche elastische Kugeln mit gleicher Geschwindigkeit central gegen einander gerollt, so prallen sie von einander ab und bewegen sich mit derselben Geschwindigkeit im entgegengesetzten Sinne zurück. — Ist im letzteren Falle die Geschwindigkeit beider Kugeln verschieden gross, so tauschen beide ihre Geschwindigkeiten mit einander aus.

Es lässt sich hiernach sagen, dass stets, wenn eine elastische Kugel in centremalem Stoss auf eine andere, ihr gleiche trifft, ihr Bewegungszustand sich auf diese überträgt, und umgekehrt, dass sie den Bewegungszustand der letzteren aufnimmt.

Trifft eine elastische Kugel in centremalem Stosse auf eine Reihe geradlinig hinter einander liegender, ihr gleicher elastischer Kugeln, so geht ihre Bewegung nach Richtung und Geschwindigkeit durch die ganze Reihe hindurch und wird auf die letzte, freiliegende Kugel übertragen und von dieser weiter fortgesetzt.

Wellenbewegung. Wenn das Gleichgewicht einer ruhenden Wasserfläche, z. B. durch das Hineinwerfen eines Steines, gestört wird, so entstehen kreisförmige Wellen, die sich von einem Mittelpunkte aus (der Stelle, wo der Stein ins Wasser fiel) nach allen Richtungen mit gleichförmiger Geschwindigkeit verbreiten. Jede Welle besteht aus einem Wellenberg und einem Wellenthal.

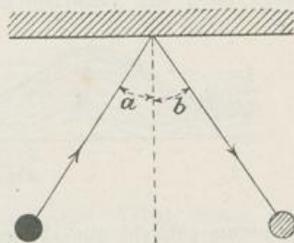


Fig. 55. Stoss einer elastischen Kugel gegen eine feste Wand.

An der nach aussen fortschreitenden Bewegung der Wellen nehmen die einzelnen Wassertheilchen nicht Theil, was man daran erkennt, dass Holzstückchen, die man auf das Wasser wirft, nicht mit fortschwimmen, sondern nur abwechselnd gehoben werden und sich senken.

Diejenigen Bewegungen, welche die einzelnen Wassertheilchen ausführen und durch deren Zusammenwirken die Wellen zu Stande kommen, erfolgen in bestimmten Kurven, die in lothrechten Ebenen liegen, wie dies Fig. 56 bei *A*, *B* und *C* zeigt. Nach unten zu werden die Kurven flacher, und die tiefsten sich bewegenden Theilchen schwingen geradlinig hin und her. (Fig. 56, *B*.)

Der Grund, weswegen bei einer Erschütterung einer Wasserfläche Wellen entstehen, ist der, dass die Wasserfläche an einer bestimmten Stelle einen Stoss (durch Steinwurf oder Ruderschlag) oder Druck (durch den Wind) erleidet, der die an dieser Stelle befindlichen Wassertheilchen hinabdrückt und so ein Wellenthal erzeugt; da er sich aber nach allen Seiten ausbreitet, so werden die umliegenden Wassertheilchen nach oben gedrängt, und es entsteht rings um das Wellenthal ein Wellenberg. Fallen die Wassertheilchen desselben nun, der Schwere folgend, herab, so gehen sie — nach Maassgabe des Beharrungsgesetzes — noch unter den Wasserspiegel hinunter und bilden so ein Wellenthal. Um



Fig. 56. Wellenbewegung.

dieses herum entsteht nun abermals ein Wellenberg u. s. f. Da die Wellen nach aussen hin immer grösser (umfangreicher) werden, so nimmt ihre Höhe ab. Da der ursprüngliche Stoss oder Druck aber nicht nur nach unten und oben, sondern auch seitwärts wirkt, so führen die Wassertheilchen auch seitliche Bewegungen aus, die sich mit denen in lothrechter Richtung zu krummlinigen Bewegungen vereinigen.

Bei in elastischen Körpern stattfindenden Wellenbewegungen ist statt der Schwere die Elasticität wirksam.

Die Breite eines Wellenberges und eines Wellenthales zusammengenommen oder, was dasselbe ist, die Strecke, um welche sich die Schwingungsbewegung fortpflanzt, während ein Wassertheilchen eine Schwingung vollendet, wird Wellenlänge genannt. Der Abstand der grössten Höhe eines schwingenden Wassertheilchens von der grössten Tiefe heisst Schwingungsweite oder Oscillations-Amplitude. Als Fortpflanzungsgeschwindigkeit wird die Geschwindigkeit bezeichnet, mit welcher sich die Schwingung eines Theilchens auf die der Reihe nach folgenden fortpflanzt. Die Geschwindigkeit der Bewegung der einzelnen Theilchen heisst die Oscillationsgeschwindigkeit; dieselbe ist umgekehrt proportional der Schwingungsdauer (der Zeitdauer einer Schwingung). Ebenfalls umgekehrt proportional der Schwingungsdauer (also direkt proportional der Oscillationsgeschwindigkeit) ist die Schwingungszahl, die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist gleich dem Produkt aus der Wellenlänge und der Schwingungszahl. Denn wenn ein schwingendes Theilchen in 1 Zeiteinheit n Schwingungen vollführt, so hat sich in dieser Zeit die Wellenbewegung auf n hinter einander liegende benachbarte Theilchen übertragen, d. h. ist um n Wellenlängen weiter fortgeschritten. Der Weg aber, um den sie in 1 Zeiteinheit vorgerückt ist, wird andererseits als Fortpflanzungsgeschwindigkeit bezeichnet.

Stehende Wellen. Die Wasserwellen, wie wir sie beschrieben haben, gehören zu den fortschreitenden Wellen. Von diesen sind die stehenden Wellen zu unterscheiden. Dieselben lassen sich erzeugen, wenn man ein gespanntes Seil, dessen eines Ende befestigt ist, an dem andern Ende fortgesetzt gleichmässig auf- und niederschwingt. Dann bildet sich bei jeder Bewegung eine Welle, welche auf dem Seile fortschreitet, während ihr eine andere folgt, so dass das ganze Seil nach und nach in eine schlängelnde Bewegung geräth. Gewisse Punkte des Seiles bleiben hierbei in Ruhe — sie heissen Schwingungsknoten (Fig. 57, K) —, während die dazwischen liegenden Abschnitte des Seiles — die Schwingungsbäuche — in der Reihe, wie sie auf einander folgen, entgegengesetzte Schwingungszustände zeigen (in entgegengesetzter Richtung ausschlagen).

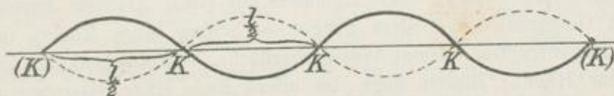


Fig. 57. Stehende Wellen.

Die Schwingungsdauer und Wellenlänge stehender Wellen stimmt mit derjenigen der fortschreitenden Welle, aus der sie hervorgegangen sind, überein. Die Entfernung je zweier benachbarter Schwingungsknoten beträgt eine halbe Wellenlänge. (Fig. 57, $\frac{l}{2}$.)

Schwingungs-Arten. Die Schwingungen, in welche elastische Körper versetzt werden können, sind — je nach der Schwingungsrichtung — von dreierlei Art: Longitudinalschwingungen, Transversalschwingungen, Torsionsschwingungen. Longitudinalschwingungen führt ein elastischer Körper aus, wenn die Schwingungsrichtung seiner Theile mit seiner Längsrichtung übereinstimmt (Beispiele: siehe im folgenden Abschnitt, S. 88 und 91); transversal schwingt der Körper, wenn die Schwingungsrichtung zu seiner Längsrichtung senkrecht verläuft (Beispiele: die Seilwellen und S. 91); und von Torsionsschwingungen spricht man, wenn die Theile des Körpers drehende Bewegungen um seine Längsachse ausführen. — Alle drei Arten von Schwingungen können sowohl in Form von fortschreitenden wie von stehenden Wellen auftreten.

Interferenz und Beugung. Durchkreuzen sich zwei gleichartige Wellensysteme, so entsteht, wo zwei Wellenberge zusammentreffen, ein Berg von doppelter Höhe; wo zwei Wellenthäler zusammentreffen, ein Thal von doppelter Tiefe; wo ein Wellenberg des einen Systems mit einem Wellenthale des andern zusammentrifft, heben beide einander auf, und das ursprüngliche Gleichgewicht

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.