Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

286. Stehende Wellen

urn:nbn:de:hbz:466:1-83789

alle Senkungen abziehen; die wirklich stattfindende Bewegung des Teilchens ist sozusagen die Bilanz aus allen auf dasselbe einwirkenden Teilbewegungen. Man nennt diesen Satz das **Prinzip der Übereinanderlagerung** (Superposition) der Schwingungen, weil es in der Tat nichts anderes aussagt, als daß jedes Wellensystem sich genau so über eine bereits von Wellen bewegte Oberfläche legt, wie es sich, wenn es allein vorhanden wäre, über die ruhende Oberfläche gelegt haben würde. Jedes Wellensystem bildet sich aus, als ob die anderen gar nicht vorhanden wären, behauptet sein besonderes Dasein im Durcheinanderwogen mit den anderen und schreitet, nachdem es diese durchkreuzt und mit ihnen zusammengewirkt (interferiert) hat, auf der noch ruhigen Wasserfläche weiter, als ob es nie eine Störung erlitten hätte. Wir sehen z. B. die von den fallenden Regentropfen erregten zarten Wellenringe auf den großen durch ein Dampfboot aufgewühlten Wogen ebensogut zustande kommen wie im ruhigen See; wir sehen, wie diese Wogen, wenn sie eine vom

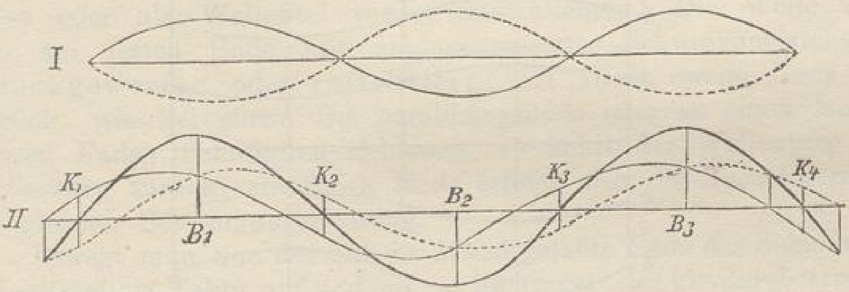

Fig. 265.
Interferenz entgegenkommender Wellen.

Wind gekräuselte Stelle durchsetzen, die kleinen Kräuselwellen auf ihren Rücken nehmen, jenseits aber, die gekräuselte Fläche gleichsam unberührt zurücklassend, in ihrer ursprünglichen Gestalt weiterschreiten.

286. **Stehende Wellen.** Besonders bemerkenswert ist die Interferenz zweier Wellen von gleicher Wellenlänge und Schwingungsweite, welche sich in entgegengesetzter Richtung fortpflanzen. Haben die beiden Wellen in einem Augenblick die Lage Fig. 265 *I*, so daß durchweg Wellenberg und Wellental zusammenfallen, so sind die Verschiebungen überall gleich und entgegengesetzt und sämtliche Teilchen befinden sich momentan in der Gleichgewichtslage. Gelangen nun die beiden Wellen, die schwach ausgezogene und die punktierte, indem sie in entgegengesetztem Sinne fortschreiten, z. B. in die Lage Fig. 265 *II*, so entsteht aus ihrem Zusammenwirken die stark ausgezogene Welle von gleicher Länge und Schwingungsdauer. In den Durchschnittspunkten bei B_1, B_2, B_3, ..., zu welchen die zwei Wellen bei ihrem Gegenlaufe stets symmetrisch bleiben, sind die Verschiebungen gleich und gleichgerichtet, und summieren sich:

an diesen Stellen, welche je um eine halbe Wellenlänge voneinander abstehen, sind also die Teilchen um den doppelten Betrag abwechselnd nach oben und nach unten verschoben. In den Punkten K_1, K_2, K_3, ... dagegen, welche zwischen den Punkten B_1, B_2, B_3, ... gerade in der Mitte liegen, also gleichfalls unter sich je um eine halbe Wellenlänge abstehen, sind die Verschiebungen gleich und entgegengesetzt und heben sich auf. Schreiten die beiden Wellen gegeneinander weiter fort, so erkennt man, daß in den Punkten K_1, K_2, K_3, ... die Verschiebungen immer gleich und entgegen-

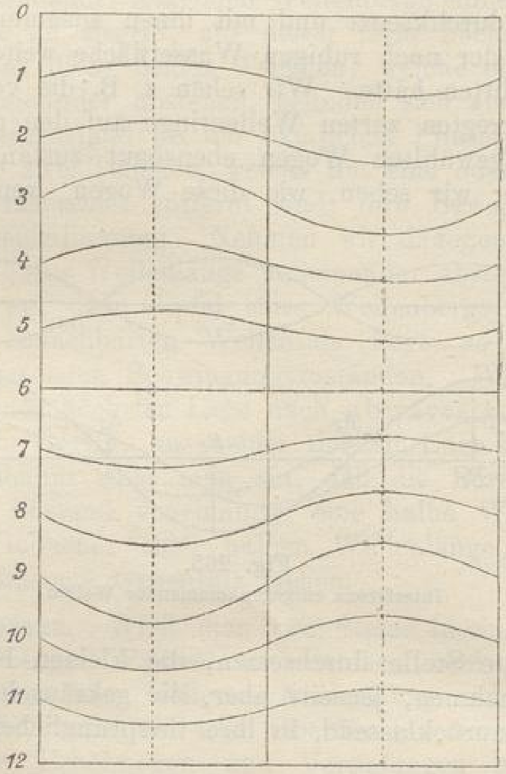

Fig. 266.
Stehende Wellen.

gesetzt, in den Punkten B_1, B_2, B_3, ... gleich und gleichgerichtet bleiben; die Teilchen K_1, K_2, K_3, ... verharren also in ihren Gleichgewichtslagen immer in Ruhe, während die Teilchen B_1, B_2 B_3 ... lebhaft abwechselnd auf- und abwärts schwingen, und ihre größten Ausweichungen erlangen, wenn die beiden Wellen von der Lage *I* aus jede um eine Viertelwellenlänge fortgeschritten sind, so daß jetzt überall Wellenberg mit Wellenberg und Wellental mit Wellental zusammenfällt. Die Gestalten, welche die resultierende Welle im Laufe einer ganzen Schwingungsdauer nach und nach annimmt, sind in Fig. 266 je nach $^1/_{12}$ Schwingungsdauer angegeben. Es ist ersichtlich, daß alle Teilchen gleichzeitig durch ihre Gleichgewichtslagen (bei 0, 6 und 12) hindurchgehen, gleichzeitig ihre größten Ausweichungen (bei 3 und 9) erreichen, und sich stets gleichzeitig in demselben Schwingungszustande befinden, wobei nur die Schwingungsweite von Stelle zu Stelle periodisch sich ändert. Die Form der Welle schreitet also nicht fort, weshalb man solche Wellen **stehende** nennt im Gegensatz zu den bisher betrachteten **fortschreitenden Wellen**, bei welchen jedes in der Fortpflanzungsrichtung folgende Teilchen später als das vorhergehende durch die Gleichgewichtslage geht. Die Punkte K_1, K_2, K_3 . . . , welche immer in Ruhe bleiben, heißen **Knoten**, die Punkte B_1, B_2, B_3 . . . , in welchen die lebhafteste Hin- und Herbewegung stattfindet, **Bäuche**.

Stehende Transversalwellen lassen sich leicht mittels eines Seiles oder eines langen schwach gespannten Kautschukschlauches hervorrufen. Ist der Schlauch an einem Ende festgeklemmt, und erteilt man dem anderen Ende durch einen plötzlichen Ruck mit der Hand eine Ausbiegung nach aufwärts, so sieht man diese als Wellenberg den Schlauch entlang laufen und von dort als Ausbiegung nach unten oder als Wellental wieder zurückkehren. Die Welle wird also am festen Ende mit entgegengesetzter Schwingungsrichtung **zurückgeworfen** oder **reflektiert**. Ist dieses zweite Ende beweglich, wie bei einem frei herabhängenden oder an einen langen dünnen Faden geknüpften Schlauch, so kehrt der Wellenberg als Wellenberg zurück; am freien Ende erfolgt also die Zurückwerfung mit gleicher Schwingungsrichtung.

Bewegt man nun das mit der Hand gefaßte Ende des Schlauches in bestimmtem Takte auf und ab, so interferiert der hierdurch erregte Wellenzug mit dem vom anderen Ende her zurückgeworfenen, und es bilden sich stehende Wellen mit Knoten und Bäuchen. Da sowohl am festen als an dem mit der Hand gehaltenen Ende ein Knoten liegen muß, und zwei benachbarte Knoten oder Bäuche immer um eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt sind, so muß der Rhythmus der Bewegung so geregelt werden, daß eine ganze Anzahl halber Wellenlängen auf die Länge des Schlauches geht. Die Versuche gelingen leichter, wenn man mit der Hand kreisförmige Schwingungen ausführt, die ja als aus zwei zueinander senkrechten geradlinigen Schwingungen zusammengesetzt angesehen werden können; dann beschreiben alle bewegten Punkte des Schlauches Kreise, deren Ebenen auf der Längsrichtung des Schlauches senkrecht stehen (transversale kreisförmige Schwingungen). Sehr schön beobachtet man die stehenden Wellen an einem Zwirnfaden, den man an einer Zinke einer Stimmgabel oder an der schwingenden Feder eines magnetischen Hammers (249) befestigt; je mehr man die Spannung des Fadens und damit die Fortpflanzungsgeschwindigkeit vermindert, desto größer wird die Anzahl der Knoten und Bäuche (Melde, 1889).

Mit der Machschen Wellenmaschine lassen sich die stehenden Wellen nachahmen, wenn man die Pendelkugel durch einen entsprechend gebogenen Draht in ihre größten Ausweichungen bringt, und sie dann gleichzeitig losläßt, indem man den Draht rasch zur Seite dreht. Dreht man alsdann die Schwingungsebenen um 90^0, so verwandelt sich die transversale in eine longitudinale stehende Welle; man sieht alsdann, daß an den Knoten, indem die beiderseits benachbarten Teilchen gleichzeitig gegen das ruhende Teilchen hin und von demselben wieder weg schwingen, abwechselnd Verdichtungen und Verdünnungen entstehen, während an den Bäuchen zwar die lebhafteste Hin- und Herbewegung, jedoch niemals Verdichtung und Verdünnung stattfindet. Auch an dem oben (S. 427) erwähnten spiralförmig gewundenen Draht kann man stehende Longitudinalwellen erzeugen; klemmt man das eine Ende fest und übt an dem anderen Ende einen Zug in der Längsrichtung, so schwingen die Windungen des sich wieder selbst überlassenen Drahtes hier lebhaft hin und her, während im Knotenpunkt am festgeklemmten Ende die Windungen abwechselnd enger zusammengeschoben und weiter auseinandergezogen werden. Zieht man die freien Enden des Schraubendrahtes auseinander, so bildet sich ein Schwingungsknoten in der Mitte. Die Bewegung der Teilchen in einer stehenden Longitudinalwelle kann auch durch die Zeichnung Fig. 266 veranschaulicht werden, wenn man sie unter einem mit der Linie 0—12 parallelen Schlitz von rechts nach links wegzieht. Man kann auch eine solche Zeichnung um eine Walze legen, so daß die Punkte 0—12 der Länge nach auf ihre Mantelfläche zu liegen kommen; wird die Walze hinter einem Schlitz um ihre damit paralelle Achse gedreht, so ahmen die durch den Schlitz sichtbaren Punkte der Kurven die Bewegung der Teilchen einer stehenden Längswelle nach, mit Knoten bei 0, 6 und 12, und Bäuchen bei 3 und 9.

Die Verschiebung, welche eine (transversale oder longitudinale) Welle in der Entfernung x von ihrem Ausgangspunkte hervorbringt, ist

$$y_1 = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} + \frac{l-x}{\lambda}\right);$$

an derselben Stelle (x) verursacht eine aus der Entfernung $2l$ ihr entgegenkommende Welle von gleicher Schwingungsweite und Wellenlänge die Ausweichung:

$$y_2 = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{2l-x}{\lambda}\right) = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} - \frac{l-x}{\lambda}\right).$$

Die aus der Interferenz beider Bewegungen hervorgehende Verschiebung im Punkte x ist demnach

$$Y = y_1 + y_2 = 2a \cos 2\pi \frac{l-x}{\lambda} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda}\right).$$

In dieser Gleichung einer stehenden Welle stellt $2a \cos 2\pi \frac{l-x}{\lambda}$ die von Stelle zu Stelle periodisch sich ändernde Amplitude, $\sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda}\right)$ den allen Punkten gemeinsamen Schwingungszustand vor.