

als er wirklich ist, sobald Schallquelle und Beobachter sich gegen einander bewegen.

Von einer Schallquelle gehe eine Bewegung mit der Schwingungszahl  $n$ , der Schwingungsdauer  $T$  aus, der Beobachter befinde sich in beliebiger Entfernung, dann wird nach je  $T$  Sekunden eine Verdichtung von der Schallquelle abgehen, dieselben werden in den gleichen Zwischenräumen den Beobachter treffen und er wird den Ton  $n$  hören. Nun entferne sich aber die Schallquelle mit der Geschwindigkeit  $a$  vom Beobachter. Zwischen dem Abgang je zweier Verdichtungen wird sich die Quelle um  $aT$  entfernt haben, die der Schall noch ausser der ursprünglichen Entfernung zu durchlaufen hat. Ist seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit  $v$ , so ist die dazu nötige Zeit  $\frac{aT}{v}$ ; die Schwingungsdauer  $T$  wird daher zu

$$T + \frac{a}{v} T = T \left( 1 + \frac{a}{v} \right).$$

Nähert sich dagegen die Schallquelle, so wird die Schwingungsdauer  $T \left( 1 - \frac{a}{v} \right)$ . Der Ton wird also erhöht bei Annäherung, vertieft bei Entfernung. Man bezeichnet diese Thatsache als das Dopplersche Prinzip. Man hat leicht Gelegenheit, diese Thatsache experimentell zu beobachten, wenn eine pfeifende Lokomotive vorbeifährt; dann schlägt scheinbar der Ton beim Vorbeifahren plötzlich um.

#### E. Wasserwellen.

§ 223. Da Flüssigkeiten nur Widerstand gegen Volumänderung besitzen, so sollten in ihnen nur longitudinale Wellen existieren. Das ist auch der Fall im Innern der Flüssigkeiten; an ihrer Oberfläche dagegen finden wir auch transversale Bewegung, die bekannten Wellen auf Wasserflächen. Dieselben sind aber prinzipiell verschieden von den bisherigen; während diese alle ihre Entstehung inneren Kräften, der Elasticität, verdanken, entstehen die Wasserwellen durch äussere Kräfte, nämlich die Schwere.

Wenn wir bei einer Wasserfläche ein Teilchen erheben, lassen es dann los, so wird es durch die Schwere herangezogen, erhält Geschwindigkeit und sinkt daher tiefer, als dem Gleichgewicht entspricht. Dabei verdrängt es die rings benachbarten Teilchen, die

gehoben werden, dann wieder sinken und die Bewegung wieder an ihre Nachbarn übertragen. Jedes einmal bewegte Teilchen gerät in Schwingungen, die allmählich durch die Reibung vernichtet werden. Gleichzeitig entstehen kreisförmige Wellen, die mit abnehmender Intensität nach allen Seiten aus einander laufen. Die Bewegung der Teilchen ist nicht eine rein transversale, sie schwingen nicht in senkrechten geraden Linien hin und her, sondern in Kreisen oder Ellipsen, vielfach auch in nicht geschlossenen Kurven, wobei dann die ganze Wassermenge fortwandert. Nach der Tiefe zu nimmt die Amplitude ab und verschwindet endlich ganz.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wasserwellen hängt zunächst von der Höhe der Welle, der Amplitude ab und wächst mit ihr. Daher läuft die Welle immer langsamer weiter, je mehr sie sich von der Erregungsstelle entfernt. Weiter ist die Geschwindigkeit um so kleiner, je weniger tief das Wasser ist, wegen der Reibung, die die Schwingungsbewegung verzögert. In der Ostsee beobachtet man Wellen von  $2\frac{1}{2}$  *m* Höhe, im Mittelmeer von 6 *m*, im Atlantischen Ozean von 20 *m* und mehr; letztere bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von etwa  $10 \frac{m}{sec}$  weiter, und nach der Tiefe erstreckt sich die Bewegung bis auf mehr als 100 *m*.

Wenn der Wind auf die Wellen wirkt, so werden die Wellenkämme stärker beschleunigt, sie holen die Thäler ein und kippen über; dasselbe tritt ein, wenn die Welle an den Strand läuft, weil hier die Thäler durch Reibung am Meeresgrund stärker verzögert werden.

Die allgemeinen Gesetze aller Wellenbewegungen, das Huyghenssche Prinzip und das Prinzip von der Superposition, gelten auch hier. Man kann das letzterem Prinzip gehorchende schöne Schauspiel oft beobachten, wie verschiedene Wellenzüge über einander fortlaufen, sich durchkreuzen. — Durch Reflexion und Interferenz bilden sich auch hier stehende Wellen.