

## Der Doppler – Effekt

Bewegen sich eine Schallquelle und ein Empfänger relativ zueinander, so stimmt die von der Schallquelle abgestrahlte Frequenz nicht mit der empfangenen überein.

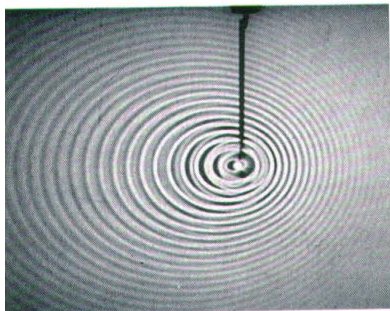
Bewegen sie sich aufeinander zu, ist die empfangene Frequenz höher als die der Schallquelle; bewegen sie sich voneinander weg, ist sie niedriger. Dies bezeichnet man als **Doppler – Effekt**. Ein bekanntes Beispiel ist die Änderung der Tonhöhe einer Autohupe, wenn sich das Auto entfernt oder annähert.

Die Frequenzverschiebung der Schallwelle ist leicht unterschiedlich, je nach dem, ob sich die Quelle oder der Empfänger relativ zum Medium bewegt. Bewegt sich die Quelle, so verändert sich auch die Wellenlänge. Um die veränderte Frequenz zu bestimmen, berechnet man

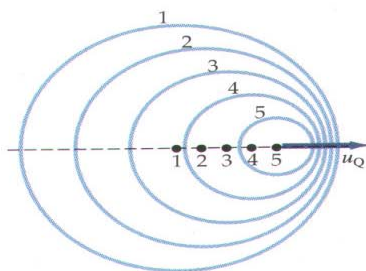
zunächst die neue Wellenlänge  $\lambda'$  und setzt diese dann in  $f' = \frac{v}{\lambda'}$  ein. Im anderen Fall, wenn

sich der Empfänger bewegt und die Quelle in Ruhe bleibt, verändert sich die empfangene Frequenz einfach deshalb, weil beim Empfänger pro Zeiteinheit mehr (oder weniger) Wellen eintreffen.

Betrachten wir zunächst den Fall einer bewegten Quelle. Die nachfolgende Abbildung zeigt Wellen in einer Demonstrationswanne, die von einer Quelle ausgehen, die sich nach rechts bewegt, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die kleiner als die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen im Medium ist.



(a)



(b)

**4.31** a) Wellen einer sich nach rechts bewegenden Punktquelle in einer Demonstrationswanne. Die Geschwindigkeit der Quelle ist kleiner als die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen. Vor der Quelle liegen die Wellenkämme enger beisammen und hinter der Quelle weiter auseinander als bei einer ruhenden Quelle. b) Nacheinander ausgesandte Wellenfronten einer sich mit der Geschwindigkeit  $u_Q$  nach rechts bewegenden Punktquelle. Die Zahlen an den Orten, an denen die Wellen ausgesandt wurden, stimmen mit den Zahlen, die die Wellenfronten bezeichnen, überein. (Teilbild a: aus *PSSC Physics*, 2nd edition, 1965; D.C. Heath and Company, and Education Development Center, Inc., Newton, MA, USA)

Offenbar werden die Wellen, die der Quelle vorseilen, zusammengeschoben: Die Wellenkämme liegen dichter beisammen, als dies bei einer ruhenden Quelle der Fall wäre. Im Gegensatz dazu sind die nach hinten laufenden Wellen weiter auseinandergezogen. Wir bestimmen die Wellenlänge der vorseilenden Wellen  $\lambda_v$  und der nachlaufenden Wellen  $\lambda_n$  wie folgt. Die Frequenz der Quelle sei  $f_0$ . In der Zeit  $\Delta t$  erzeugt die Quelle  $N = f_0 \Delta t$  Wellen.

Die erste Wellenfront bewegt sich während dieser Zeit um  $v \cdot \Delta t$  weiter, die Quelle dagegen um die Strecke  $u_Q \cdot \Delta t$ , da sie die Geschwindigkeit  $u_Q$  relativ zum Medium besitzt (14.31). da auf der Länge  $(v - u_Q) \cdot \Delta t$  genau  $N$  Wellen zu finden sind, kann man die Wellenlänge der vorseilenden Wellen einfach über die Division der Strecke durch  $N$  bestimmen:

$$\lambda_v = \frac{(v - u_Q) \Delta t}{N} = \frac{(v - u_Q) \Delta t}{f_0 \Delta t}$$

oder

$$\lambda_v = \frac{(v - u_Q)}{f_0} = \frac{v}{f_0} \left( 1 - \frac{u_Q}{v} \right).$$

Bei den nachlaufenden Wellen enthält die Strecke  $(v + u_Q) \cdot \Delta t$  ebenfalls  $N$  Wellen, woraus sich die Wellenlänge

$$\lambda_n = \frac{(v + u_Q)}{f_0} = \frac{v}{f_0} \left( 1 + \frac{u_Q}{v} \right)$$

ergibt.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen  $v$  hängt nur von den Eigenschaften des Mediums ab und nicht von der Bewegung der Quelle. Für eine sich auf den Empfänger zu bewegende Quelle beträgt die Frequenz  $f'$ , mit der die Wellen einen relativ zum Medium ruhenden Punkt passieren:

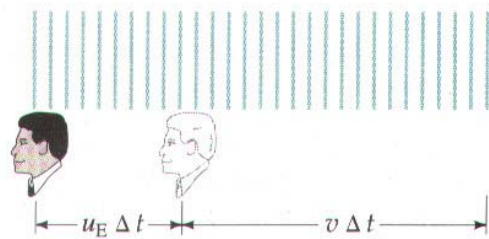
$$f' = \frac{v}{\lambda_v} = \frac{f_0}{1 - \frac{u_Q}{v}} \quad \text{Quelle nähert sich.}$$

Für eine sich entfernende Quelle ist die Frequenz

$$f' = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{f_0}{1 + \frac{u_Q}{v}} \quad \text{Quelle entfernt sich.}$$

Befindet sich die Quelle in Ruhe und bewegt sich der Empfänger durch das Medium, dann ändert sich die Wellenlänge nicht, wohl aber die Frequenz der vom Empfänger registrierten Wellen. Sie ist erhöht, wenn sich der Empfänger auf die Quelle zu bewegt, und verringert, wenn er sich von ihr entfernt. Die Anzahl der Wellen, die einen ruhenden Empfänger in der Zeit  $\Delta t$  passieren, entspricht der Anzahl, die auf einer Strecke  $v \cdot \Delta t$  zu finden sind; diese

Anzahl ist durch  $\frac{v \cdot \Delta t}{\lambda}$  gegeben.



**14.32** Die Anzahl von Wellenkämmen, die einen ruhenden Empfänger in der Zeit  $\Delta t$  passieren, ist gleich der Anzahl der Wellen auf der Strecke  $v \cdot \Delta t$ , wobei  $v$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen ist. Bewegt sich der Empfänger mit der Geschwindigkeit  $u_E$  auf die Quelle zu, erhöht sich die Zahl der an ihm vorbeilaufenden Wellen um die Anzahl der Wellenkämme auf der Strecke  $u_E \cdot \Delta t$ . Die Frequenz der empfangenen Wellen ist daher größer als vorher.

Bewegt sich der Empfänger mit der Geschwindigkeit  $u_E$  auf die Quelle zu, so passiert er

$\frac{u_E \cdot \Delta t}{\lambda}$  zusätzliche Wellenkämme.

Daraus ergibt sich für die Anzahl der Wellen, die den Empfänger in der Zeit  $\Delta t$  treffen:

$$N = \frac{v\Delta t + u_E\Delta t}{\lambda} = \frac{v + u_E}{\lambda} \Delta t.$$

Die beobachtete Frequenz ergibt sich als Quotient aus dieser Anzahl und dem Zeitintervall  $\Delta t$ :

$$f' = \frac{N}{\Delta t} = \frac{v + u_E}{\lambda}$$

oder

$$f' = f_0 \left( 1 + \frac{u_E}{v} \right) \quad \text{Empfänger nähert sich.}$$

Entfernt sich der Empfänger von der Quelle mit der Geschwindigkeit  $u_Q$ , so folgt aus entsprechenden Überlegungen für die Beobachtete Frequenz  $f'$ :

$$f' = f_0 \left( 1 - \frac{u_E}{v} \right) \quad \text{Empfänger entfernt sich.}$$