

4. Wellen breiten sich aus

Wellenphänomene

- 59** ⓘ Wellen und Schwingungen gehören zusammen, denn wie Sie noch in diesem Kapitel erfahren werden, entstehen Wellen durch das Zusammenspiel vieler schwingender Körper. Es gibt eine grosse Zahl alltäglicher Erscheinungen, welche reine Wellenphänomene sind (auch wenn wir die Wellen nicht immer direkt wahrnehmen können).
- 60** ✎ Sie werden an einige Beispiele von Wellenphänomenen erinnert, die Ihnen sicher bekannt sind. Protokollieren Sie.
- Störung entlang eines **Seiles**.
 - Ein Stein fällt ins **Wasser**.
 - Eisenbahn** beim Ankoppeln eines Wagens.
 - Schallwellen** in der Luft.
- 61** ? Überlegen Sie, nach welchen Kriterien diese Wellenerscheinungen **geordnet** werden können. Inwiefern unterscheiden sich die Phänomene? Haben sie auch Gemeinsamkeiten?

	Seilwellen	Wasserwellen	Eisenbahnwellen	Schallwellen

- 62** ⓘ Wellen können als "**Transportphänomene**" angesehen werden. Durch die Ausbreitung von "Störungen" oder "Signalen" kann **Energie** oder **Information** transportiert werden. Hingegen findet **kein Materietransport** statt. Damit Wellen überhaupt entstehen können, müssen gewisse Voraussetzungen erfüllt sein:
- Es muss ein **Wellenträger**, ein **Wellenmedium** gegeben sein. Bei **mechanischen Wellen** ist dies ein materieller (fester, flüssiger oder gasförmiger) Wellenträger.
 - Die **Masseteilchen** (Moleküle, Atome) des Wellenträgers müssen aus der Gleichgewichtslage ausgelenkt werden können, also beweglich sein.
 - Die Masseteilchen müssen untereinander "wechselwirken", d.h. Kräfte aufeinander ausüben.
 - Ein Wellenerreger muss für eine "Störung" sorgen.

- 63** ⓘ Die **Wellenmaschine** ist ein Modell eines Wellenmediums, welches diese Voraussetzungen erfüllt. Das Modell ist eine **lineare Kette gekoppelter Oszillatoren**.

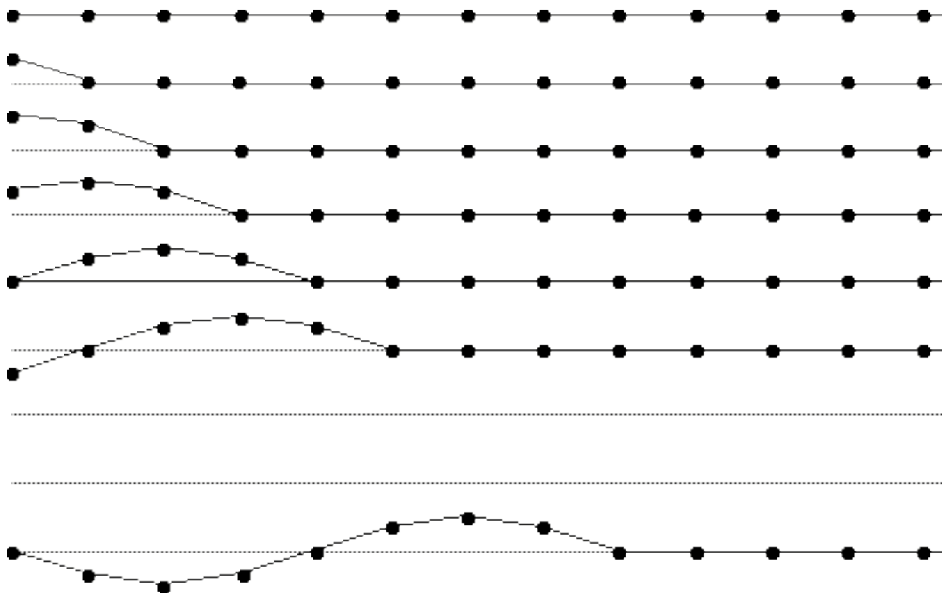
Beobachtungen an der Wellenmaschine zeigen, wovon die **Wellengeschwindigkeit c** , resp. die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Störung abhängt.

- 64** ? Später werden Sie lernen, warum die Tonhöhe einer Saite von der Wellengeschwindigkeit c abhängt. Nehmen Sie diese Information jetzt einfach als gegeben hin und leiten Sie daraus und mit Hilfe obiger Beobachtung an der Wellenmaschine ab, wie die **Tonhöhe einer Saite** verändert werden kann.

Die Wellengeschwindigkeit c ist abhängig von:

Transversalwellen (Querwellen)

- 65** ⓘ Anhand untenstehender Darstellung überlegen wir nun im Detail, wie eine **Querwelle** entsteht.



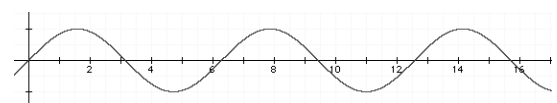
Longitudinalwellen (Längswellen)

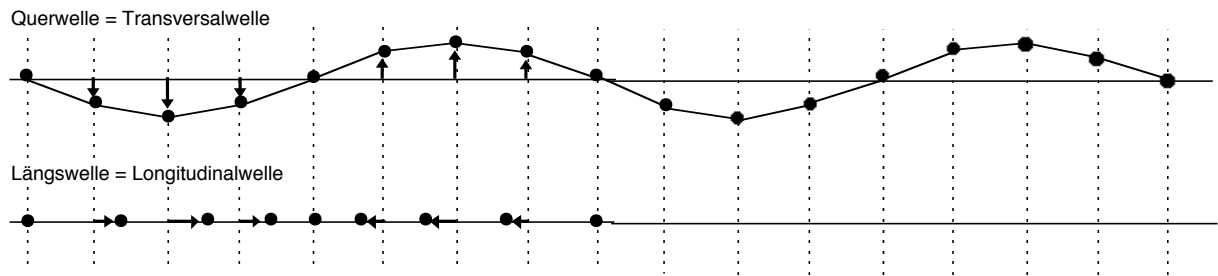
- 66** ⓘ Eine **Längswelle** entsteht in analoger Weise wie die Querwelle, nur sind die Auslenkungen der Oszillatoren nicht quer, sondern parallel zur Ausbreitungsrichtung. Gegenüber der vorherigen Konstruktion müssen also nur die Auslenkungsrichtungen "umgeklappt" werden.

Bei Querwellen beschreibt man die Wellen durch **Wellentäler** und **Wellenberge**, wie ist das nun bei Längswellen?

Wie muss das Diagramm rechts interpretiert werden, wenn es eine Longitudinalwelle darstellen soll? Beantworten Sie diese Frage nach der Konstruktion der Longitudinalwelle auf der folgenden Seite.

Ist das eine Longitudinalwelle?



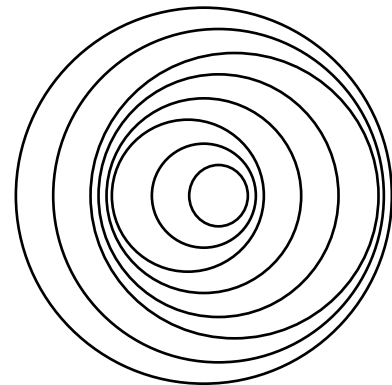


Ausbreitungsgeschwindigkeit

- 67** ⓘ Weil Wellenbewegungen sich also auf Schwingungen einzelner Oszillatoren zurückführen lassen, werden auch die Begriffe von den Schwingungen übernommen, neu sind lediglich die Begriffe Wellenlänge und Wellengeschwindigkeit:
- 68** ? Aus obigen Wellen-Konstruktionen können wir den Zusammenhang zwischen Wellengeschwindigkeit, Frequenz und Wellenlänge ablesen.
- 69** R Wie ändert sich die Wellenlänge, wenn bei sonst gleichen Bedingungen
- die Frequenz verdoppelt wird?
 - die Fortpflanzungsgeschwindigkeit verdoppelt wird ?
- 70** R Eine **Ozeanwelle** besitzt eine Wellenlänge von 300 m und eine Schwingungsdauer von 15 s. Wie gross ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit?
- 71** R Rechts sind die Wellen, die ein "tanzender" **Wasserfloh** auf der Wasseroberfläche erzeugt, gezeichnet. Aus dem Wellenmuster können Sie die Bewegung des Flohs erkennen.
- 72** R Die Wellengleichung gilt auch für nichtmaterielle Wellen. Welche Fortpflanzungsgeschwindigkeit ergibt sich für elektromagnetische Wellen aus den Angaben eines **Kurzwellen-Radiosenders**: Wellenlänge 48.58 m, Frequenz 6175 kHz? Vergleichen Sie mit der Tabelle der wichtigen Konstanten. Was entdecken Sie?
- 73** R Der **Ton a'** hat die Frequenz 440 Hz. Wie gross ist die Wellenlänge der zugehörigen Schallwelle in Luft?
- 74** ? Eine Welle kann durch eine **Gleichung** (Kasten rechts) beschrieben werden. Sie gibt die Elongation an einem bestimmten Ort x zur Zeit t an und lautet (Kasten):
- An welchen Orten ist zur Zeit $t = 0$ die Elongation maximal?
 - An welchen Orten ist zur Zeit $t = T/4$ die Elongation maximal?

- A **Amplitude** der Welle = Amplitude eines Oszillators
- f **Frequenz** der Welle = Frequenz eines Oszillators = Frequenz des Erregers
- T **Periode** der Welle = Periode eines Oszillators
- λ **Wellenlänge**
- c **Wellengeschwindigkeit** = Ausbreitungsgeschwindigkeit

Wellenformel

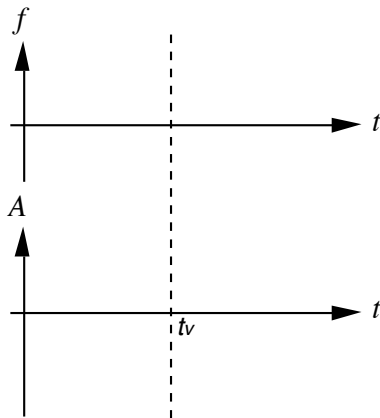


Gleichung für eine harmonische Welle

$$y(x, t) = \hat{y} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)$$

Schallwellen und Dopplereffekt

- 75 ? Sie stehen am Strassenrand. Ein Auto fährt hupend oder mit Sirene an Ihnen vorbei. Stellen Sie die Wahrnehmungen qualitativ in einem $f-t$ - und in einem $A-t$ -Diagramm dar. (t_V ist der Zeitpunkt der Vorbeifahrt.)



- 76 ✎ Die von Ihnen bei der vorherigen Aufgabe beschriebene Wahrnehmung werden Sie verstehen, wenn es Ihnen gelingt, die Behauptung im folgenden Kasten zu **beweisen**.

- Beweisen Sie diese Formel! Beachten Sie, dass der ruhende Beobachter die Welle nach wie vor mit der Schallgeschwindigkeit c auf sich zukommen "sieht", dass er aber gegenüber der Schallwelle einer ruhenden Quelle eine veränderte Wellenlänge wahrnimmt.
- Wie lautet die Formel, wenn sich die Quelle vom Beobachter *entfernt*?

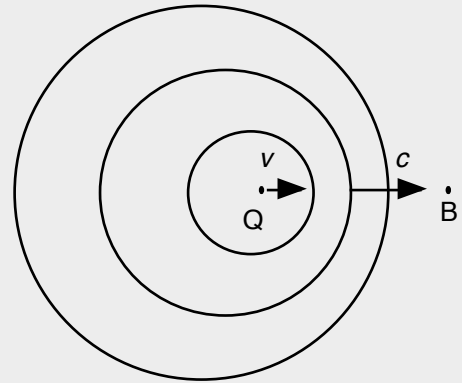
- 77 ? **Dopplereffekt bei ruhender Quelle:** Wenn sich ein Beobachter relativ zu einer gegenüber der Luft ruhenden Schallquelle bewegt, so nimmt er eine leicht veränderte Tonhöhe wahr. Bewegt sich der Beobachter auf die Schallquelle *zu*, so wird der Ton etwas *höher* wahrgenommen.

- Beweisen Sie diese Formel! Beachten Sie, dass ein ruhender und ein bewegter Beobachter dieselben Wellenlängen aber verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten wahrnehmen.
- Wie lautet die Formel, wenn sich der Beobachter von der Schallquelle entfernt?

- 78 ? **Kombinierter Dopplereffekt:** Eine **Schallquelle** mit konstanter Tonhöhe und ein Beobachter bewegen sich mit derselben Geschwindigkeit v relativ zur Luft auf einer Geraden aneinander vorbei. Bei welcher Geschwindigkeit v ist der Ton nach der Begegnung um eine Quarte (siehe Tabellensammlung) tiefer als bei der Annäherung?

Wenn eine Schallquelle sich auf einen ruhenden Beobachter zubewegt, so gilt:

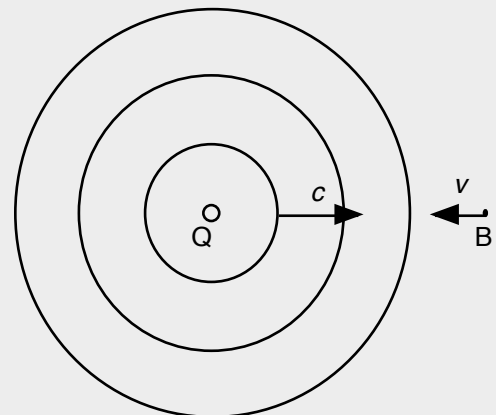
$$f_B = f_Q \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$$



- f_Q **Frequenz der Schallquelle** = bei ruhender Quelle vom ruhenden Beobachter wahrgenommene Frequenz
- f_B die vom ruhenden Beobachter **wahrgenommene Frequenz** der bewegten Quelle
- v **Geschwindigkeit der bewegten Quelle** (gegenüber ruhendem Beobachter, resp. ruhender Luft)
- c **Schallgeschwindigkeit** in Luft

Wenn ein Beobachter sich auf eine ruhende Schallquelle zu bewegt, so gilt:

$$f_B = f_Q \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$



79 R Signalpfeife: Die Signalpfeife eines Zuges habe die Tonhöhe a'' (d.h. $f_a = 1760$ Hz). Der (offenbar musikalische) Stationsvorsteher hört sie aber einen Ganzton höher (Tonhöhe h''), nämlich mit der Frequenz $f_h = 1976$ Hz. Mit welcher Geschwindigkeit fährt der Zug auf die Station zu?

80 R Zwei Velofahrer bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit aufeinander zu. Der eine klingelt, um den andern auf sich aufmerksam zu machen. ...

Weil einer der beiden Velofahrer gerade den Physikunterricht in einem bekannten Gymnasium besucht, stellt er sich nach der Begegnung die folgende Frage: "Ich nehme an, die Veloglocke erzeuge einen Ton mit der Frequenz 700 Hz und die Velofahrer haben eine Geschwindigkeit von 15 km/h. Welche Frequenz nimmt der zweite Velofahrer wahr?"

Richtungshören

81 R Wenn wir einen Ton wahrnehmen, so können wir in der Regel auch feststellen, aus welcher Richtung der Ton kommt. Die Voraussetzung dafür ist allerdings, dass wir mit beiden Ohren gleich gut hören können. Der Grund für unsere Fähigkeit ist kurz beschrieben für den Fall, dass ein Ton von rechts ertönt (die Zeichnung stellt die Situation von oben gesehen dar).

- a) Wie gross ist dieser **Zeitunterschied** etwa in der dargestellten Situation? (Überlegen Sie selber, welche Grössen Sie zur Berechnung benötigen und schreiben Sie die verwendeten Werte auf.)
- b) Manchmal bereitet das Richtungshören **Schwierigkeiten**, nämlich dann, wenn bei beiden Ohren gleichzeitig Verdichtungen ankommen, die aber bei der Schallquelle *nicht zur gleichen Zeit* erzeugt wurden. Bei welchen Frequenzen ist das ungefähr der Fall?

hörende Person
Lautsprecher

Von der Tonquelle her kommend gelangen Verdichtungen und Verdünnungen an die Ohren.

Allerdings gelangt eine bestimmte Verdichtung immer zuerst zum rechten Ohr und erst etwas später zum linken Ohr. (Die Erfahrung zeigt, dass die Schallwellen auch um den Kopf herum in das Ohr auf der "Schattenseite" gelangen können.)

Das Gehirn der hörenden Person registriert den Zeitunterschied, mit welchem eine Verdichtung bei den Ohren ankommt und "berechnet" daraus die Herkunftsrichtung der Schallwelle.

Reflexion mechanischer Wellen

82 i Dass Schallwellen reflektiert werden können, haben Sie beim Hören eines Echos schon erfahren. Auch andere Wellen werden am Ende ihres Wellenmediums reflektiert. An der Wellenmaschine beobachten wir die möglichen Arten der Reflexion.

Am festen Ende wird ein Wellenberg

als reflektiert.

Am freien Ende wird ein Wellenberg

als reflektiert.

Ergänzungen

83 Unter dieser Nummer werden Sie die Ergänzungen festhalten, die wir zu diesem Kapitel möglicherweise machen werden.

Es gibt keine Ergänzungen!

Es gibt Ergänzungen: