

# Unterrichtseinheit zu Wellen

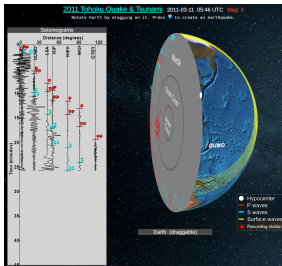
## Einführung in die mechanischen Wellen

Heiko Schröter

19. März 2021

# Simulation eines Erdbebens

## Ein Beispiel für mechanische Wellen und deren Ausbreitung



- Beispiel für mechanische Wellen
- Erdbeben versetzt umgebende Teilchen in Bewegung
- Bewegung breitet sich über Globus aus
- unterschiedliche Arten von Bewegung
- Seismografen registrieren die Bewegung

<http://ds.iris.edu/seismon/swaves/>

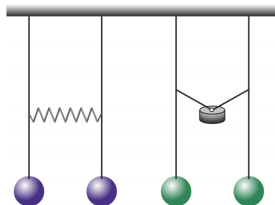
# Ziele für die heutige Unterrichtseinheit

## **Wie viel Zeit bleibt um sich vor den gefährlichen Oberflächenwellen eines Erdbebens in Sicherheit zu bringen?**

- Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Schwingungen und Wellen
- Wellenarten
- Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit
- Experiment Ausbreitungsgeschwindigkeit
- Übungsaufgaben

# Von der Schwingung zur Welle

## Gekoppelte Pendel



- einfachste Form der Ausbreitung
- Pendel sind **gekoppelt** (Feder oder Masse)
- 1. Pendel  
gibt seine Energie an 2. Pendel ab
- Und umgekehrt  
(2. Pendel  $\rightarrow$  1. Pendel)
- mathematisch dargestellt im Auslenkungs-Zeit-Diagramm

https:

//www.walter-fendt.de/html5/  
phde/coupledpendula\_de.htm

# Erweiterung auf mehrere Schwinger I

## Wellenmaschine mehrere gekoppelte Elemente

- Kopplung mehrerer Schwinger
- Schwingung breitet sich im Raum aus
- Geschwindigkeit und Beschleunigung ändern sich zeitlich periodisch → Schwingung
- Zusätzlich **räumlich** periodische Änderung → Welle
- Energie wird übertragen, kein Stoff

# Erweiterung auf mehrere Schwinger II

## Definition

Eine mechanische Welle ist die Ausbreitung einer mechanischen Schwingung im Raum.

## Definition

Eine Welle ist eine zeitlich und räumlich periodische Änderung physikalischer Größen.

## Definition

Mit einer Welle wird Energie übertragen, jedoch kein Stoff transportiert.

# mathematische Beschreibung I

## harmonische Schwingung

$$y = y_{\max} \cdot \sin \left( \frac{2\pi}{T} \cdot t \right)$$

$T$  Schwingungsdauer;  $t$  Zeit

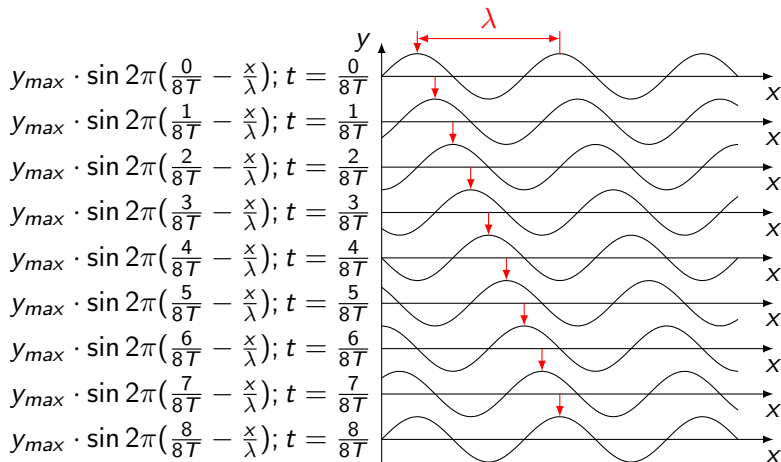
## harmonische Welle

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

$T$  Schwingungsdauer;  $t$  Zeit;  $x$  Ort;  $\lambda$  Wellenlänge

# Ausbreitung einer Wellen

## Momentaufnahmen einer Welle zu unterschiedlichen Zeiten





# Physikalische Kenngrößen I

## Wellenlänge

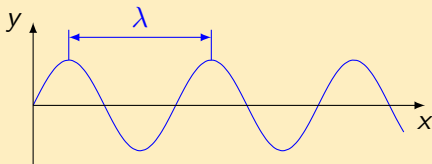
Die Wellenlänge ist der minimale Abstand zwischen zwei Oszillatoren, die sich im gleichen Schwingungszustand befinden. Das ist auch der Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenbergen oder Wellentälern.

Formelzeichen:  $\lambda$

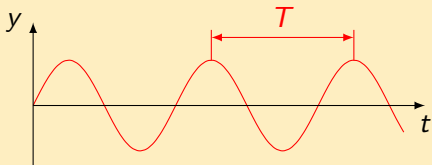
Einheit: ein Meter (1 m)

# Eine Harmonische Welle

y-x-Diagramm



y-t-Diagramm



# Graphische Darstellung der Wellenmaschine I

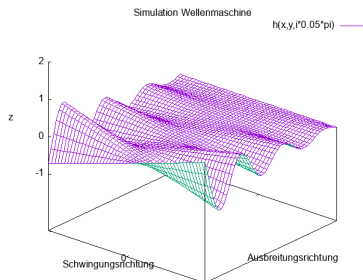


Abbildung: graphische Darstellung mittels Gnuplot

Animation starten

# Wellenarten I

## Längswellen (Longitudinalwellen)

- Schwingungsrichtung und Ausbreitungsrichtung stimmen überein
- z.B.: Schallwellen in Luft oder Wasser, lange Spiralfeder

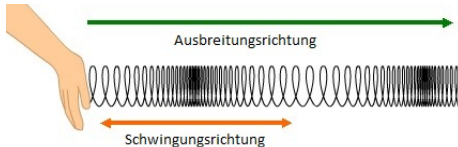


Abbildung: Demoexperiment Querwelle

# Wellenarten II

## Querwellen (Transversalwellen)

- Schwingungsrichtung und Ausbreitungsrichtung verlaufen senkrecht zueinander
- z.B.: Seilwellen, ein Teil der Erdbebenwellen



Abbildung: Demoexperiment Querwelle

# Wellenarten III

## Oberflächenwellen (Kreiswellen)

- Teilchen führen kreisförmige Bewegung aus
- treten an Oberflächen auf
- z.B.: Wasserwellen

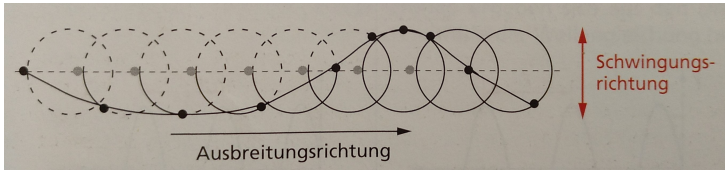


Abbildung: Darstellung von Kreiswellen

Animation starten

# Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit und Wellenlänge

## Ausbreitungsgeschwindigkeit

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle ist die Geschwindigkeit, mit der sich eine bestimmte Phase im Raum ausbreitet.

Formelzeichen:  $v$

Einheit: ein Meter durch Sekunde ( $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

## Ausbreitungsgeschwindigkeit

Für alle mechanischen Wellen gilt:

$$v = \lambda \cdot f \quad \text{oder} \quad v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{mit} \quad f = \frac{1}{T}$$

Formelzeichen:  $v$

Einheit: ein Meter pro Sekunde ( $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

# Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen

Mit zwei Smartphones kann die Schallgeschwindigkeit gemessen werden. Die App *phyphox* auf den beiden Smartphones bestimmt dabei die Zeitspanne, die der Schall benötigt, um eine vorgegebene Strecke zu durchlaufen.

<https://www.youtube.com/watch?v=-XSTRqhJ6MQ>

→ Durchführung des Versuches



# Beispielaufgabe 1 Wellenlänge Schallwelle

**Aufgabe:** Die vom menschlichen Ohr wahrnehmbaren Schallwellen haben eine Frequenz zwischen ca. 20 Hz und 20 000 Hz und die Schallgeschwindigkeit beträgt ca.  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

- a) Berechnen Sie die Wellenlänge  $\lambda$  einer Schallwelle bei  $f = 1000 \text{ Hz}$ .
- b) Wie groß ist die Periodendauer in diesem Fall?

## Lösung:

a)

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000 \frac{1}{\text{s}}} = 0,34 \text{ m}$$

b)

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000 \frac{1}{\text{s}}} = 0,001 \text{ s} \quad \text{bzw.}$$

$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow T = \frac{\lambda}{v} = \frac{0,34 \text{ m}}{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,001 \text{ s}$$

## Beispielaufgabe 2 Wellenlänge Schallwelle

**Aufgabe:** Welche Frequenz hat ein Erreger, der in Luft ( $v = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) eine Schallwelle mit der Wellenlänge 20 cm erzeugt?

## Beispielaufgabe 2 Wellenlänge Schallwelle

**Aufgabe:** Welche Frequenz hat ein Erreger, der in Luft ( $v = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) eine Schallwelle mit der Wellenlänge 20 cm erzeugt?

**Lösung:**

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20 \text{ cm}} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,20 \text{ m}} = 1700 \frac{1}{\text{s}}$$

## Beispielaufgabe 3 Wellenlänge Schallwelle

**Aufgabe:** Bei einer Echolotmessung sendet eine Schallquelle ( $f = 40\,000\text{ Hz}$ ) unter Wasser Schallwellen mit der Wellenlänge  $\lambda = 3,7\text{ cm}$  aus. Wie groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in Wasser?

## Beispielaufgabe 3 Wellenlänge Schallwelle

**Aufgabe:** Bei einer Echolotmessung sendet eine Schallquelle ( $f = 40\,000\text{ Hz}$ ) unter Wasser Schallwellen mit der Wellenlänge  $\lambda = 3,7\text{ cm}$  aus. Wie groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in Wasser?

**Lösung:**

$$v = \lambda \cdot f = 3,7\text{ cm} \cdot 40\,000\text{ Hz} = 0,037\text{ m} \cdot 40\,000\frac{1}{\text{s}} = 1480\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

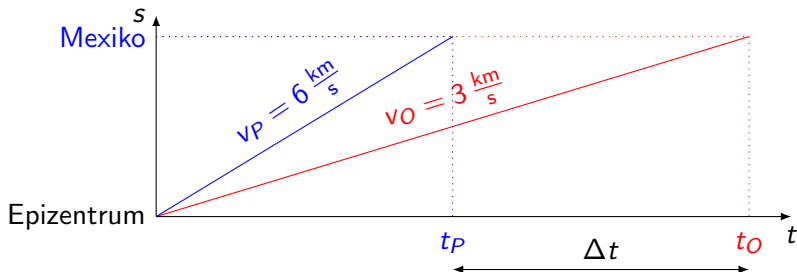
## Beispielaufgabe 4 Erdbeben

**Aufgabe:** Im Jahr 1985 ereignete sich in Mexiko ein schweres Erdbeben. Das Epizentrum lag 340 km von Mexiko City entfernt. Zunächst trafen in der Hauptstadt die P-Wellen ein, die sich mit einer Geschwindigkeit von  $6 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  ausbreiten. Berechnen Sie die Zeit, die den Bewohnern blieb, um sich vor den gefährlichen Oberflächenwellen ( $v = 3 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ) in Sicherheit zu bringen.

## Beispielaufgabe 4 Erdbeben

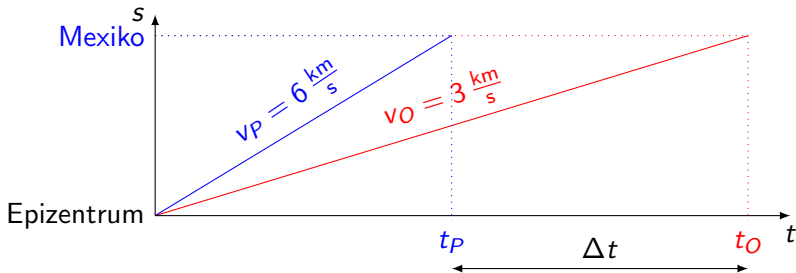
**Aufgabe:** Im Jahr 1985 ereignete sich in Mexiko ein schweres Erdbeben. Das Epizentrum lag 340 km von Mexiko City entfernt. Zunächst trafen in der Hauptstadt die P-Wellen ein, die sich mit einer Geschwindigkeit von  $6 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  ausbreiten. Berechnen Sie die Zeit, die den Bewohnern blieb, um sich vor den gefährlichen Oberflächenwellen ( $v = 3 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ) in Sicherheit zu bringen.

**Lösung:**





## Lösung:



$$t = \frac{s}{v} \Rightarrow \Delta t = t_O - t_P = \frac{s}{v_O} - \frac{s}{v_P} = \frac{340 \text{ km}}{3 \frac{\text{km}}{\text{s}}} - \frac{340 \text{ km}}{6 \frac{\text{km}}{\text{s}}} \\ = \frac{170}{3} \text{ s} \approx 56,7 \text{ s}$$