Mechanische Schwingungen und Wellen

Teil II - Wellen

Begriff mechanische Welle

Definition:

- **Eine mech. Welle ist die Ausbreitung einer mech. Schwingung im Raum, bei der Energie übertragen jedoch kein Stoff transportiert wird.**

Voraussetzung:

- **Schwingungsfähige Systeme**
- **Kopplungskräfte zwischen ihnen**

- Eine Welle ist die zeitlich und örtlich periodische Änderung physikalischer Größen.

© Doris Walkowiak

Arten mechanischer Wellen

- **Querwellen** (Transversalwellen): Die Teilchen schwingen quer zur Ausbreitungsrichtung (z. B. Seilwelle)
- **Längswellen** (Longitudinalwellen): Die Teilchen schwingen in Ausbreitungsrichtung (z. B. Schall)
- **Oberflächenwellen** (kommen durch Schwerkraft zustande): die Teilchen (zum Bsp. bei Wasserwellen) führen keine einfache Auf- und Abbewegung, sondern eine Kreisbewegung aus ➔ langgestreckte Täler, kurze Berge

Beispiel:

- Bei Erdbeben erst P-Wellen (longitudinal), dann mit etwas geringerer Geschwindigkeit S-Wellen (transversal), zuletzt R- und L-Wellen (Oberflächenwellen)

Applet; Bild; S. 124 f

© Doris Walkowiak

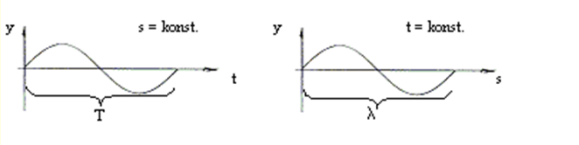
Kenngrößen der Welle

Größe	Formel-zeichen	Einheit	Gleichung
Amplitude (max. Auslenkung)	y_{max}	m	
Elongation (Auslenkung)	y	m	$y = y_{max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$
Periodendauer (Zeit für eine vollständige Schwingung)	T	s	$T = \frac{t}{n}$
Frequenz (Anzahl der Schwingungen pro Sekunde)	f	Hz	$f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T}$
Wellenlänge (kürzester Abstand zweier Teilchen in gleicher Phase)	λ	m	
Ausbreitungsgeschwindigkeit	c	m/s	$c = \lambda \cdot f$

Demo der Kenngrößen

© Doris Walkowiak

Grafische Darstellung



Beispiel:

Eine mech. Welle breitet sich mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s aus und führt dabei 5 Schwingungen in 10 s aus. Zeichne die zugehörigen Diagramme, wenn die Amplitude 30 cm beträgt!

$T = \frac{10s}{5} = 2s$ λ = c · T = 2 m/s · 2 s = 4 m

© Doris Walkowiak

Übungen

- S. 123 / 1, 2

1.

T = 3 s / 12 = 1/4 s = 0,25 s f = 4 Hz

c = 3,6 m / 3 s = 1,2 m/s λ = c / f = 0,3 m

2.

λ = 0,4 m * 4 = 1,6 m c = λ * f = 1,6 m * 0,5 s^{-1} = 0,8 m/s

© Doris Walkowiak

Wellengleichung

Schwingungsgleichung für Oszillator im Punkt P(0):

$$y = y_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Ausbreitung im Raum mit $v = \lambda \cdot f$
➔ Oszillator im Punkt $P(x_1)$ beginnt zur Zeit t_1 zu schwingen:

$$y = y_{max} \cdot \sin[\omega \cdot (t - t_1)]$$

$$t_1 = \frac{x_1}{v} = \frac{x_1 \cdot T}{\lambda} \Rightarrow y = y_{max} \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x_1 \cdot T}{\lambda}\right)\right]$$

$$\text{allgemein}: x = x_1 \Rightarrow y = y_{max} \cdot \sin\left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right]$$

Applet Ausbreitung

© Doris Walkowiak

Aufgabe

Eine harmonische Schwingung breite sich vom Nullpunkt aus längs der x-Achse als transversale Welle mit v = 7,5 mm/s aus. Es sei außerdem y_{max} = 1 cm und $\omega = \pi/2\ s^{-1}$.

a) Berechnen Sie Periodendauer, Frequenz und Wellenlänge.
b) Wie heißt die Wellengleichung?
c) Berechnen Sie die Elongation eines Oszillators in 5 cm Entfernung vom Nullpunkt nach 7 s.

a) $T = 4\,s \qquad f = 0{,}25\,Hz \qquad \lambda = 0{,}03\,m$

b) $y = 0{,}01\,m \cdot \sin\left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{4\,s} - \frac{x}{0{,}03\,m}\right)\right]$

c) $y = 0{,}005\,m$

© Doris Walkowiak

Eigenschaften mechanischer Wellen

Mechanische Wellen breiten sich geradlinig aus.

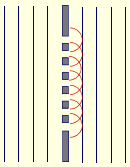
- Reflexion
- Brechung
- Beugung
- Interferenz

Wellenwanne

© Doris Walkowiak

Huygens'sches Prinzip

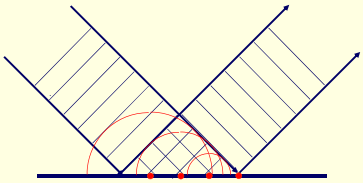
- Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt von Elementarwellen angesehen werden, die sich mit der gleichen Phasengeschwindigkeit und Frequenz wie die ursprüngliche Welle ausbreiten. Die Einhüllende aller Elementarwellen stellt eine neue Wellenfront dar.



S. 134 Wellenwanne (Gitter)

© Doris Walkowiak

Reflexionsgesetz



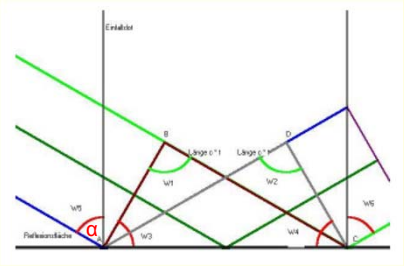
Trifft eine Welle auf ein Hindernis, so wird sie reflektiert.
Es gilt: $\alpha = \alpha'$

Anwendung: Sonar

Applet (2. Brechungsindex auf 100 setzen)

© Doris Walkowiak

Herleitung Reflexionsgesetz



$$\sin\alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1 \cdot t}{AC}$$

$$\sin\beta = \frac{AD}{AC} = \frac{v_2 \cdot t}{AC}$$

$v_1 = v_2$ (gleicheMedien)

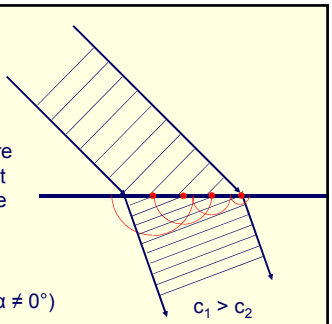
$\Rightarrow \sin\alpha = \sin\beta$

$\Rightarrow \quad \alpha = \beta$

http://www.joerg-rudolf.lehrer.belwue.de/images/physik_os/em-wellen/huygens.pdf

© Doris Walkowiak

Brechungsgesetz



Trifft eine Welle auf eine Grenzschicht, an der sich ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit ändert, so verändert sich ihre Richtung. Die Welle wird gebrochen.

Es gilt: $\boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2}}$ $(\alpha \neq 0°)$

$c_1 > c_2$

➔ $\lambda_1 > \lambda_2$

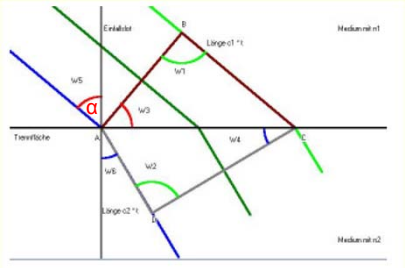
Beispiele:
Wasser (tief → flach)
Luft (warm → kalt)

f = konstant

Applet (2. Brechungsindex: 2) Animation

© Doris Walkowiak

Herleitung Brechungsgesetz



$$\sin\alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{v_1 \cdot t}{AC}$$

$$\sin\beta = \frac{AD}{AC} = \frac{v_2 \cdot t}{AC}$$

$$\Rightarrow \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

http://www.joerg-rudolf.lehrer.belwue.de/images/physik_os/em-wellen/huygens.pdf

© Doris Walkowiak

Aufgabe

Eine Schallwelle trifft unter einem Winkel von 50° auf eine Grenzschicht zwischen 20°C und 0°C warmer Luft (0°C → 20°C). Berechnen Sie den Brechungswinkel und die Wellenlänge in beiden Schichten, wenn die Frequenz der Schallwelle 10 kHz beträgt.

$$\sin\beta = \frac{c_2}{c_1} \cdot \sin\alpha = \frac{332\,m/s}{344\,m/s} \cdot \sin 50°$$

$$\beta = 47{,}7°$$

$$\lambda_1 = \frac{c_1}{f} = \frac{344\,m/s}{10000\,Hz} = 0{,}0344\,m = 3{,}4\,cm$$

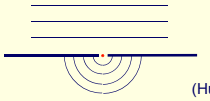
$$\lambda_2 = \qquad = 3{,}32\,cm$$

© Doris Walkowiak

Beugung

Wellen werden um Hindernisse herum gebeugt, d. h. sie dringen in den geometrischen Schattenraum ein.

- Einfachspalt

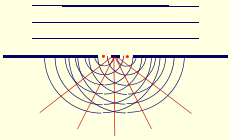


(Huygens'sches Prinzip)

Wellenwanne (Hindernis, Einfachspalt)

© Doris Walkowiak

Interferenz



- Die Überlagerung von Schwingungen und Wellen heißt Interferenz.
- Schwingungen und Wellen überlagern sich, ohne sich zu stören.
- Elongation und Amplitude der Resultierende ergibt sich durch vektorielle Addition (Applet)
- Durch die Überlagerung kann zu Verstärkung, Abschwächung oder Auslöschung kommen.
- Anwendung: z. B. Lärmbekämpfung, Raumakkustik
- Wellenwanne (Bsp. Doppelspalt, Gitter, Interferenz von Kreiswellen)

© Doris Walkowiak

Überlagerung von Schwingungen und Wellen – weitere Phänomene

- Reflexion am festen und am losen Ende
- Stehende Welle: S. 138 ff
  - Zwei Wellen, die gleichzeitig in entgegen gesetzter Richtung durch das gleiche Medium laufen, überlagern sich zu einer stehenden Welle (falls Amplitude, Wellenlänge und Frequenz übereinstimmen).
  - Wellenbäuche, Wellenknoten
  - Chladnische Klangfiguren (S. 143)
  - Anwendung Musikinstrumente (z. B. Saite)
- Schwebung: S. 114 f
  - entsteht durch Überlagerung zweier Schwingungen mit geringem Frequenzunterschied (gleiche Amplitude) - Folie
  - Hörbeispiel

© Doris Walkowiak

Dopplereffekt

- Applet, noch ein Applet
- Hörbeispiele: 1 2 3 4
- Bei einer Relativbewegung zwischen Wellenerreger und Beobachter ändert sich die wahrgenommene Frequenz.

- Für eine ruhende Schallquelle gilt: $\Delta f = \pm f \cdot \frac{v}{c}$

  bzw.: $f_e = f \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$

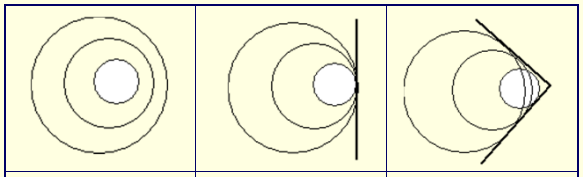
  bei Annäherung: f ↑ (+), bei Entfernung: f ↓ (-)
  v ... Geschwindigkeit der Relativbewegung
  c ... Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle

- Für eine bewegte Schallquelle gilt: $f_e = \frac{f}{1 \mp \frac{v}{c}}$
- Folie

© Doris Walkowiak

Überschall

- Infolge der Bewegung des Flugzeuges, verringert sich vor ihm die Wellenlänge.



$v < v_s$	$v = v_s$ (mitlaufende Kopfwelle = Knall)	$v > v_s$ (Machscher Kegel - längs des Kegels verstärkte Druckwelle)

Applet

© Doris Walkowiak

Überschall

Infos:

- Der Erste (Am 14. Oktober 1947 durchbrach der amerikanische Testpilot Chuck Yeager in einer Bell X-1 in etwa 15.000 m Höhe als erster Mensch die Schallmauer.)
- Überschall
- Geschichte
- Concorde
- Geschichte des Überschallflugzeugs bei wikipedia
- was sonst noch interessant ist

© Doris Walkowiak

Surfin‘

© Doris Walkowiak

Surfin‘

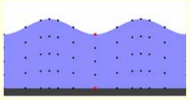
© Doris Walkowiak

Tsunami

- Fachbegriff für Wellen mit extrem großer Wellenlänge, die durch plötzliche Verdrängung von Wasser ausgelöst werden.
- Ursachen: Erdbeben, Erdrutsche, Vulkanausbrüche, Nuklearexplosionen und Meteoriteneinschläge.
- im tiefen Ozean - Entfernung von Wellenkamm zu Wellenkamm mindestens 150 km; Amplitude: wenige Dezimeter ➔ auf dem freien Ozean kaum wahrnehmbar
- Geschwindigkeit kann 1000 km/h erreichen
- Beim Erreichen der flacher werdenden Küstengewässer nimmt die Geschwindigkeit der Welle ab und die Amplitude vergrößert sich
- In Ausnahmefällen können Tsunamis Höhen von 30 m erreichen ➔ unvorstellbare Zerstörungskraft.

© Doris Walkowiak

Tsunami bei Wikipedia



Simulation der Bewegung von Wasserpartikeln bei der Ausbreitung einer Tsunamiwelle bei geringer Meerestiefe (Wellenlänge >> Tiefe).

Quelle: fr:Image:Mouvement dans une vague en eau peu profonde.gif

Beim Auftreffen auf die Küste erhöht sich die Amplitude; die Wellenlänge und Geschwindigkeit des Tsunami nimmt ab

Rätsel der Riesenwellen

© Doris Walkowiak

Quellen

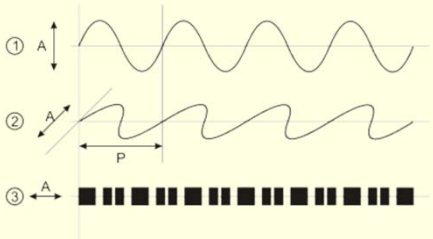
http://www.abi-tools.de/themen/physik/physik.htm
Multiple Choice Fragen zu verschiedenen Themen
http://www.schule.at/index.php?url=kategorien&kthid=937
Applets zur Schwingung
http://www.schulphysik.de/java/physlet/applets/sinus1.html
Akustik, z. B. Abhängigkeit Tonhöhe und Lautstärke von Frequenz und Amplitude
http://www.br-online.de/wissen-bildung/telekolleg/faecher/physik/
Telekolleg multimedial des br
http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/wellen
Applets, Demos …
http://www.schulserver.hessen.de/gladenbach/freiherr-vom-stein-europa/infothek/physik/Physik.html
Links
http://www.physik.uni-wuerzburg.de/physikonline.html/video1/welcome.html
Videos von Experimenten
http://www.cornelsen.de/physikextra/htdocs/Resonanz.html
Einsturz der Tacoma Narrows Bridge
http://www.nwrain.com/%7Enewtsuit/recoveries/narrows/cb.htm
Tacoma Narrows Bridge heute
http://www.susannealbers.de/pk_applets/wwanne/06wissen-physik-wwanne.html
Simulation Wellenwanne
http://www.pi5.uni-stuttgart.de/lehre/versuche/versuche.html
Videos von Versuchen

© Doris Walkowiak

Backups

© Doris Walkowiak

Wellenarten



Quelle: Wikipedia

Wellenarten: 1. & 2. Querwellen; 3. Längswelle

© Doris Walkowiak