

Wellen als Naturerscheinung

Mechanische Wellen

Definition:

Eine (mechanische) Welle ist die Ausbreitung einer (mechanischen) Schwingung im Raum, wobei Energie und Impuls transportiert wird, aber kein Stoff.

Voraussetzungen:

- schwingungsfähige Teilchen
- Kopplungskräfte

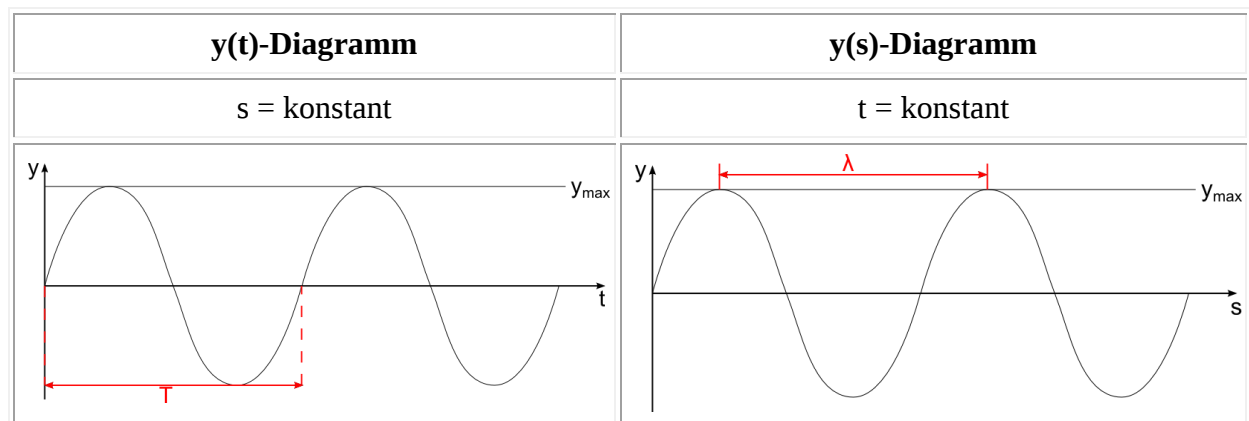
periodische Welle:

- zeitlich und räumlich periodischer Vorgang
- Frequenz kennzeichnet zeitliche Periodizität
- Wellenlänge kennzeichnet räumliche Periodizität

harmonische Welle:

- harmonische Schwingung erzeugt Welle
- räumliche Ausbreitung lässt sich durch Sinusfunktion darstellen
- Gleichung: $y(x, t) = y_{\max} \cdot \sin \left(2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right] \right)$

Größen zur Beschreibung:



Periodendauer	T	in s	Zeit für eine Schwingung
Frequenz	f	in Hz	Kehrwert der Periodendauer
Amplitude	$y_{\max}$	in m	maximale Auslenkung
Auslenkung	y	in m	Auslenkung zum Zeitpunkt t
Wellenlänge	λ	in m	Abstand zweier benachbarter Wellenberge
Ausbreitungsgeschwindigkeit	v	in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Geschwindigkeit mit der sich die Welle bewegt

- Wellen breiten sich gleichförmig aus
- für die Zeit $t = T$ hat sich die Welle um den Weg $s = \lambda$ weiterbewegt, also folgt:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Wellenarten:

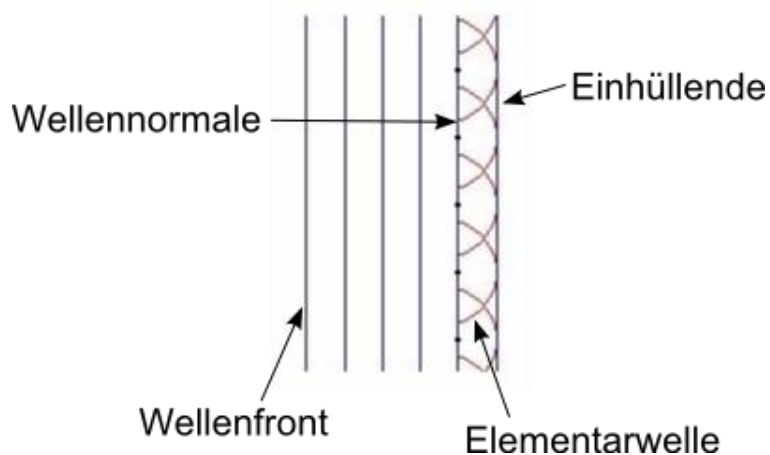
1. Transversalwelle (Querwelle): Schwingung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (Bsp. Wasserwelle)
2. Longitudinalwelle (Längswelle): Schwingung parallel zur Ausbreitungsrichtung (Bsp. Schallwelle)

Welleneigenschaften:

Huygenssches Prinzip:

Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer (frequenz- und phasengleichen) (kreisförmigen) Elementarwelle.

Die Einhüllende bildet eine neue Wellenfront.



Reflexion:

- Zurückwerfen einer Welle an einen Hindernis = Umkehr des Energieflusses
- Reflexionsgesetz gilt
- alle entsprechenden Winkel in Dreiecken sind kongruent
- Winkel deren Schenkel senkrecht aufeinander stehen sind gleich groß
- $\Rightarrow$ Einfallswinkel = Reflexionswinkel

Brechung:

Änderung der Ausbreitungsrichtung bei der Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit an eine Grenzfläche

Beugung:

Ausbreitung einer Welle in den Schattenraum eines Hindernisses

Interferenz:

- Überlagerung von Wellen, wobei Gebiete der Verstärkung und Schwächung entstehen
- Superpositionsprinzip: ungestörte Überlagerung
- Verstärkung: Wellenberg + Wellenberg oder Tal + Tal
- Schwächung: Wellenberg + Wellental
- Auslöschung: gleiche Amplitude
- Gegenunterschied für Verstärkung: $\Delta s = k \cdot \lambda \Rightarrow$ Maximum k-ter Ordnung
- Gegenunterschied für Auslöschung: $\Delta s = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} \Rightarrow$ Minimum

Reflexion von Schallwellen:

Treffen Wellen auf eine Grenzfläche, so werden sie dort reflektiert.

Bei einem festen Ende wird ein Berg als Tal und ein Tal als Berg reflektiert. Bei einem losen Ende wird ein Berg als Berg und ein Tal als Tal reflektiert.

stehende Wellen:

Bei der Überlagerung gleicher, gegenläufiger Wellen ergeben sich stehende Wellen mit Knoten und Bäuchen.

Bei gleichartigen Reflexionen gilt: $\lambda = \frac{2L}{k}$ mit $k = 1, 2, 3, \dots$

Bei verschiedenartigen Reflexionen gilt: $\lambda = \frac{4L}{(2k-1)}$ mit $k = 1, 2, 3, \dots$

Hertzische Wellen

- geschlossener Schwingkreis $\Rightarrow$ offener Schwingkreis
- Ausbreitung einer elektromagnetischen Schwingung im Raum
- Ausbreitungseigenschaften bleiben erhalten
 - geradlinig, allseitige Ausbreitung in einem Medium mit Lichtgeschwindigkeit
 - es gilt $c = \lambda \cdot f$ und gleichförmige Bewegung
 - Durchdringung von Isolatoren
 - Reflexion an Metallen
 - Brechung, Beugung, Interferenz
- Durchdringungsfähigkeit und Reflexionsvermögen sind je nach Wellenlänge unterschiedlich stark ausgeprägt
- Hertzische Wellen sind Transversalwellen
- sind polarisiert (besitzen eine Schwingungsrichtung)

Informationsübertragung:

Amplitudenmodulation:

Veränderung der Amplitude der zu übertragenden niederfrequenten Schallschwingung

Frequenzmodulation:

Veränderung der hochfrequenten Schwingung im Rhythmus der niederfrequenten Schwingung

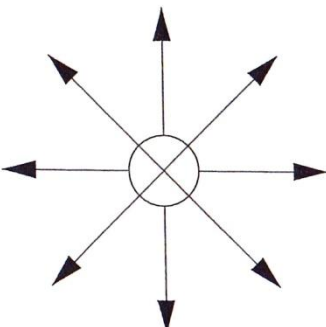
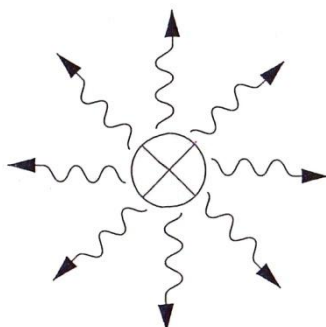
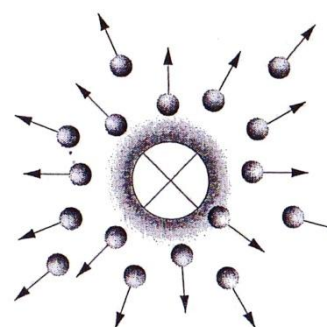
Demodulation:

Trennung von niederfrequenten elektromagnetischen Schwingungen von der hochfrequenten Trägerschwingung

Abstimmkreis:

Einstellung der Resonanzfrequenz durch Änderung der Kapazität

Licht als Welle

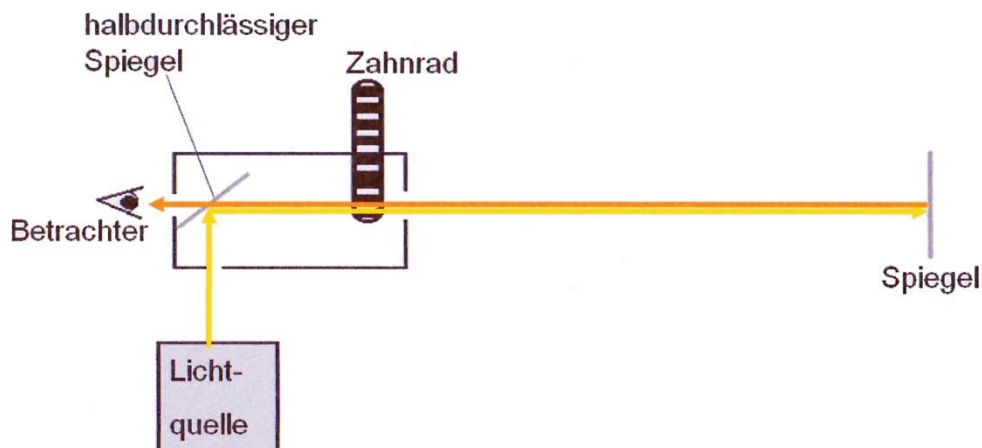
Modell	Lichtstrahl	Lichtwelle	Lichtteilchen
Bild			
erklärbar	• geradlinig, allseitige Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit • Reflexion • Brechung • Schattenbildung	• Reflexion • Brechung • Beugung • Interferenz • Polarisation	• Reflexion • Brechung • Photoeffekt
Grenzen	• Farbzerlegung • Interferenz	• Photoeffekt • Schattenbildung	
Eignung	eignet sich zur Beschreibung des Wegs, den Licht zurücklegt	eignet sich zur Erklärung von Beugung und Interferenz	eignet sich zur Erklärung des Fotoeffekts
Aussage	Keine Aussage zur Natur des Lichts	Licht hat Wellencharakter	Licht hat Teilchencharakter

Notwendigkeit Arbeit mit Modellen:

- Vereinfachung der Realität
- Mittel zur Veranschaulichung
- Mittel zum Aufstellen, zum Weiterentwickeln und zum Anwenden einer Theorie
- Möglichkeit der Berechnung

Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit:

1. Däne Olaf Römer 1676 mit Jupitermond Io; $c = 228\,000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
2. Versuch von Fizeau:



Reflexionsgesetz:

Lichtstrahl entspricht Wellennormale

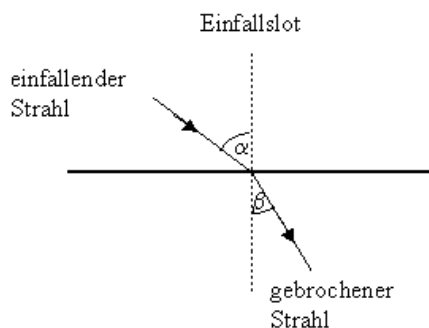
Trifft Licht auf einen Körper, so wird es reflektiert.

Einfallswinkel α und Reflexionswinkel α' sind gleich groß $\Rightarrow \alpha = \alpha'$

Einfallender Strahl, Einfallslot und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene.

Brechungsgesetz:

Trifft Licht unter einem Einfallswinkel $\alpha \neq 0^\circ$ von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium über, so wird der Lichtstrahl zum Lot hin gebrochen. Trifft Licht unter einem Einfallswinkel $\alpha \neq 0^\circ$ von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium über, so wird der Lichtstrahl vom Lot weg gebrochen.



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

n... Brechzahl der Stoffkombination

Brechzahl n: Verhältnis von

Lichtgeschwindigkeit in Vakuum zur

Lichtgeschwindigkeit im Stoff

$$n = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_{\text{Stoff}}}$$

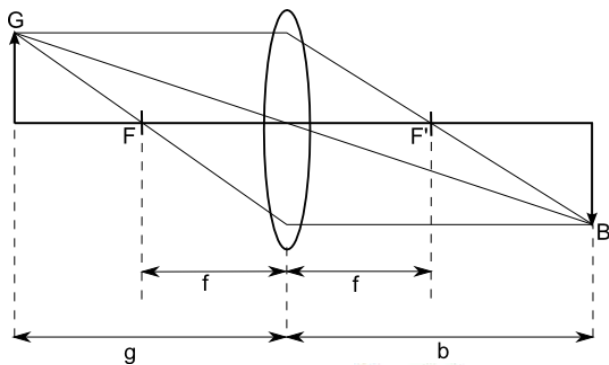
Totalreflexion:

Totalreflexion tritt ein, wenn Licht aus einem optisch dichteren Medium kommend auf die Grenzfläche zu einem optisch dünneren Medium trifft und der Einfallswinkel größer als der Grenzwinkel α_G ist.

$$\sin \beta = 1$$

$$\sin \alpha_G = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Herleitung der Linsengleichung



Abbildungsmaßstab: $\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$
b... Bildweite
g... Gegenstandsweite
B... Bildgröße
G... Gegenstandsgröße
f... Brennweite

Gleichsetzen: (1) = (2) $\Rightarrow \frac{b}{g} = \frac{b-f}{f}$

$$\frac{b}{g} = \frac{b}{f} - 1 \quad | :b$$

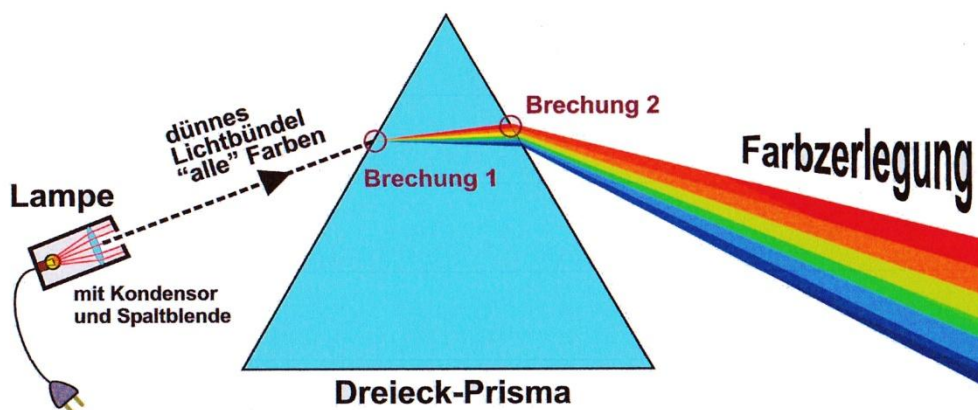
$$\frac{1}{g} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b} \quad | + \frac{1}{b}$$

Linsengleichung: $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$

Grenzen des Modells Lichtstrahl

Dispersion:

Die einzelnen Farbanteile des weißen Lichtes werden unterschiedlich stark gebrochen. Violett wird stärker gebrochen als rot.



Beugung:

Ausbreitung einer Welle in den Schattenraum von Hindernissen

Interferenz:

- Überlagerung von Wellen, wobei Gebiete der Verstärkung bzw. der Auslöschung entstehen
- Verstärkung: Wellenberg + Wellenberg oder Wellental + Wellental
- Auslöschung: Wellenberg + Wellental

es gilt: gleichförmige Bewegung $c = \frac{s}{t}$

und es müsste gelten: $c = \lambda \cdot f$

⇒ Problem: Wellenlängen

Interferenzen an dünnen Schichten:

- Licht trifft auf dünne Schicht (z.B. Seifenblase) ⇒ 10% wird reflektiert ⇒ Licht trifft auf 2. Grenzfläche der Schicht ⇒ wieder 10% werden reflektiert ⇒ usw.
- an Vorderseite reflektiertes Licht wird von Licht welches aus Wasser/ Seifenblase zurückkommt überlagert ⇒ hat bei senkrechtem Auftreffen einen um $\Delta s = 2d$ längeren Weg zurückgelegt
- selber Wegunterschied hat auch durchgehende Welle gegenüber dem im Wasser doppelt reflektierten Anteil ⇒ Interferenzen

Trifft Licht senkrecht auf eine dünne Schicht eines optisch dichteren Stoffes so zeigen sich im reflektierten Licht:

Minima: $\Delta s = 2d = k \cdot \lambda_s$

Maxima: $\Delta s = 2d = \frac{1}{2}(2k+1) \cdot \lambda_s$

Phasensprung bei Reflexion am optisch dichten Medium: $\frac{\lambda}{2}$

d... Abstand zwischen den Schichten

im reflektierten Licht: im gebrochenen Licht:

Minimum: $\Delta s = 2dn + \frac{\lambda}{2}$

Minimum: $\Delta s = 2dn$

$$d = \frac{2k \cdot \lambda}{4n}$$

$$d = \frac{(2k+1) \cdot \lambda}{4n}$$