

Optik

Wellenoptik



Gliederung

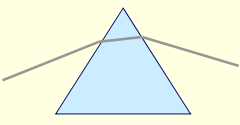
- [Dispersion](#)
- [Definition und Kenngrößen der Welle](#)
- [Huygens'sches Prinzip](#)
- [Welleneigenschaften](#)
- [Interferenz](#)
- [Kohärenz](#)
- [Streuung](#)
- [Polarisation](#)



© Doris Walkowiak 2010

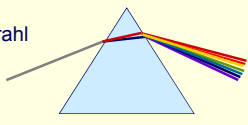
Dispersion

Strahlengang durch ein Prisma
- Modell Lichtstrahl



ABER:
Zerlegung des weißen Lichts in seine **Spektralfarben**.

- kann mit dem Modell Lichtstrahl nicht erklärt werden
→ Wellenmodell



Dispersion:
Abhängigkeit des Brechungsindex von der Wellenlänge.
Je größer die Wellenlänge, desto geringer die Brechzahl.

© Doris Walkowiak 2010

Definition und Kenngrößen

Eine Welle ist die zeitlich und örtlich periodische Änderung physikalischer Größen, bei der Energie jedoch kein Stoff transportiert wird.

Frequenz (Anzahl der Schwingungen pro Sekunde)	f	Hz	
Wellenlänge (kürzester Abstand zweier Teilchen in gleicher Phase)	λ	m	
Ausbreitungsgeschwindigkeit	c	m/s	$c = \lambda \cdot f$

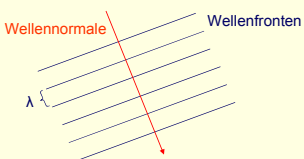
© Doris Walkowiak 2010

Lichtausbreitung

Die Lichtgeschwindigkeit ist abhängig vom Stoff:

- Vakuum: $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s
- Wasser: $c = 2,25 \cdot 10^8$ m/s
- Kronglas: $c = 1,99 \cdot 10^8$ m/s (leicht)

Dabei ändert sich auch die Wellenlänge.
 $c = \lambda \cdot f$

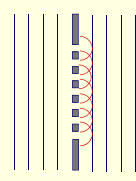


LeIFI Lichtgeschwindigkeit

© Doris Walkowiak 2010

Huygens'sches Prinzip

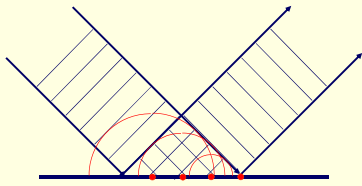
- Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt von Elementarwellen angesehen werden, die sich mit der gleichen Phasengeschwindigkeit und Frequenz wie die ursprüngliche Welle ausbreiten. Die Einhüllende aller Elementarwellen stellt eine neue Wellenfront dar.



[Wellenwanne \(Gitter\)](#)

© Doris Walkowiak 2010

Reflexionsgesetz



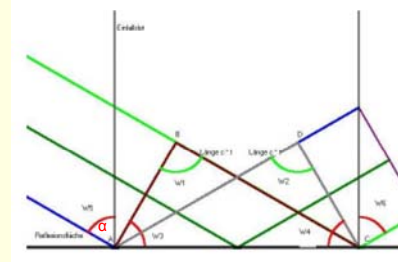
Trifft eine Welle auf ein Hindernis, so wird sie reflektiert.
Es gilt: $\alpha = \alpha'$

Applet (2. Brechungsindex auf 100 setzen)



© Doris Walkowiak 2010

Herleitung Reflexionsgesetz



$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{BC}{AC} \\ &= \frac{v_1 \cdot t}{AC} \\ \sin \beta &= \frac{AD}{AC} \\ &= \frac{v_2 \cdot t}{AC} \\ v_1 &= v_2 \text{ (gleiche Medien)} \\ \Rightarrow \sin \alpha &= \sin \beta \\ \Rightarrow \alpha &= \beta \end{aligned}$$

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



© Doris Walkowiak 2010

Brechungsgesetz

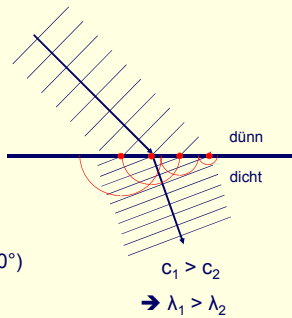
Trifft eine Welle auf eine Grenzschicht, an der sich ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit ändert, so verändert sich ihre Richtung. Die Welle wird gebrochen.

Es gilt: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} \quad (\alpha \neq 0^\circ)$

Beispiel:

- Regenbogen

$f = \text{konstant}$

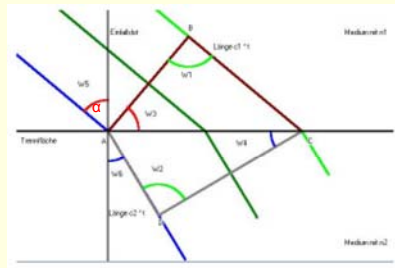


Applet



© Doris Walkowiak 2010

Herleitung Brechungsgesetz



$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \frac{BC}{AC} \\ &= \frac{v_1 \cdot t}{AC} \\ \sin \beta &= \frac{AD}{AC} \\ &= \frac{v_2 \cdot t}{AC} \\ \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} &= \frac{v_1}{v_2} \end{aligned}$$

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

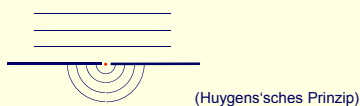


© Doris Walkowiak 2010

Beugung

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

- Einfachspalt



(Huygens'sches Prinzip)

Wellenwanne (Hindernis, Einfachspalt)

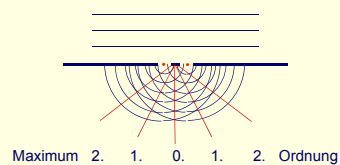


© Doris Walkowiak 2010

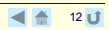
Interferenz

Treffen Wellen aufeinander, so überlagern sie sich ohne sich zu stören. Dabei addieren sich die Elongationen.

→ Maxima und Minima

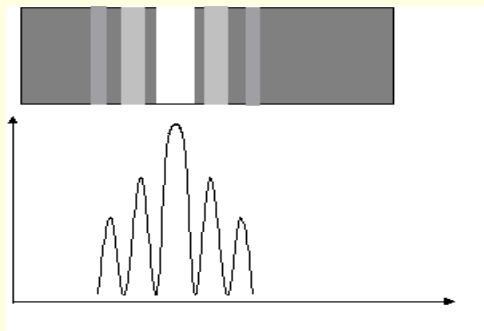


Wellenwanne (Doppelspalt, Gitter, Interferenz von Kreiswellen)



© Doris Walkowiak 2010

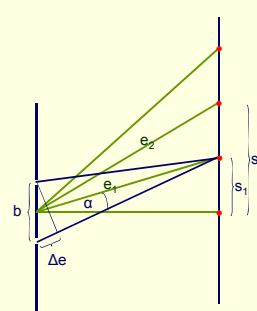
Interferenz



Physik 2000 – Atomlabor - Interferenzexperimente



Interferenzgleichung



e ... Abstand Maximum – Schirm
 s ... Abstand des Maximums von der Mitte
 b ... Spaltabstand
 Δe ... Gangunterschied

Es gilt:

$$\tan \alpha = \frac{s}{e} \approx \sin \alpha (s \ll e); \quad \sin \alpha = \frac{\Delta e}{b}$$

Für ein Maximum 1. Ordnung gilt:

$$\Delta e = 1 \cdot \lambda \Rightarrow \frac{s_1}{e_1} = \frac{\lambda}{b} \quad (s \ll e)$$

Für ein Maximum k . Ordnung gilt:

$$\Delta e = k \cdot \lambda \Rightarrow \frac{s_k}{e_k} = \frac{k \cdot \lambda}{b} \quad (s \ll e)$$



Übungen

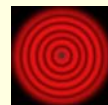
- Bei einem Beugungsversuch mit einem optischen Gitter wird grünes Licht mit der Wellenlänge 527 nm verwendet. Der Auffangschirm ist 125 cm vom Gitter entfernt. Der Abstand der beiden hellen Beugungsstreifen 2. Ordnung voneinander beträgt 53 mm. Berechnen Sie die Gitterkonstante. ($b = 49,7 \mu\text{m}$)
- Im Licht einer Quecksilberlampe beobachtet man auf dem vom Doppelspalt (Abstand der beiden Spalte 1,2 mm) 2,73 m entfernten Schirm für den Abstand vom hellsten Streifen bis zum 5. hellen Streifen im grünen Licht 6,2 mm und im blauen Licht 4,96 mm. Berechnen Sie die Wellenlängen der beiden Quecksilberlinien. ($545 \text{ nm}; 431 \text{ nm}$)



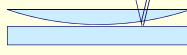
Interferenz an dünnen Schichten



Durch die Mehrfachreflexion entstehen zwei eng benachbarte Lichtquellen, deren Licht sich überlagert. \rightarrow Interferenz



Bei der Überlagerung löschen sich einige Farben aus dem Spektrum aus \rightarrow Interferenzfarben

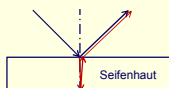


Beispiele: Seifenblasen, Ölpfützen, Vergütung von Linsen (Reflexionsminderung)
 \leftarrow Newtonsche Ringe

Leifi



Interferenz an dünnen Schichten



Reflexion an Oberfläche (dünn \rightarrow dicht):
 Phasensprung $\lambda/2$

Reflexion an Rückseite: Überlagerung

Je nach Phasenlage Verstärkung,
 Abschwächung oder Auslöschung

Verstärkung: Gangunterschied $k \cdot \lambda$



Kohärenz

- zur Beobachtung von Interferenzerscheinungen notwendig: monochromatisches Licht (gleiche Wellenlänge)
- sonst zu schnelle zeitliche und räumliche Änderung der Interferenzfiguren
- Wellenzüge müssen in beliebigen Raumpunkten bestimmte zeitlich unveränderte Phasenbeziehungen haben
- bei natürlichen Lichtquellen (anders als beim Laser) nicht gewährleistet
- Erzeugung kohärenter Lichtwellen: Licht einer Lichtquelle wird durch Reflexion oder Brechung in zwei Teilwellen aufgespalten, welche man anschließend überlagert



Kohärenz

Unter Kohärenz versteht man also eine feste Phasenbeziehung zwischen zwei oder mehr Teilwellen gleicher Wellenlänge, die von demselben elementaren Lichtstrahler ausgehen.

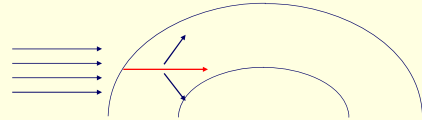


19

© Doris Walkowiak 2010

Streuung

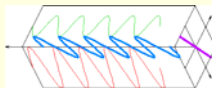
- Ursache für Blaufärbung des Himmels
- Lichtstreuung an sehr kleinen Partikeln (Luftmoleküle)
- einzelne Farben werden unterschiedlich gestreut (Blau stark, Rot wenig)
- Sonne am Horizont → großer Bereich der Atmosphäre muss durchquert werden → viele Streuteilchen → nur Rot dringt durch



20

© Doris Walkowiak 2010

Polarisation



- Licht: transversale Welle
- Schwingungsebenen verteilen sich in alle Richtungen
- Polarisation durch Spiegelung und Brechung ($\tan \alpha_B = n$) oder Streuung
- Polarisationsfilter: Licht wird nur noch in einer Schwingungsrichtung durchgelassen

Anwendungen:

- Fotografie (Beseitigung von unerwünschten Reflexionen, Verdunklung des Himmels)
- Polarisationsbrillen (Segeln)
- LCD (Polarisation durch Flüssigkristalle, Änderung der Polarisationsrichtung durch Anlegen von Spannung)
- 3D-Fotos oder 3D-Filme (um 90° versetzte Gläser)

Bild: [wikipedia](#) S.423 ff



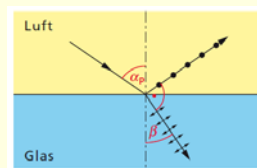
21

© Doris Walkowiak 2010

Brewstersches Gesetz

Stehen reflektierter und gebrochener Lichtstrahl an der Grenzfläche zwischen zwei durchsichtigen Stoffen senkrecht aufeinander, dann ist das reflektierte Licht vollständig polarisiert und es gilt:

$$\tan \alpha_p = n \quad (n \dots \text{Brechzahl des 2. Stoffes})$$



weitere Infos (Polarisation durch Brechung, optisch aktive Stoffe, LCD): siehe S. 425 f

Quelle: Physik Gymnasiale Oberstufe, Duden Paetec Schulbuchverlag, S. 424

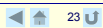


22

© Doris Walkowiak 2010

Quellen/Links

- [Zentrale für Unterrichtsmedien](#)
- [Applets von Walter Fendt](#)
- [LeiFi](#)
- [Wellenwanne](#)
- [wikipedia](#) (Polarisation)
- Lehrbuch Physik Gymnasiale Oberstufe, Duden Paetec Schulbuchverlag



23

© Doris Walkowiak 2010