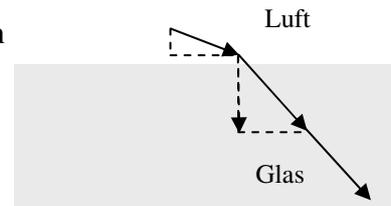


A) LICHT

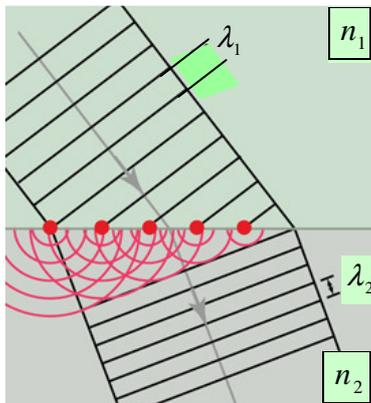
1) Klassische Lichttheorien: Von 1660 bis 1680 entstanden zwei konkurrierende Lichttheorien.a) Newtons Korpuskel-Theorie = Teilchentheorie.

Gemäß Newton werden *Lichtteilchen* von leuchtenden Körpern „abgeschossen“. Wie beim Billard erfolge die *Reflexion* als elastischer Stoß. Bei der *Brechung* würden die Lichtteilchen, wie Regentropfen an der Wasseroberfläche, kurzfristig eine Anziehungskraft zum Glas hin erfahren, wodurch ihre Bahn dort zum Lot hin abknickt. Durch die Beschleunigung an der Oberfläche würde die Lichtgeschwindigkeit **im Glas größer**.

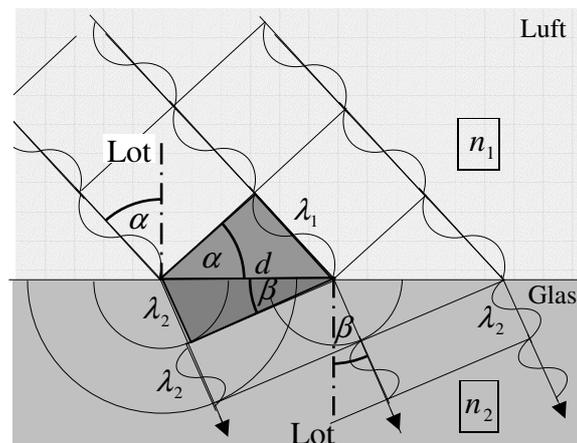


Lichtbrechung nach Newton

Unterschiedliche *Farben* entsprechen unterschiedlichen *Massen* der Lichtteilchen. Die Beugung in den Schattenraum war noch unbekannt. Sie wäre allerdings nicht erklärbar gewesen.

b) Huygens-Wellentheorie

Lichtbrechung nach Huygens



Brechung nach Huygens: Lichtgeschw. im Glas kleiner.

Nach Huygens ist Licht eine *Welle*. Ihre Ausbreitung erfolgt nach dem Huygens'schen Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer *gleichfrequenten halbkreisförmigen Elementarwelle*. Die *Einhüllende* aller Elementarwellen bildet die *neue* Wellenfront.

Die *Lichtstrahlen* stehen senkrecht zu den Wellenfronten.

Damit waren **Reflexion** und **Beugung** in den Schattenraum erklärbar.

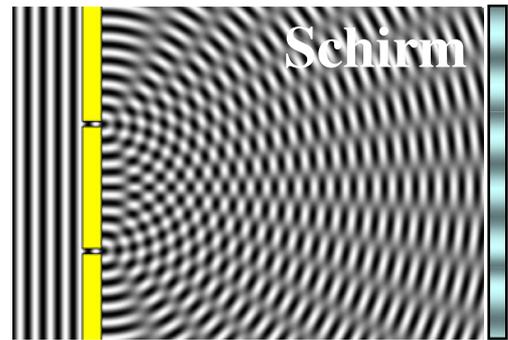
Die **Brechung** z.B. von Luft mit Brechungsindex n_1 in Glas mit Brechungsindex n_2 erfolge dadurch, dass die Wellenlänge bei *gleichbleibender* Frequenz f , bzw. *gleichbleib.* Schwingungsdauer T , im Glas *abnimmt* und die Lichtgeschwindigkeit c somit **im Glas kleiner** wird.

Wir zeigen nun, dass die Lichtgeschwindigkeit nach Huygens im Verhältnis der Brechungsindizes abnehmen muss, dass also nach Huygens $c_2/c_1 = n_1/n_2$ gelten müsste. Die Verlangsamung der Lichtgeschwindigkeit z.B. beim Übergang von Luft nach Glas, wäre dann die **Nagelprobe** für den Streit zwischen Newton und Huygens.

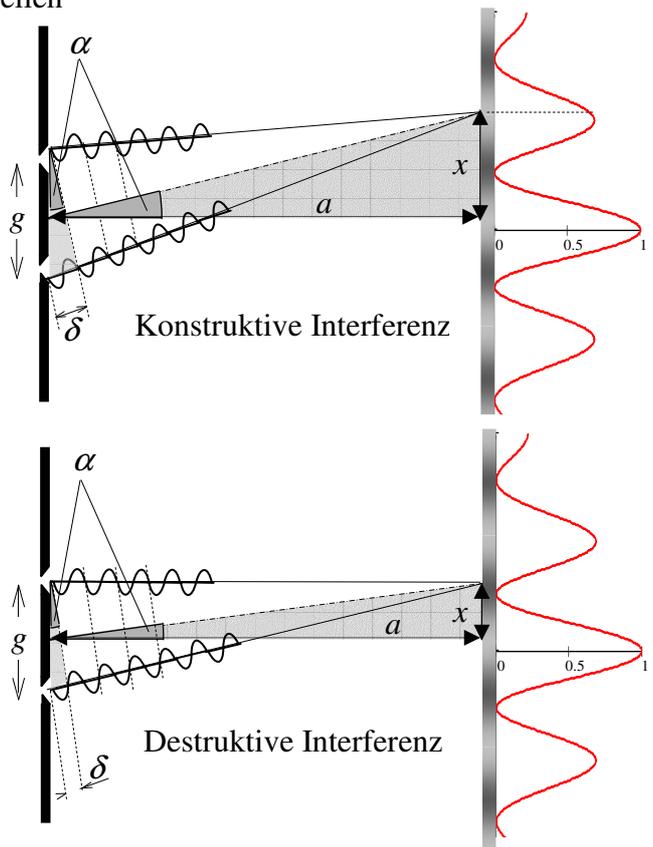
Nachweis: Für Wellen gilt allgemein $c = \lambda/T$. In Luft bzw. Glas gelte c_1, λ_1 bzw. c_2, λ_2 . Im Ausdruck c_2/c_1 kürzt sich $T_1 = T_2 = T$ heraus, so dass sich $c_2/c_1 = \lambda_2/\lambda_1$ ergibt. Aus den beiden rechtwinkligen Dreiecken in der Abb. oben folgt $\sin \beta = \lambda_2/d$ und $\sin \alpha = \lambda_1/d$. Teilen ergibt $\sin \beta / \sin \alpha = \lambda_2 / \lambda_1$. Desweiteren kennen wir aus der Mittelstufe das *Brechungsgesetz* $\sin \beta / \sin \alpha = n_1 / n_2$. Gleichsetzen liefert $\lambda_2 / \lambda_1 = n_1 / n_2$. Jetzt ersetzen wir λ_2 / λ_1 wegen $c_2/c_1 = \lambda_2/\lambda_1$ durch c_2/c_1 und erhalten $c_2/c_1 = n_1/n_2$, was zu beweisen war.

Ist z.B. oben Luft mit $n_1 = 1$ und unten Glas mit $n_2 = 1,25$, so ist $c_2/c_1 = n_1/n_2 = 1/1,25 = 0,8$. Das Licht müsste also nach Huygens im Glas um den Faktor 0,8 langsamer laufen als in der Luft. Das heißt: Huygens hat Recht, wenn das Licht **im Glas langsamer** läuft.

Interferenz: Huygens Wellentheorie kann auch die Interferenz erklären. *Konstruktive* Interferenz ist die *Verstärkung* und *destruktive* Interferenz die *Auslöschung* der Wellenauslenkungen. Beim **Doppelspalt** werden von allen halbkreisförmigen Elementarwellen der (von links) einlaufenden Wellenfront lediglich zwei durch das Blendenblech hindurch gelassen. Diese Elementarwellen breiten sich dann hinter dem Doppelspalt (rechts) aus und interferieren dort. Auf dem Schirm entsteht so ein *Interferenzmuster* aus abwechselnd *dunklen* und *hellen* Bereichen. Die hellen Bereiche nennt man auch Interferenzmaxima.



Wie kann man beurteilen, ob eine beliebig gewählte Stelle, welche den Abstand x von der Schirmmitte hat, hell oder dunkel wird? Die Antwort ergibt sich aus der Differenz der Laufwege von den beiden Löchern des Doppelspaltes zur gewählten Stelle x . Die Laufwegdifferenz nennt man auch *Gangunterschied* δ . Ist δ gerade *eine* Wellenlänge groß, so laufen diejenigen Anteile der beiden Elementarwellen, welche von der Löchern kommen und sich an der Stelle x treffen, *gleichphasig*, also verstärkend, bei x ein. Dasselbe gilt für $\delta = n \cdot \lambda$, wenn n ganzzahlig ist. Ist die Bedingung $\delta = n \cdot \lambda$ für konstruktive Interferenz *nicht* erfüllt, so kommt es zu Teil-auslöschung. Gilt sogar $\delta = (n + 1/2) \cdot \lambda$, so sind die bei x eintreffenden Anteile der beiden Elementarwellen *gegenphasig* und löschen sich per destruktiver Interferenz vollständig aus.



Welcher Helligkeitswert ergibt sich an der *beliebig* ausgewählten Stelle x ? Die Abbildungen zeigen ein liegendes rechtwinkliges Dreieck und ein kleines stehendes Dreieck, welches nahezu rechtwinklig ist, denn der Lochabstand g (= Gitterkonstante) ist viel kleiner als der Schirmabstand a . Weil beide Dreiecke den Winkel α haben sind sie zueinander ähnlich. Für das kleine Dreieck gilt $\sin \alpha = \delta / g$, für das große Dreieck gilt $\tan \alpha = x / a$. Allgemein gilt für kleine Winkel $\sin \approx \tan$, hier also $\sin \alpha \approx \tan \alpha$. Damit folgt $\delta / g \approx x / a$. Der Gangunterschied δ beträgt für eine ausgewählte Stelle x also $\delta \approx x \cdot g / a$. Für die Stellen konstruktiver Interferenz gilt $\delta = n \cdot \lambda$. Die hellen Stellen liegen daher bei $x_n \approx n \cdot \lambda \cdot a / g$.

Vorläufige Entscheidung zwischen Huygens und Newton

Ca. um 1820 wurde die Interferenz des Lichtes, also die Auslöschung und Verstärkung, in diversen Experimenten experimentell nachgewiesen und auch die „langsamere“ Lichtgeschwindigkeit im Glas konnte gemessen werden. Durch Umstellung der Gleichung $x_n \approx n \cdot \lambda \cdot a / g$ nach λ konnte den verschiedenen Lichtfarben auch die jeweilige Wellenlänge zugeordnet werden. So ermittelte man für Licht violettes $\lambda_{\text{violett}} = 400 \text{ nm}$ und für rotes Licht $\lambda_{\text{rot}} = 800 \text{ nm}$.



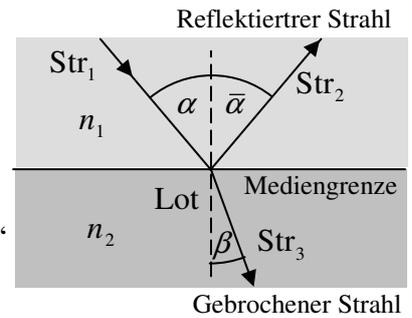
Die übrigen sichtbaren Farben liegen dazwischen. Mit Hilfe der Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ließen sich über $f = c / \lambda$ auch Frequenzen der jeweiligen Lichtfarben ermitteln. Auf Grund dieser Erfolge schien die Entscheidung für Huygens eindeutig. Das Wellenbild des Lichtes brachte auch enorme Fortschritte für die Entwicklung von optischen Geräten aller Art. So wurde z.B. das Mikroskop entscheidend verbessert, was große Bedeutung für die Medizinforschung brachte.

Aufgaben

- 1) Erkläre, was man unter Reflexion, Brechung und Beugung in der Optik versteht. Benenne und erläutere die Gesetze.
- 2) Erläutere, welche optischen Eigenschaften Newton seinen Korpuskeln zuschreibt.
- 3) Erkläre, wie die Reflexion und Brechung in Newtons Theorie erfolgt und welche Konsequenz das für die Lichtgeschwindigkeit hat.
- 4) Benenne das Huygenssche Prinzip zum Fortschreiten von Wellen.
- 5) Skizziere, wie in Huygens Vorstellung die Reflexion und die Brechung von Licht erfolgt.
- 6) Leite her, wie sich die Lichtgeschwindigkeit vom Übergang zwischen zwei Medien mit den Brechungsindizes n_1 und n_2 ändert.
- 7) Erkläre, was man unter konstruktiver und destruktiver Interferenz versteht.
- 8) Erkläre das Zustandekommen der Interferenz am Doppelspalt.
- 9) Leite die Formel für die hellen Stellen auf dem Schirm beim Doppelspaltversuch her.
- 10) Erkläre, inwiefern man aus dem Doppelspaltversuch auf die Wellenlänge des Lichtes schließen kann.
- 11) Laserlicht der Wellenlänge $\lambda = 633 \text{ nm}$ fällt auf einen Doppelspalt mit der Stegbreite, $g = 0,3 \text{ mm}$. Skizziere und beschrifte die Helligkeitsverteilung auf einem 1 m entfernten Schirm. Berechne λ und f für Licht, dessen 1. Maximum von der Mittelachse 8 cm entfernt ist.

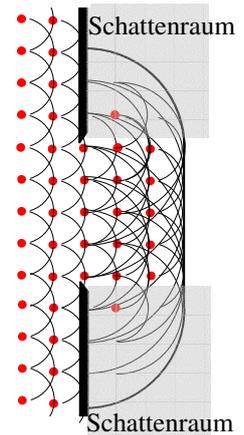
Lösungen

- 1) Reflexion ist das *Zurückwerfen* des Lichtes an einer Medien-grenze, z.B. zwischen Luft und einer polierten Metallfläche oder Luft und Glas usw. Es gilt das Reflexionsgesetz: Der Ausfallwinkel $\bar{\alpha}$ zwischen dem ausfallenden Strahl Str_2 und dem Lot ist gleich dem Einfallswinkel α zwischen dem einfallenden Strahl Str_1 und dem Lot. Kurz: „Ausfallwinkel = Einfallswinkel“



Brechung ist die *Richtungsänderung* eines Lichtstrahles beim Übergang von einem Medium in ein anderes. Dabei erfolgt die Brechung im optisch dichteren Medium (größerer Brechungsindex n) zum Lot hin und im optisch dünneren Medium (kleinerer Brechungsindex n) vom Lot weg. Es gilt das Brechungsgesetz $\sin \beta / \sin \alpha = n_1 / n_2$. Fällt ein Lichtstrahl z.B. unter dem Einfallswinkel $\alpha = 50^\circ$ aus der Luft mit $n_1 = 1$ auf Glas mit $n_2 = 1,6$, so erhält man Winkel β des gebrochenen Lichtstrahles im Glas gem.: $\sin \beta / \sin 50^\circ = 1/1,6 = 0,625$ ergibt $\sin \beta = 0,625 \cdot \sin 50^\circ = 0,4788$. Daraus folgt der Brechungswinkel $\beta = 28,61^\circ$.

Beugung ist das Eindringen des Lichtes in den geometrischen Schattenraum. Die Elementarwellen ebener Wellenfronten überlagern sich wieder zu einer ebenen Wellenfront, die Einhüllende ist wieder eine Gerade. Hinter der Öffnung einer Blende gilt das aber nur für die Geradeausrichtung. In den geometrischen Schattenräumen sind die Einhüllenden Halbkreise.



- 2) Die Korpuskeln sind elastische Kugeln, deren Masse durch die Lichtfarbe gegeben ist.
- 3) Bei der Reflexion werden die schräg einlaufenden Wellen mit gleichbleibender Wellenlänge zurück geworfen. Aus der Überlagerung der reflektierten Elementarwellen folgt: Ausfallswinkel = Einfallswinkel. Die Brechung zum Lot hin im optisch dichteren Medium erfolgt, wenn die Wellenlänge dort kleiner wird. Weil die Frequenz jedoch gleichbleibt, muss die Lichtgeschwindigkeit im optisch dichteren Medium kleiner werden.
- 4) Huygens: Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer *gleichfrequenten halbkreisförmigen Elementarwelle*. Die *Einhüllende* aller Elementarwellen bildet die *neue* Wellenfront. Die *Lichtstrahlen* stehen senkrecht zu den Wellenfronten.
- 5) ...