
4. Optik

4.1 Lichtarten im infraroten, sichtbaren und ultravioletten Bereich; Laser

Grundlagen, sichtbares Licht

Das sichtbare Licht zeigt eine Vielzahl von Eigenschaften, die sich nicht mit einem Modell erklären lassen. Manche Erscheinungen lassen sich mit dem Modell des Lichtstrahls, andere mit einem Wellenmodell und wieder andere mit einem Teilchenmodell verstehen.

Beispiele:

| Phänomen | passendes Modell |
|-----------------------------------|------------------|
| geradlinige Ausbreitung, Schatten | Lichtstrahl |
| Beugung, Interferenz | Welle |
| Fotoeffekt, Comptoneffekt | Korpuskel |

Die nachfolgenden Versuche lassen sich nur mit einer Wellenvorstellung des verwendeten Lichts erklären. Wichtige Begriffe dabei sind:

Beugung: Abweichung der Lichtausbreitung und allg. jeder Wellenausbreitung vom geometrisch-optischen Strahlengang; ein Teil der Wellenenergie gelangt dadurch in den Schattenbereich. Beugung tritt auf, wenn die freie Ausbreitung der Wellen durch ein im Strahlengang befindliches Hindernis gestört wird.

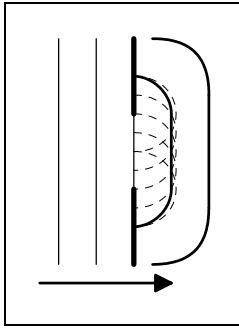
Interferenz: Überlagerungserscheinungen, die beim Zusammentreffen zweier oder mehrerer Wellenzüge mit fester Phasenbeziehung untereinander (= kohärenter Wellenzug) am gleichen Raumpunkt beobachtbar sind. Die Interferenz beruht auf dem Superpositionsprinzip: Die Amplitude der resultierenden Welle ist gleich der Summe der Amplituden der Einzelwellen.

V 1: Das Licht eines Lasers trifft auf einen verstellbaren Spalt.

E.: Bei abnehmender Spaltbreite tritt das Licht in den geometrischen Schattenraum.

Erklärung: Jeder Punkt einer Wellenfront lässt sich als Zentrum einer Elementarwelle deuten, die sich mit gleicher Geschwindigkeit und Wellenlänge wie die ursprüngliche Welle ausbreiten. Die Einhüllende aller Elementarwellen stellt die neue Wellenfront dar.

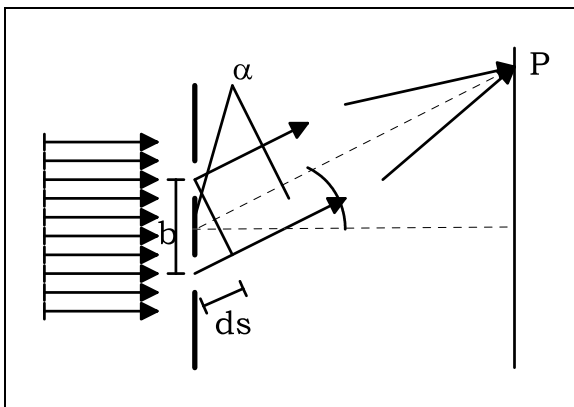
Skizze:



V 2: Laserlicht trifft auf einen Doppelspalt.

E.: Hinter dem Spalt interferieren die von den Spalten ausgehenden Elementarwellen und erzeugen Interferenzmaxima und -minima.

Skizze:



Erklärung: Bedingung für das Auftreten eines Interferenzmaximums k-ter Ordnung am Punkt P ist, dass der sog. Gangunterschied Δs zweier von den Spaltmitten ausgehender Elementarwellen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ ist, also

$$\Delta s = k \cdot \lambda.$$

Aus der Zeichnung liest man ab, dass derartige Wellenzüge fast parallel verlaufen. Dann gilt in guter Näherung

$$\Delta s = b \cdot \sin \alpha,$$

woraus als Bedingung schließlich folgt:

$$b \cdot \lambda = k \cdot \sin \alpha.$$

Daraus lässt sich (in der Regel nach Verwendung weiterer trigonometrischer Beziehungen) die Wellenlänge λ berechnen.

Anmerkungen:

1. Die bei der Beugung am Einfachspalt auftretenden Maxima und Minima entstehen ebenfalls durch Interferenz (der Elementarwellen).
2. Durch Interferenzversuche z. B. mit Sonnenlicht erhält man ein Spektrum, aus dem der Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts

Ultraviolett

An den violetten Teil des sichtbaren Spektrums schließt sich der Bereich des UV-Lichts an.

V.: Im Licht einer Schwarzlichtlampe (Disco-Licht) leuchtet ein frisch gewaschenes Hemd auf.

Erklärung: Die Lampe emittiert UV-Licht, das von den Weißmachern im Waschmittel und Hemd in Licht sichtbarer Frequenz umgewandelt wird (Fluoreszenz).

Das elektromagnetische Spektrum

Das sichtbare Licht ist nur ein kleiner Bereich innerhalb des elektromagnetischen Spektrums, das von den technischen Wechselströmen bis zur kosmischen Höhenstrahlung reicht. Die nachfolgende Tabelle gibt einen kleinen Ausschnitt:

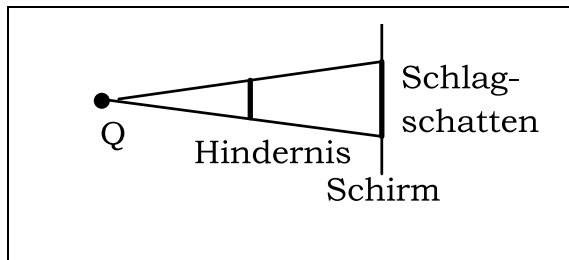
| Frequenz | Wellenlänge | Wellenart | Auftreten | Nachweis |
|--|-----------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 50 Hz | 6000 km | technischer Wechselstrom | Wechselstrom | Wechselstrominstrumente |
| ... | | | | |
| $3 \cdot 10^{11}$ Hz - $3,75 \cdot 10^{14}$ Hz | 1 mm - 800 nm | Infrarot | Wärme | Thermoelement |
| $\approx 10^{14}$ Hz | 400 nm - 800 nm | sichtbares Licht | Glühlampen, Sonnenlicht | Auge |
| $\approx 10^{16}$ Hz | 400 nm - 10^{-10} m | Ultraviolett | Quarzlampen | Fotoplatte, Fotozelle |
| ... | | | | |
| $\approx 10^{25}$ Hz | $\approx 10^{-17}$ m | Höhenstrahlung | Stoß kosmischer Materie | Ionisation |

4.2 Ausbreitung des Lichts; Reflexion

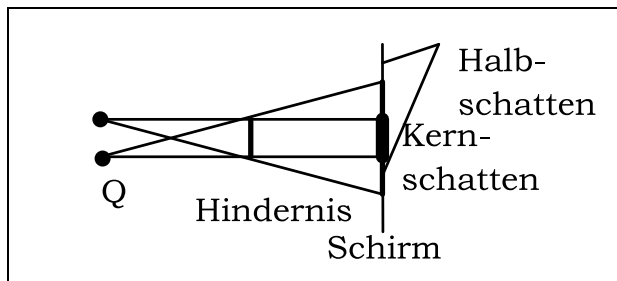
Ausbreitung des Lichts

Viele Erscheinungen zur Ausbreitung von Licht lassen sich mit dem einfachen Modell des Lichtstrahls erklären. Eine physikalische Realisierung des Lichtstrahls stellt in guter Näherung der Laserstrahl dar.

V 1:



V 2:



Von jedem Punkt einer Lichtquelle breitet sich Licht nach allen Seiten geradlinig aus.

Schatten bilden sich entsprechend der geradlinigen Lichtausbreitung.

Anwendungen:

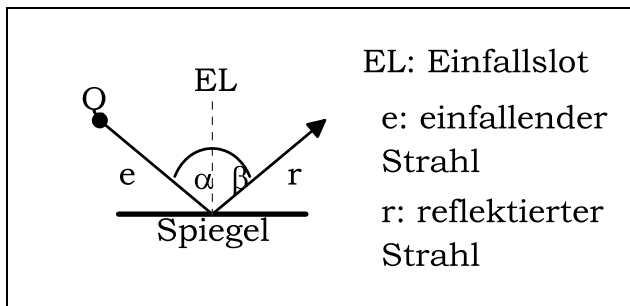
1. Sonnenfinsternis, Mondfinsternis
2. Lochkamera

Reflexion

Trifft Licht auf Materie, so wird ein Teil davon zurückgeworfen (reflektiert). Man unterscheidet zwei Arten von Reflexion, die diffuse und die gerichtete Reflexion. Beispiele für diffus reflektierende Flächen sind Zimmerwände, Papier, Wolken, Mond.

Im Folgenden soll die gerichtete Reflexion näher untersucht werden.

Versuch:



Ergebnis: $\alpha = \beta$

Reflexionsgesetz:

Einfallender und reflektierter Strahl liegen in einer Ebene mit dem Einfallslot.

Einfallswinkel = Reflexionswinkel

Besonderheiten:

1. Rechts-Links-Besonderheit von Spiegelbildern
2. Spiegelbilder sind virtuelle Bilder.

4.3 Brechung des Lichts

Lichtbrechung

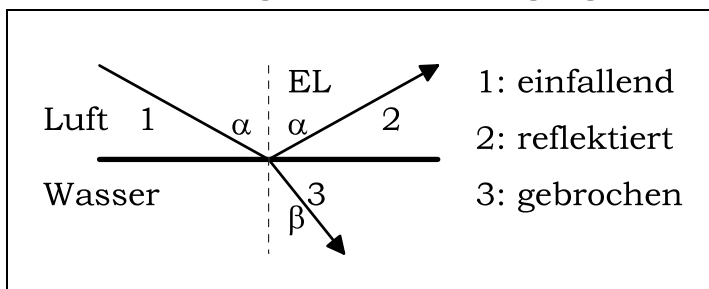
Nicht immer breitet sich das Licht geradlinig aus, auch wenn es nicht reflektiert wird.

V 1:

Ein schräg ins Wasser gehaltener Stab erscheint geknickt.

V 2: Licht wird beim Weg durch ein Prisma abgelenkt.

V 3: Der Lichtweg wird beim Übergang Luft-Wasser untersucht.



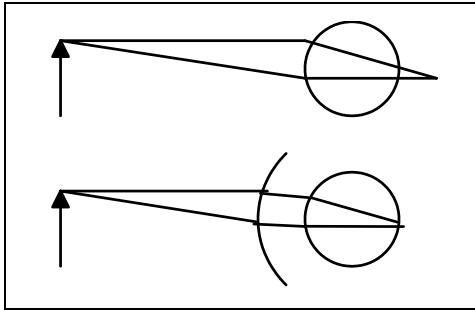
Ergebnis: Der Lichtstrahl wird an der Grenze zwischen Luft und Wasser in zwei Anteile zerlegt: Ein Teil wird nach dem Reflexionsgesetz reflektiert, der andere Teil dringt unter sprunghafter Richtungsänderung ins Wasser ein.

Ein Lichtstrahl wird an der Grenzfläche zu einem optisch dichteren Medium zum Einfallslot hin gebrochen. Einfallender und gebrochener Strahl liegen in einer Ebene mit dem Einfallslot.

Anmerkungen:

1. Beim Übergang ins optisch dichtere Medium gilt $\beta < \alpha$, beim Übergang ins optisch dünnere Medium gilt $\beta > \alpha$.
2. Die Luft in der Atmosphäre wird mit zunehmender Höhe nicht nur stofflich, sondern auch optisch dünner. Folge: Optische Sternhebung.
3. Bei fehlsichtigen Menschen werden Lichtstrahlen, die von einem Punkt eines Gegenstandes ausgehen, im Auge nicht auf einen Punkt der Netzhaut fokussiert. Bei Weitsichtigkeit entsteht das Bild des Gegenstandes hinter der Netzhaut, es muss mit einer zusätzlichen Sammellinse korrigiert werden. Beim kurzsichtigen Auge liegt das Bild ferner Gegenstände vor der Netzhaut. Dann erfolgt die Korrektur durch Vorsetzen einer Zerstreuungslinse.

Korrektur beim weitsichtigen Auge:



Totalreflexion

V.: Ein Lichtstrahl tritt in ein optisch dünneres Medium ein (vgl. V 3).

E.: Der Brechungswinkel β ist größer als der Einfallswinkel α . Ab einem bestimmten Einfallswinkel α_{gr} ($\rightarrow \beta = 90^\circ$) ist nur noch Reflexion zu beobachten.

Ein Lichtstrahl wird total reflektiert, wenn er aus dem dichteren Medium kommend auf die Grenzfläche trifft und sein Einfallswinkel größer ist als der Grenzwinkel α_{gr} der Totalreflexion.

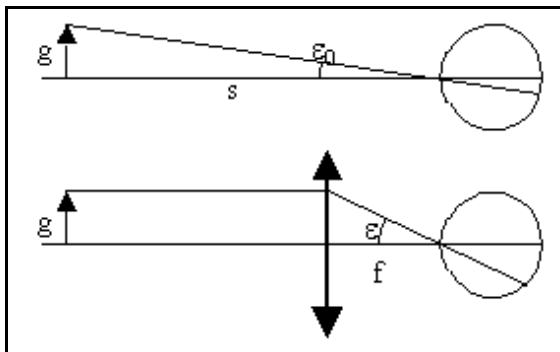
Anmerkungen:

1. Der Grenzwinkel der Totalreflexion hängt von den beteiligten Stoffen ab.
2. Lichtleiter reflektieren das Licht an der Grenzfläche Glasfaser-Luft und ermöglichen dadurch z. B. den Bau von Endoskopen.
3. Die Luftspiegelungen (Fata Morgana, fliegender Holländer) beruhen auf Totalreflexionen an verschiedenen heißen bzw. kalten Luftschichten.

4.4 Das Mikroskop

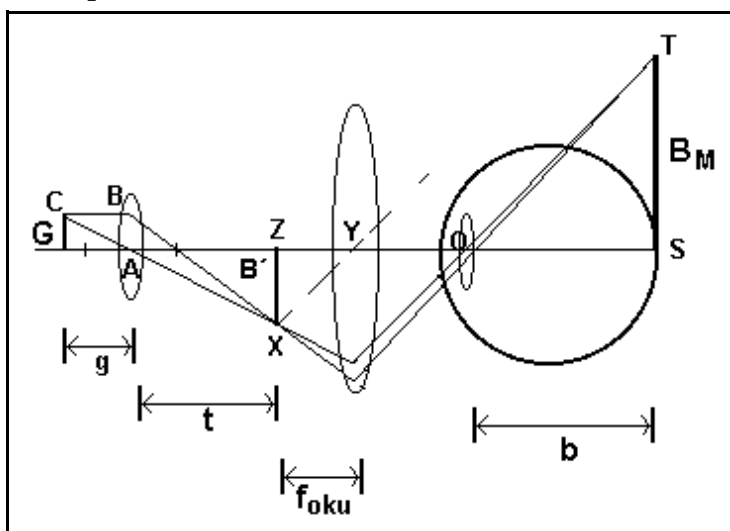
Das Mikroskop ist ein Gerät zum vergrößerten Betrachten sehr naher und sehr kleiner Gegenstände. Zum Verständnis der Funktionsweise soll zunächst auf die Lupe eingegangen werden, mit der Gegenstände in der sog. deutlichen Sehweite ($s = 25 \text{ cm}$) betrachtet werden. Die Lupe bewirkt (vgl. Strahlengang), dass der Sehwinkel und damit das auf der Netzhaut entstehende Bild des Gegenstands größer wird.

Skizze:



Mit der Lupe erreicht man lineare Vergrößerungen im einstelligen Bereich. Mit einem Lichtmikroskop kann man sehr starke Vergrößerungen (bis zum ca. 1600-fachen) erzielen. Es besteht aus mindestens zwei Linsen. Die eine befindet sich im Objektiv, die andere im Okular. Die Linse im Objektiv ist eine stark brechende Sammellinse, deren Brennweite nur einige Millimeter beträgt. Das ist nötig, damit das zu beobachtende Objekt möglichst nahe an das Objektiv rücken kann. Das Objektiv erzeugt im Mikroskop ein stark vergrößertes Zwischenbild. Dieses wird nun im Okular wie mit einer Lupe betrachtet und erscheint dadurch noch mehr vergrößert. Das Mikroskop vergrößert für sehr nahe Gegenstände den Sehwinkel erheblich.

Prinzipiskizze:



Die meisten Mikroskope haben mehrere Objektive in einer revolverartigen Vorrichtung, die je nach der gewünschten Vergrößerung in den Strahlengang gebracht werden können. Das Okular steckt lose im oberen Teil des Mikroskops und kann auch durch ein anderes ersetzt werden. Durch die Auswahl von Objektiv und Okular kann man die Vergrößerung festlegen. Steht z. B. auf dem Objektiv "25x" und auf dem Okular "8x", dann vergrößert das Mikroskop $25 \times 8 = 200$ -fach.

Die Vergrößerung des Mikroskops ist gleich dem Produkt aus Objektiv- und Okularvergrößerung.