

3 Optik

3.1 Wellennatur des Lichts

Interferenz und Beugungsversuche zeigen: Licht ist Wellenerscheinung. Licht ist Spezialfall der elektromagnetischen Wellen. Eine auf der z -Achse nach rechts laufende, harmonische, ebene elektromagnetische Welle wird durch die Darstellung

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \sin(kz - \omega t) \quad (95)$$

der elektrischen Feldstärke beschrieben. Die elektrische Feldstärke (Einheit 1V/m) ist ein Vektor, der senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung steht. Im Beispiel sind also nur E_x und E_y von null verschieden. Die Wellenlänge des Lichts ist $0.4 \leq \lambda \leq 0.8 \mu\text{m}$. Die Phasengeschwindigkeit (Lichtgeschwindigkeit c_0) beträgt $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Sehr oft (Geometrische Optik) kann man die Beugung vernachlässigen, die Lichtausbreitung wird dann durch Strahlen beschrieben, d.h. die Normalen auf Wellenfronten ebener Wellen.

3.2 Licht in Medien und an Grenzflächen

3.2.1 Reflexion und Brechung

Das Brechungsgesetz und das Reflexionsgesetz: An der Grenze zwischen 2 Medien wird Licht reflektiert und beim Eintritt ins Medium gebrochen (Abb. 14). Es gilt das Reflexionsgesetz

$$\alpha = \alpha' \quad (96)$$

und das Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (97)$$

Diese Gesetze können aus der Wellennatur des Lichts bewiesen werden, wobei gilt

$$n = \frac{c_0}{c} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad (98)$$

Der Brechungsindex n ist eine Materialkonstante. Speziell gilt $n_{\text{vak}} = 1$ und daher bei Grenzflächen zum Vakuum $\sin \alpha / \sin \beta = n$. ($n_{\text{Luft}} = 1.0003$). Eine einfache geometrischen Konstruktion zeigt (Abb. 15), daß die von einem Punkt, der sich im Abstand d von der Spiegeloberfläche befindet, ausgehenden Strahlen ein virtuelles Bild im Abstand d hinter der Grenzfläche erzeugen.

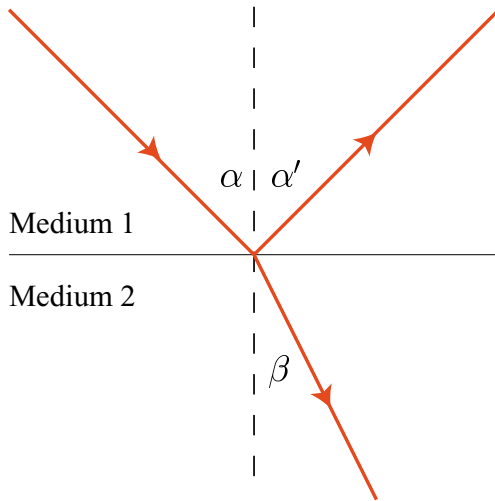


Abbildung 14: Skizze des Strahlengangs an Grenzflächen

3.2.2 Totalreflexion:

Aus der Umkehrung des Strahlengangs in Abb. 14 ergibt sich der Grenzwinkel der Totalreflexion

$$\sin \beta_{\text{gr}} = \frac{n_1}{n_2} . \quad (99)$$

3.2.3 Absorption:

Licht wird in Materie absorbiert,

$$I = I_0 e^{-s/R} , \quad (100)$$

wobei R die Reichweite (Einheit m) ist. Der Absorptionskoeffizient (Materialkonstante) ist durch $\kappa = \lambda_{\text{vac}}/(4\pi R)$ definiert. Der Reflektionsgrad wird bei senkrechtem Auffall aus dem Vakuum ($n_1 = 1$) durch

$$\frac{I_r}{I_1} = \frac{(n - 1)^2 + \kappa^2}{(n + 1)^2 + \kappa^2} \quad (101)$$

bestimmt. Bei vernachlässigbarer Absorption gilt für zwei Medien mit $n \neq 1$

$$\frac{A_r}{A_1} = -\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} . \quad (102)$$

und

$$\frac{I_r}{I_1} = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} . \quad (103)$$

Bei der Reflexion am optisch dichteren Medium ($n_2 > n_1$) findet nach (102) ein Phasensprung von π statt. Dies entspricht der Reflexion einer Schallwelle am festen Ende.

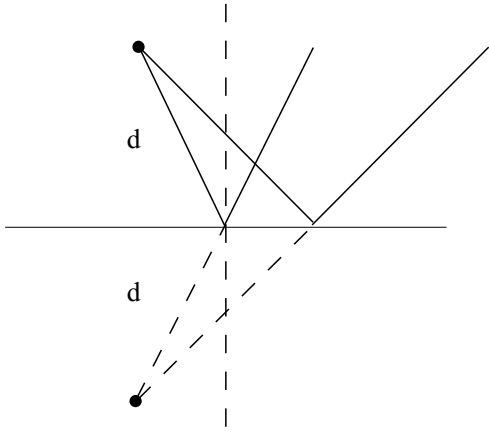


Abbildung 15: Konstruktion des virtuellen Spiegelbilds.

3.2.4 Dispersion:

Die Phasengeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen in Materie hängt von der Frequenz ab, $c = c(\omega)$ und daher $n = n(\omega)$, also

$$c = \frac{\omega}{k_0 n(\omega)} , \quad (104)$$

wobei k_0 die Wellenzahl im Vakuum ist. Bei Lichtwellen wächst n meist mit $1/\lambda$ an (normale Dispersion).