

## 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.

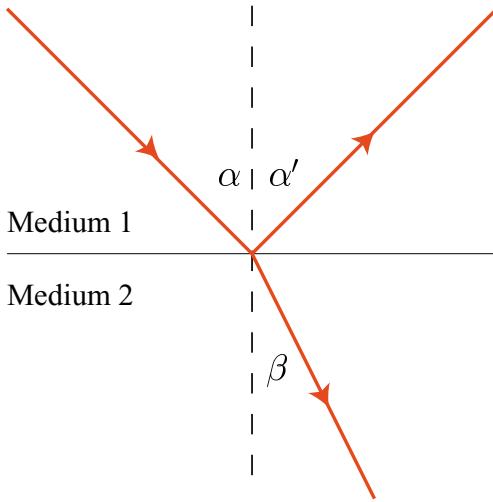


Abbildung 14: Skizze des Strahlengangs an Grenzflächen

### 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  $\pi$  statt. Dies entspricht der Reflexion einer Schallwelle am festen Ende.

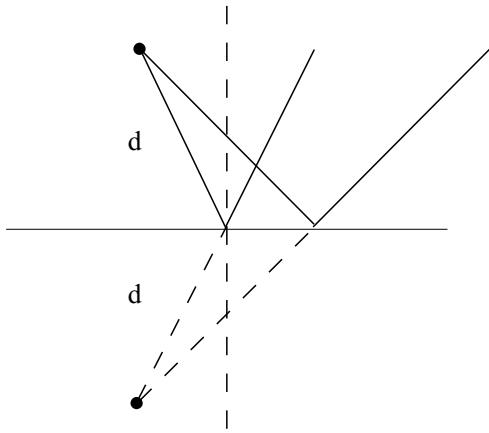


Abbildung 15: Konstruktion des virtuellen Spiegelbilds.

### 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).