

5. Optik

5.1 Optische Linsen und Abbildungsgesetze

Anwendung von Wellenphänomenen (Reflexion, Brechung und Beugung) beim Licht.

Ein **Lichtstrahl** ist eine räumliche begrenzte ebene elektromagnetische Welle mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit:

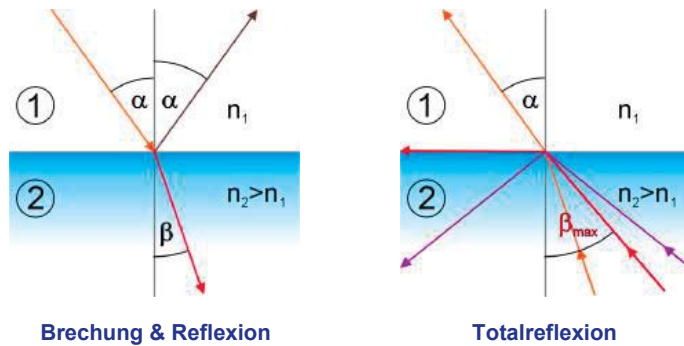
$$c_0 \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad \text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}$$

$$c = c_0/n \quad \text{Lichtgeschwindigkeit in Materie, } n: \text{ Brechungsindex}$$

Beim Übergang von einem Medium 1 mit Brechungsindex n_1 (z.B. Luft oder Glas) durch eine Grenzfläche (Einfallswinkel α) in ein anderes Medium 2 mit einem anderen Brechungsindex n_2 (z.B. Wasser, Glas oder Luft) wird der Lichtstrahl gebrochen (Ausfallswinkel β):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

Dabei erfolgt beim **Übergang vom optisch dünnen zum optisch dichtem** Medium ($n_1 < n_2$) die **Brechung zum Lot** hin ($\alpha > \beta$).

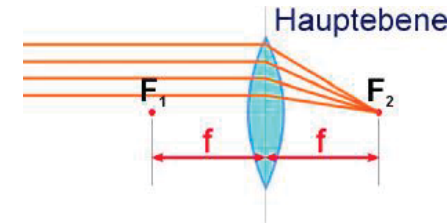


Beim umgekehrten Strahlengang aus dem optisch dichten Medium 2 ins optisch dünnere Medium 1 kommt es für Winkel $\beta > \beta_{max} = \arcsin n_1/n_2$ zur **Totalreflexion**, der Lichtstrahl kann das dichte Medium nicht verlassen und wird total an der Grenzfläche reflektiert.

Linse:

Parallel auf der Achse einfallende Strahlen werden im Brennpunkt F vereinigt

Der Abstand von **Hauptebene** einer Linse bis zum **Brennpunkt** ist die **Brennweite f** .



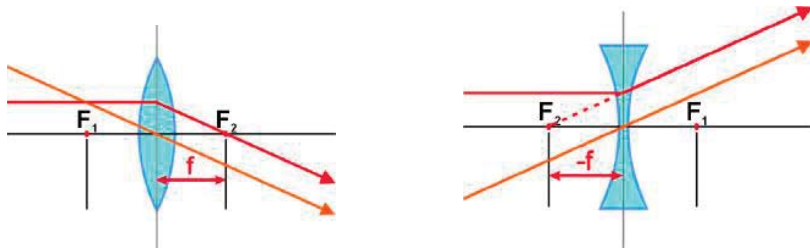
Eine reale Linse besteht aus **zwei brechenden Flächen mit Radien R_1 und R_2** . Die Brennweite ist:

$$f = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 - R_1} \quad \text{„Linsenmacherformel“}$$

Es gibt verschiedene Linsentypen:

Bikonvex	Plankonvex	Bikonkav
$R_1 = -R_2 = R$	$R_1 = R, \quad R_2 = \infty$	$-R_1 = R_2 = R$
$f = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{R}{2}$	$f = \frac{1}{n-1} \cdot R$	$f = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{R}{2}$

Strahlengänge durch Linsen:



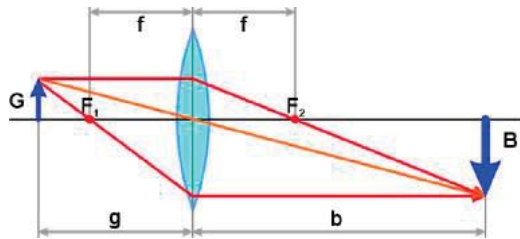
Sammellinse ($f > 0$)

Zerstreuungslinse ($f < 0$)

Strahlen durch das Zentrum einer Linse werden nicht gebrochen

Abbildung:

Mit einer **Sammellinse** kann man Gegenstände **vergrößert** oder **verkleinert** scharf abbilden. Dabei gilt:



$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = \frac{f}{g-f} = \frac{b-f}{f} \quad \text{Abbildungsmaßstab}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \quad \text{Abbildungsgleichung}$$

mit:

- G: **Gegenstandsgröße** B: **Bildgröße**
- g: **Gegenstandsweite** b: **Bildweite**
- f: **Brennweite** der Linse

Bei **Linssystemen** mit mehreren Linsen addieren sich die **Brechkräfte** $D = 1/f$

$$D_{ges} = D_1 + D_2 + \dots \quad \text{oder} \quad \frac{1}{f_{ges}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \dots$$

Brechkraft wird in **Dioptrien** gemessen:

1 dpt: $f = 1 \text{ m}$, 5 dpt: $f = 20 \text{ cm}$, 20 dpt: $f = 4 \text{ cm}$

Bei Kombination von Linsen addieren sich die Brechkräfte

5.2 Optische Instrumente

1.) Auge:

Brennweite des Auges $f = 1/D = 1,9 \dots 2,2 \text{ cm}$

Sehwinkel ε eines Gegenstandes ist durch die Größe G und den Abstand g des Gegenstandes gegeben:

$$G \cong \varepsilon \cdot g$$

Sinn optischer Instrumente ist die Vergrößerung des Sehwinkels von ε auf ε' , wobei der Sehwinkel ε eines Gegenstandes für die **deutliche Sehweite** s_0 bestimmt wird.

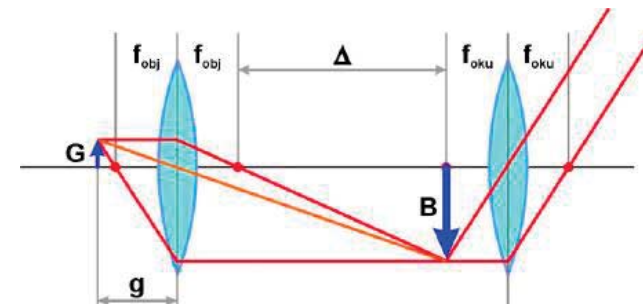
2.) Lupe:

Eine Lupe vergrößert den Sehwinkel, wenn der Gegenstand G im Brennpunkt des Sammellinse liegt, um den Faktor:

$$V_{Lupe} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = \frac{s_0}{f}$$

3.) Mikroskop:

wird benutzt, um sehr kleine Gegenstände in geringem Abstand zu beobachten und besteht im Prinzip aus zwei Sammellinsen.



Das Objektiv erzeugt ein stark vergrößertes reelles Bild mit

$$V_{\text{Objektiv}} = \frac{B}{G} = \frac{\Delta}{f_{\text{Objektiv}}}$$

Dazu wird f_{Objektiv} klein und Δ groß gewählt. Das Okular wird als Lupe eingesetzt, um das reelle **Zwischenbild** B vergrößert zu betrachten:

$$V_{\text{Okular}} = \frac{s_0}{f_{\text{okular}}}$$

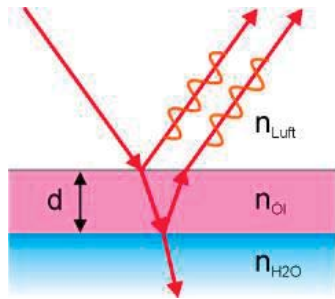
Insgesamt ergibt sich die Gesamtvergrößerung:

$$V_{\text{ges}} = V_{\text{Objektiv}} \cdot V_{\text{Okular}} = \frac{\Delta}{f_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{s_0}{f_{\text{okular}}}$$

5.3 Interferenz

Licht besteht aus **Wellen**. Diese können sich **überlagern** und dabei **verstärken** oder **auslöschen** (wie auch bei Wasserwellen). Dieser Effekt wird **Interferenz** genannt und beruht auf der Wellennatur des Lichts.

In dünnen durchsichtigen Schichten (z.B. Öl auf Wasser oder der Seifenhaut einer Seifenblase) kommt es zur Überlagerung von Licht, das von der Oberfläche bzw. an der zweiten Grenzfläche reflektiert worden ist. Je nach Gangunterschied kommt es dabei zu **Verstärkung (konstruktive Interferenz)** bzw. **Auslöschung (destruktive Interferenz)**.



Hier: destruktive Interferenz mit Auslöschung des reflektierten Lichts, da Wellenberg auf Wellental trifft.

für senkrechten Einfall gilt:

Verstärkung bei: $2 \cdot n \cdot d = m \cdot \lambda$, $m = 0, 1, 2, 3$

Auslöschung bei: $2 \cdot n \cdot d = (m + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$

Verschiedene λ (Farben) werden bei jeweils unterschiedlichen Schichtdicken d verstärkt bzw. ausgelöscht => **Interferenzfarben** eines Ölfilms auf Wasser.

5.4 Beugung

Beugung von Wellen erfolgt beim **Durchgang** durch ein Hindernis (z.B. **Spalt, Loch, Linse, Gitter, Stoff**). Dadurch wird ein Lichtstrahl aufgeweitet, was das **Auflösungsvermögen** optischer Instrumente einschränkt:

$$a_k = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$$

mit dem **Durchmesser** d einer Linse (oder der Pupille des menschlichen Auges), der **Wellenlänge** λ des Lichts und dem **kritischen Winkel** a_k (in Bogenmaß!) bei dem zwei Objekte noch als getrennt erkannt werden können.

Beispiel Auge:

Pupille $\varnothing = 5 \text{ mm}$, Wellenlänge des grünen Lichts $\lambda = 500 \text{ nm}$

$$a_{k,\text{Auge}} = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d} = 1,22 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 1,22 \cdot 10^{-4} \text{ rad} = 0,007^\circ$$

Auflösungsvermögen von 1,2 cm auf 100 m Entfernung