

Optik



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

1



Optik ist ein Spezialgebiet der Physik, das Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung im sichtbaren Bereich behandelt.

2

Optik

1. „Geometrische Optik“ (optische Geräte)

- Typische Abmessungen D der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind groß gegen die Wellenlänge λ des Lichts

2. „Wellenoptik“

- Typische Abmessungen D der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind klein gegen die Wellenlänge λ des Lichts
- Wellencharakter des Lichts führt zu Erscheinungen wie Beugung und Interferenz

3. „Quantenoptik“

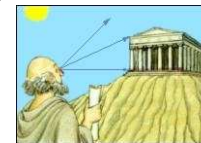
- Teilchencharakter des Lichts \rightarrow Photon

3

Licht

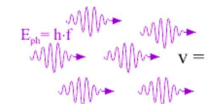
Eigenschaften des Lichts

- Antikes Modell: Sehstrahlen, vom Auge ausgehend, tasten die Gegenstände ab



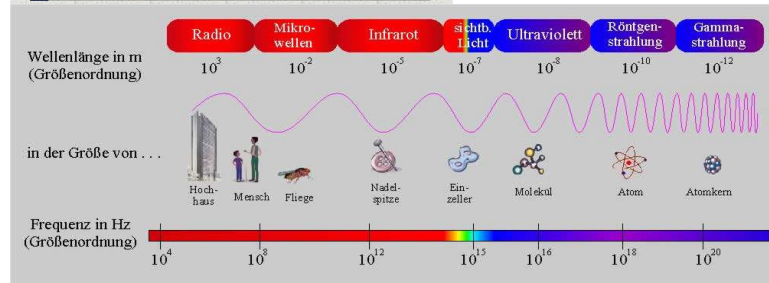
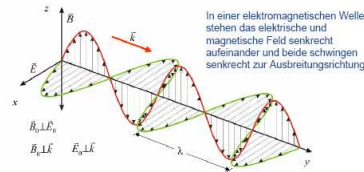
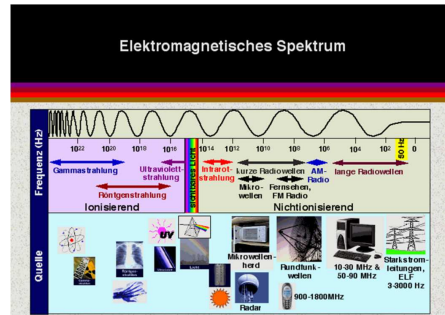
- Heute: Teilchen- und Wellenmodell

Licht kann entweder als Strahl von **Teilchen** oder als elektromagnetische **Welle** betrachtet werden



4

Licht als EMW (elektromagnetische Welle)



5

Licht als EMW (elektromagnetische Welle)

Das Licht ist eine elektromagnetische Welle, das sich geradlinig mit der Lichtgeschwindigkeit c ausbreitet.

Im Vakuum ist die Geschwindigkeit für alle elektromagnetische Wellen gleich:

$$c_0 = (299\,792,46 \pm 0,018) \text{ km/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

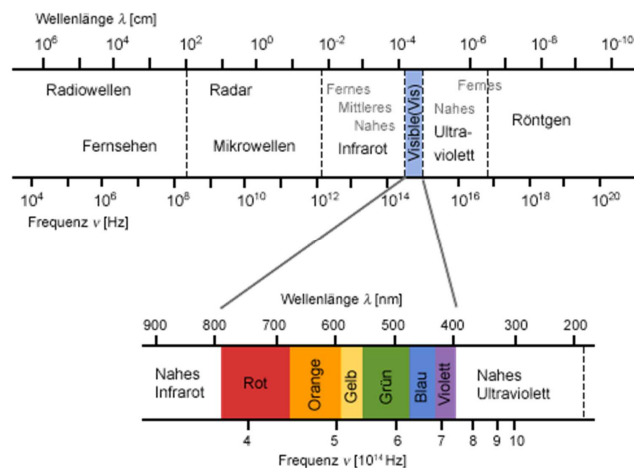
Olaf Römer - 1676: Verfinsterungen des Jupitermondes Io
 $c \approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bradley - 1727: Aberration des Sternenlichtes

6

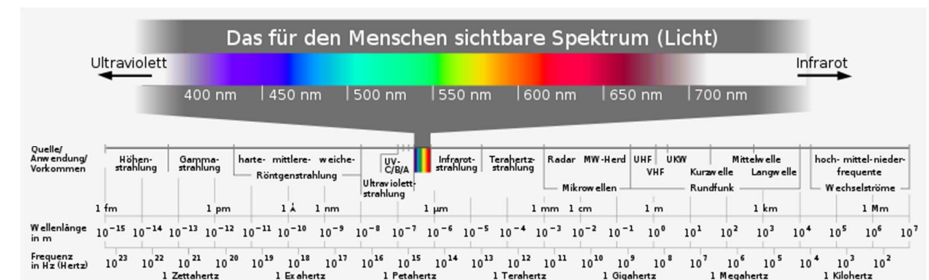
Licht als elektromagnetische Welle

$$c = \lambda \cdot f$$



7

Licht als elektromagnetische Welle



8

Geometrische Optik

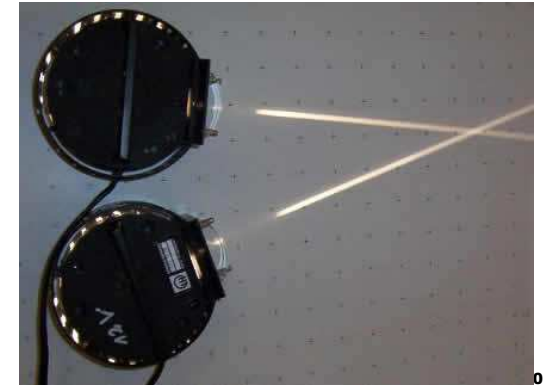
Typische Abmessungen D der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind groß gegen die Wellenlänge λ des Lichts

$$D \gg \lambda$$

9

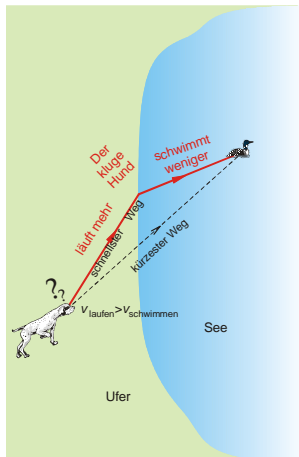
Das Modell „Lichtstrahl“

- geradlinige Ausbreitung des Lichtes
- Lichtwege sind umkehrbar
- kreuzende Lichtstrahlen beeinflussen sich nicht



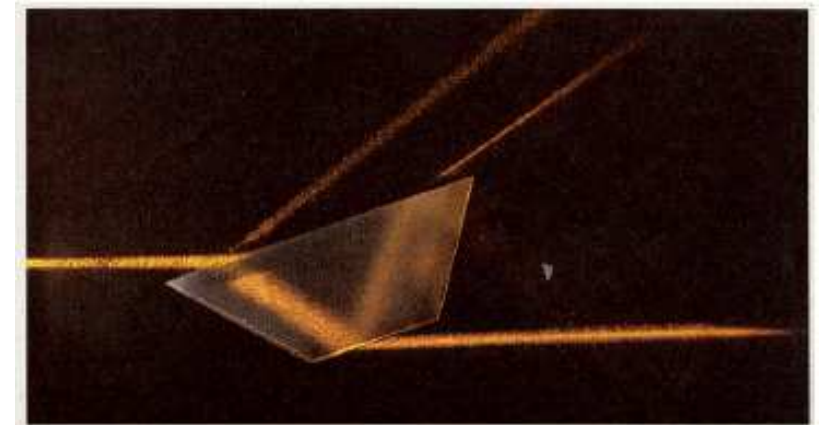
10

Das Fermatsche Prinzip



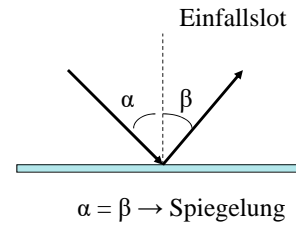
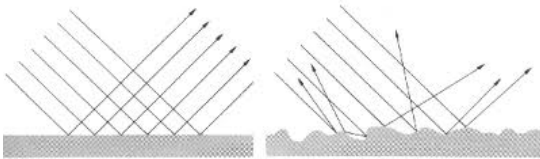
Die Ausbreitung des Lichtes zwischen zwei Punkten verläuft so, daß die verbrauchte Zeit minimal ist.

Reflexion und Brechung



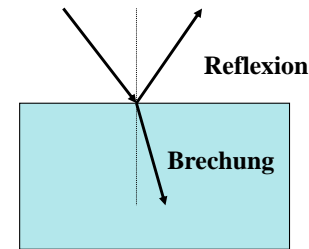
12

Reflexion des Lichtes



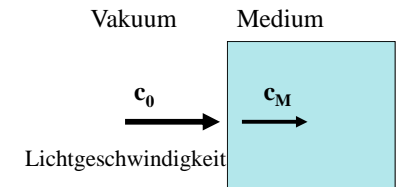
13

Brechzahl



bei 20° C
und 584 nm

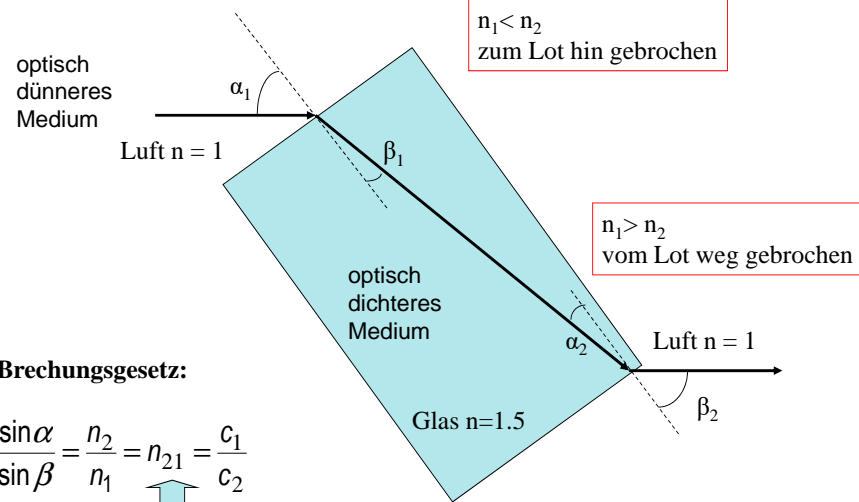
Material	n
Vakuum	1
Luft (1 atm)	1,00027
Wasser	1,333
Augenlinse	≈1,34
Ethylalkohol	1,361
Quarzglas	1,459
Flintglas	1,613
Diamant	2,417



absolute Brechzahl: $n = \frac{c_0}{c_M} \geq 1$

14

Brechung



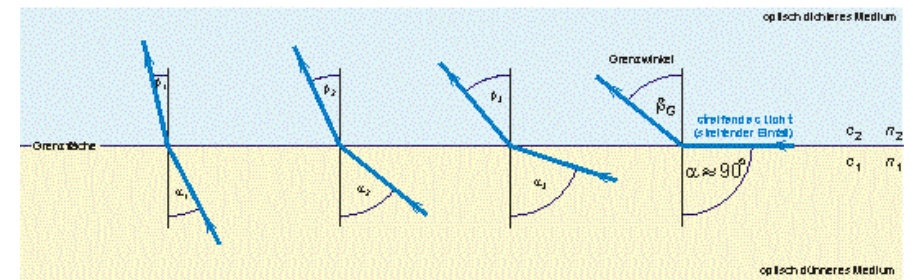
Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = \frac{c_1}{c_2}$$

relative Brechzahl

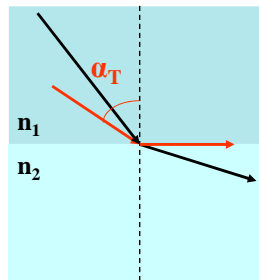
15

Totalreflexion



16

Totalreflexion

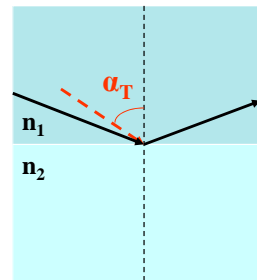


$$n_1 > n_2$$

α_T ...Grenzwinkel

optisch
dichteres
Medium

optisch
dünneres
Medium

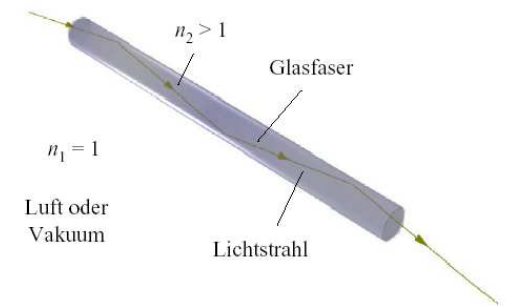


$$n_1 > n_2$$

$\alpha > \alpha_T$ Totalreflexion

17

Totalreflexion

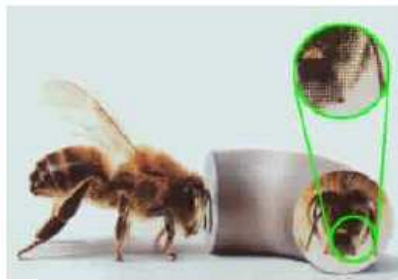
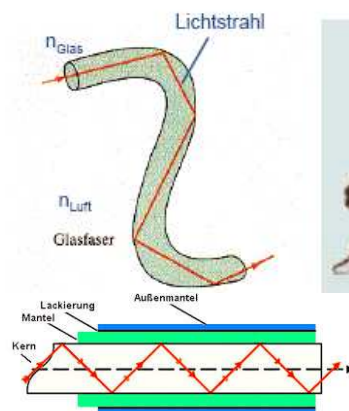


Anwendung:

- Lichtleiter – Endoskopie
- Faseroptik – optische Informationsübertragung

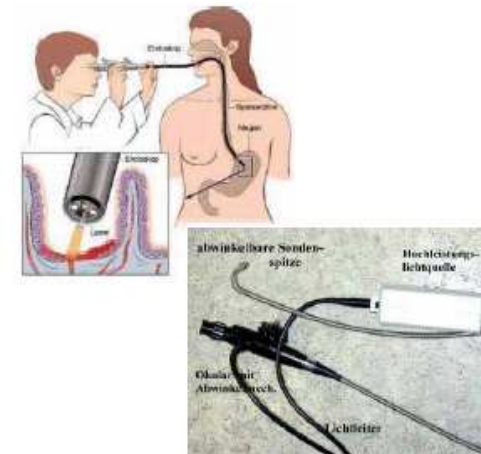
18

Totalreflexion & Endoskopie



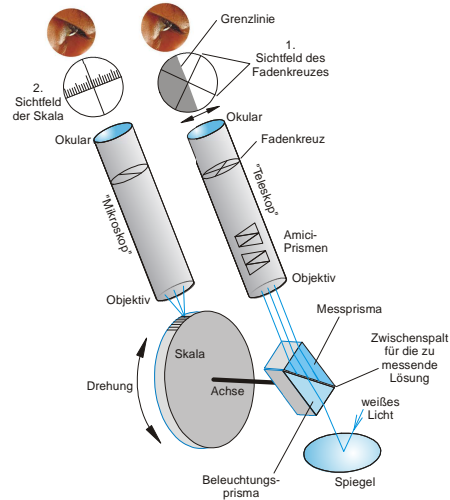
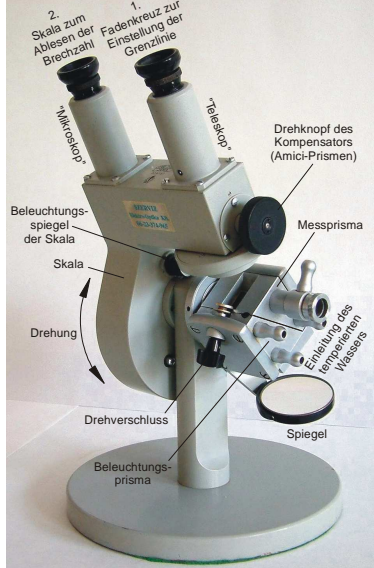
19

Totalreflexion & Endoskopie



20

Totalreflexion & Refraktometer



21

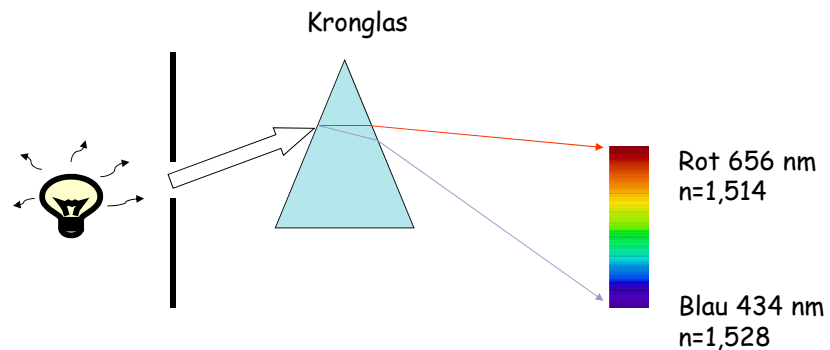
Dispersion und Prisma



Weißes Licht wird zerlegt
Kurzwelliges Licht (violett) wird stärker gebrochen als langwelliges (rot)

22

Dispersion und Prisma

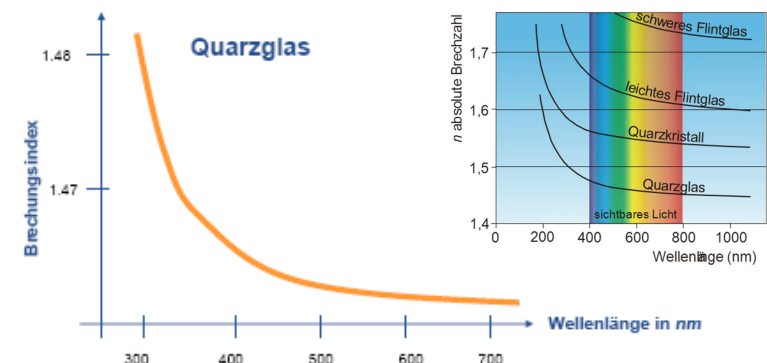


Wellenlängenabhängigkeit der Brechzahl

23

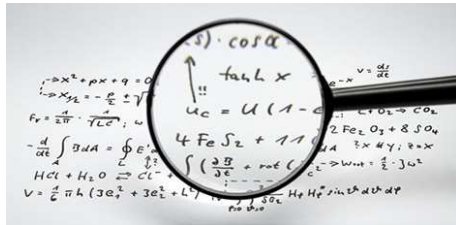
Dispersion

Der Brechungsindex ist für alle Gläser wellenlängenabhängig, d.h. $n = n(\lambda)$.
Für die meisten Gläser nimmt n mit abnehmender Wellenlänge zu, d.h. **BLAU** wird stärker gebrochen als **ROT** (normale Dispersion)



24

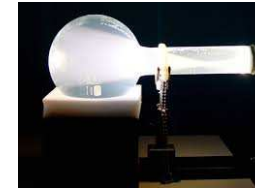
Brechung an gekrümmten Flächen



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

25

Brechung an einer sphärischen Fläche



<http://vorsam.uni-ulm.de/>

$$h = R \sin \alpha = f \sin \gamma$$

$$\gamma = \alpha - \beta$$

$$\Rightarrow f = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha - \beta)} \cdot R$$

Mit Brechungsgesetz und unter der Annahme paraxialer Strahlen ergibt sich dann für die Brennweite:

$$f = \frac{n_2}{n_2 - n_1} \cdot R$$

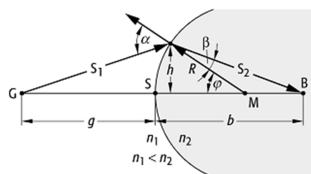
Brechkraft (D)

$$D = \frac{n_2}{f} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

$n_2 - n_1$	R	D	
+	+	+	Fokussierung
-	+	-	Zerstreuung
+	-	-	Zerstreuung
-	-	+	Fokussierung

26

Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche



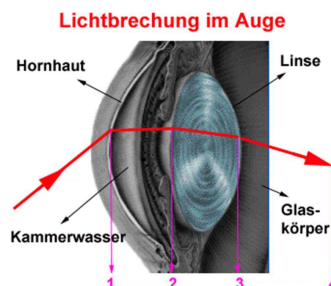
Abbildungsgesetz:

$$D = \frac{n_1}{g} + \frac{n_2}{b}$$

Für dünne, naheliegende Grenzflächen:

$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

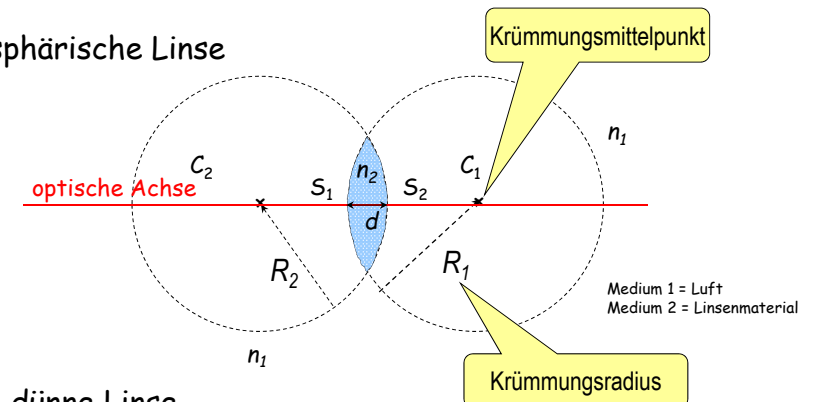
Siehe Praktikum „Optik des Auges“



27

Linzen

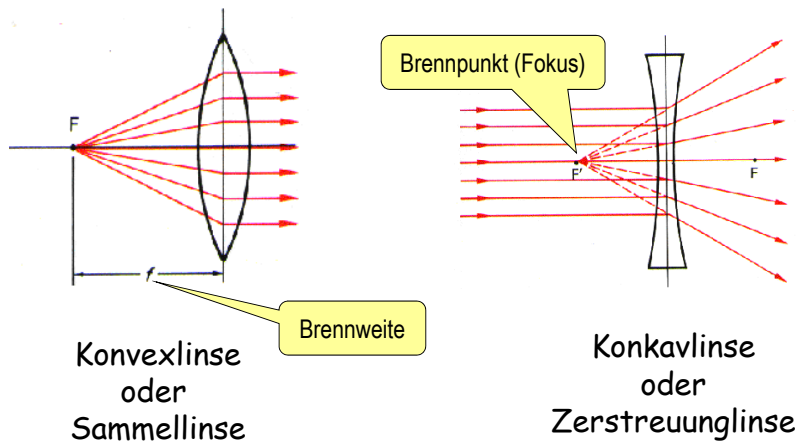
• sphärische Linse



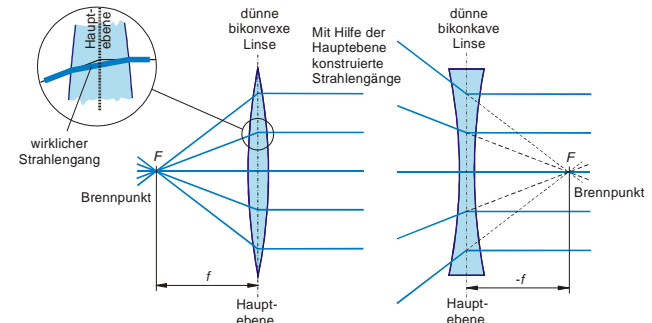
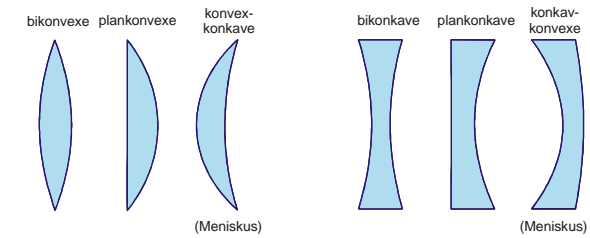
• dünne Linse
 $d \ll R_1$ und R_2

28

Linsearten



29



30

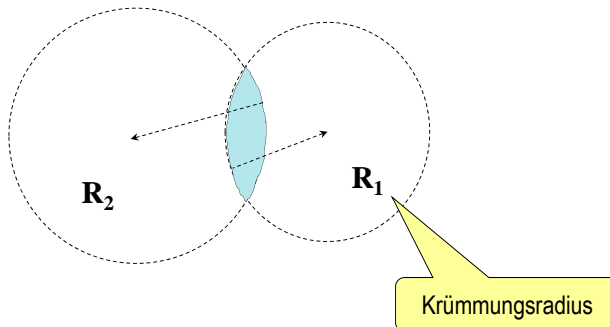
Linsenschleiferformel der dünnen Linsen

$$D = \frac{n_2}{f} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

$$R_1 > 0$$

$$R_2 < 0$$

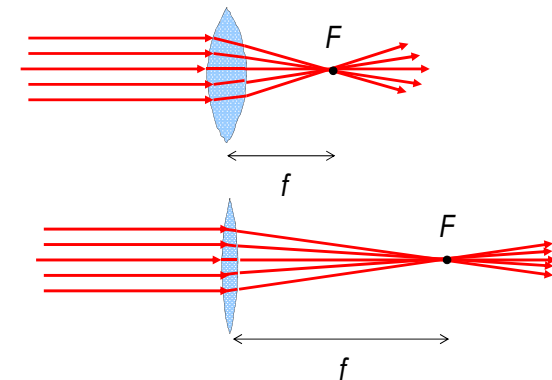
$$-R_2 > 0$$



$$\frac{1}{f} = (n_{rel} - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$n_{rel} = \frac{n_{Linse}}{n_{Umgebung}}$$

31



$$D = \frac{1}{f} = (n-1) \frac{2}{R}$$

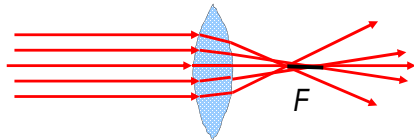
Linsenschleiferformel symmetrischer Linsen

siehe Akkomodation der Augenlinse

32

Linsenfehler

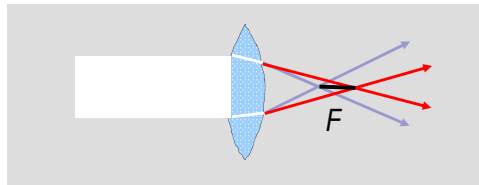
Spärische Aberration – Öffnungsfehler



Ursache: Teilnahme der achsenfernen Strahlen in der Bildentstehung

Ergebnis: eine abweichende Brennweite der nicht paraxialen Strahlen

Chromatische Aberration – Farbabweichung

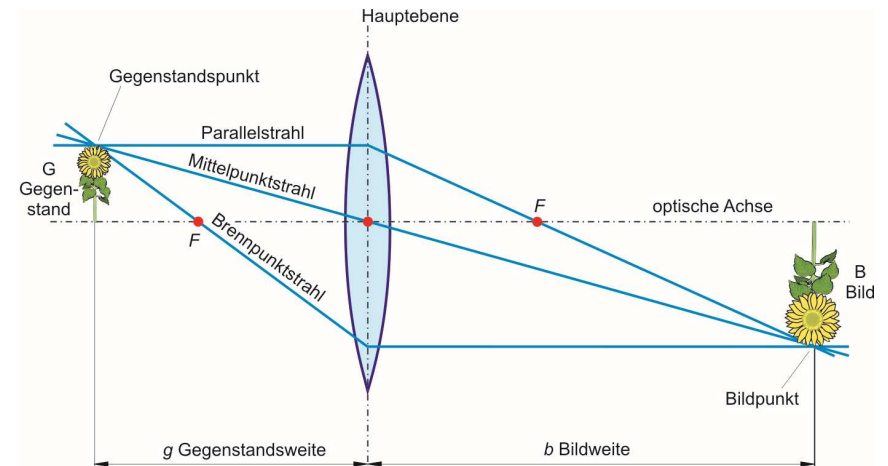


Ursache: Dispersion

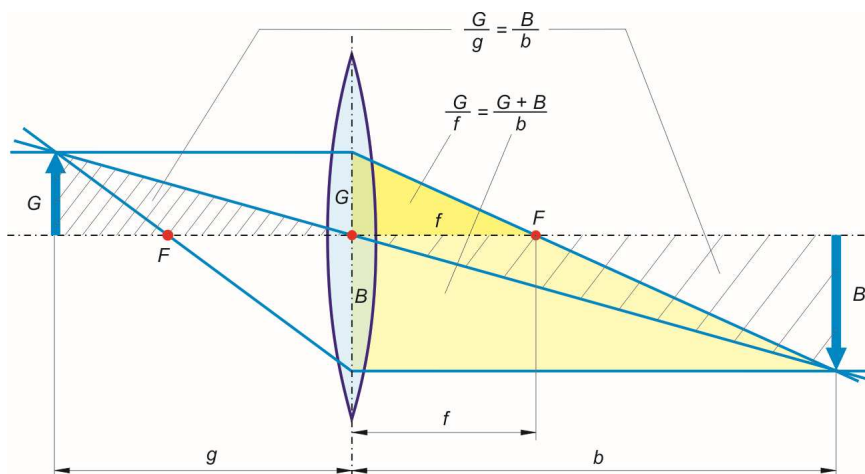
Ergebnis: eine etwas abweichende Brennweite der verschiedenen Farben

33

Abbildung mit Linsen

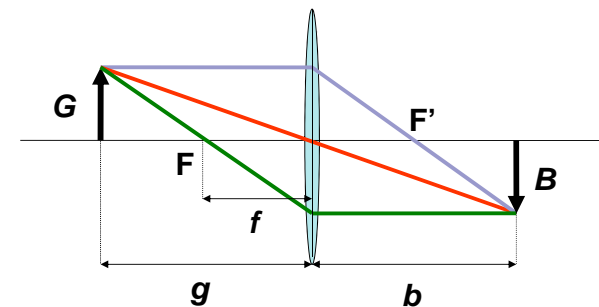


34



35

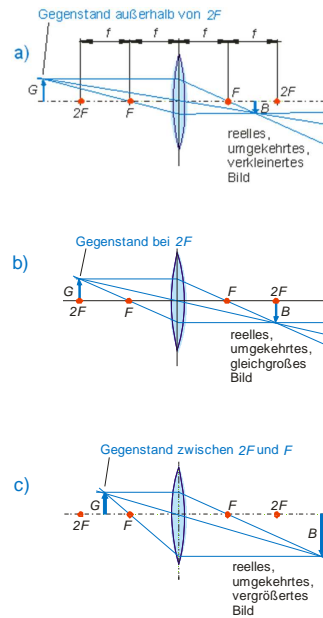
Abbildung durch Sammellinse



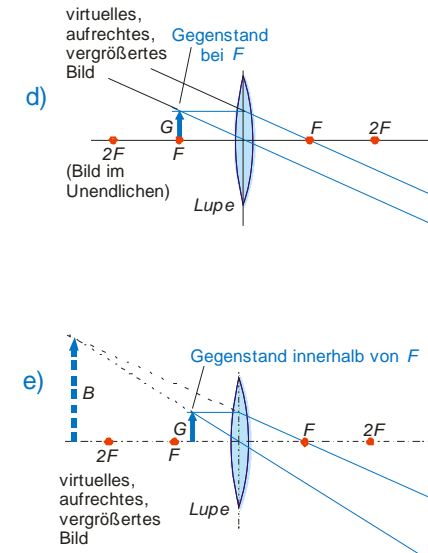
Brechkraft: $D = \frac{1}{f}$ $[D] = \frac{1}{m} = \text{dpt (Dioptrie)}$

Abbildungsgleichung: $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ Abbildungsmaßstab: $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$

36



37

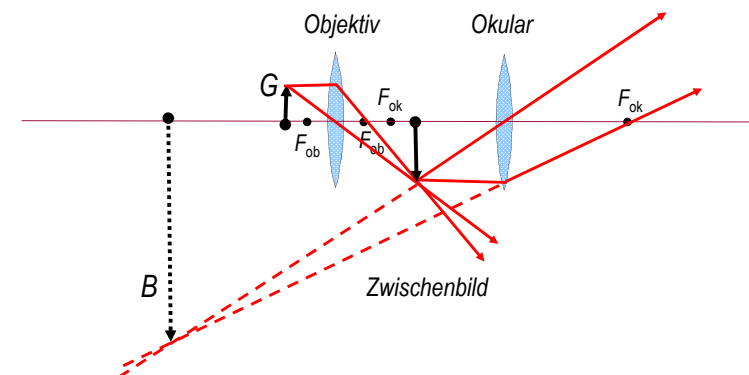


38

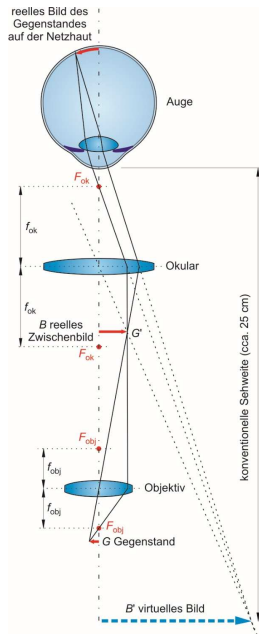
Gegenstand	Bild			
Lage	Lage	Art	Stellung	Größe
$g > 2f$	$f < b < 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	verkleinert $B < G$
$g = 2f$	$b = 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	gleichgroß $B = G$
$f < g < 2f$	$b > 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	vergrößert $B > G$
$g < f$	auf der Gegenstandsseite	virtuell	aufrecht, seitenrichtig	vergrößert $B > G$

39

Das Lichtmikroskop



40



optische Tubuslänge

deutliche Sehweite
(25 cm)

$$V_M = V_{ob} \cdot V_{ok} \approx -\frac{d}{f_{ob}} \cdot \frac{a}{f_{ok}}$$

Maximale Vergrößerung $\approx 500\times$!

(über 500 leere Vergrößerung)

? s. Wellenoptik \Rightarrow