

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“

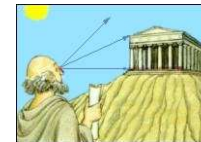
- Teilchencharakter des Lichts \rightarrow Photon

3

Licht

Eigenschaften des Lichts

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



- Heute: Teilchen- und Wellenmodell

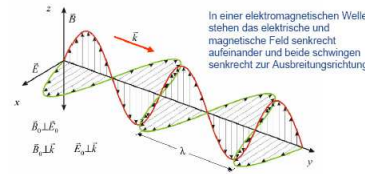
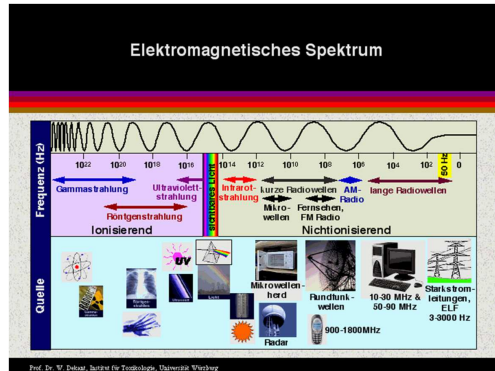
Licht kann entweder als Strahl von **Teilchen** oder als elektromagnetische **Welle** betrachtet werden

$$E_{\text{ph}} = h \cdot f \quad v = c$$

4

Licht

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



5

Licht

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

Im Vakuum ist die Geschwindigkeit für alle elektromagnetische Wellen gleich:

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

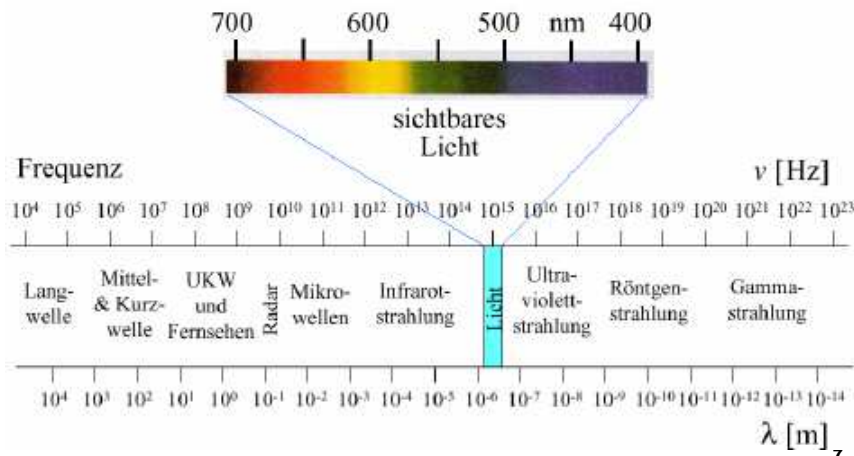
Olaf Römer - 1676: Verfinsterungen des Jupitermondes Io
 $c \approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bradley - 1727: Aberration des Sternenlichtes

6

Licht

Licht als elektromagnetische Welle



Geometrische Optik

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

$$D \gg \lambda$$

8

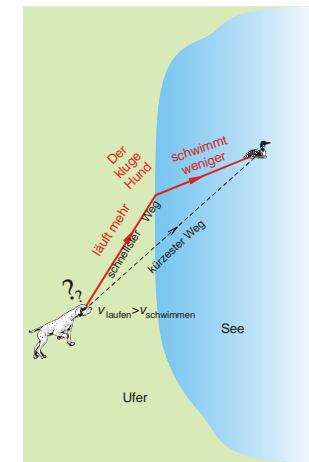
Das Modell „Lichtstrahl“

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



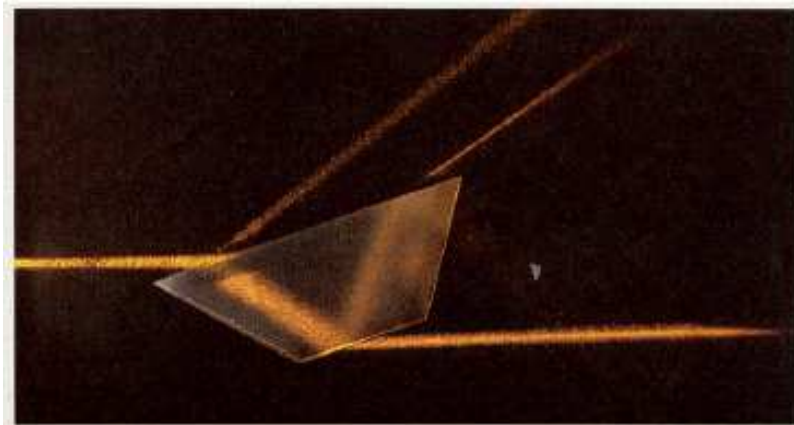
9

Das Fermatsche Prinzip



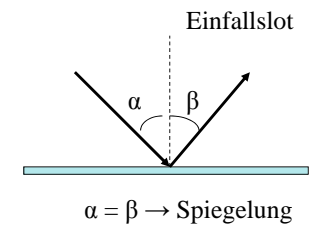
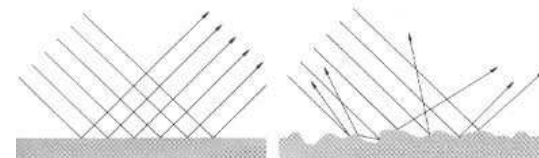
Die Ausbreitung des Lichtes zwischen zwei Punkten verläuft so, daß die verbrauchte Zeit minimal ist.

Reflexion und Brechung



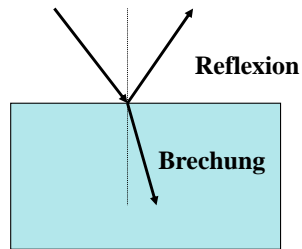
11

Reflexion des Lichtes



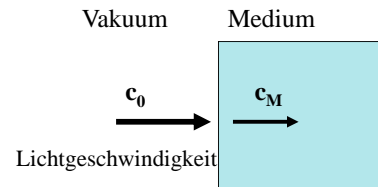
12

Brechzahl



bei 20° C
und 584 nm

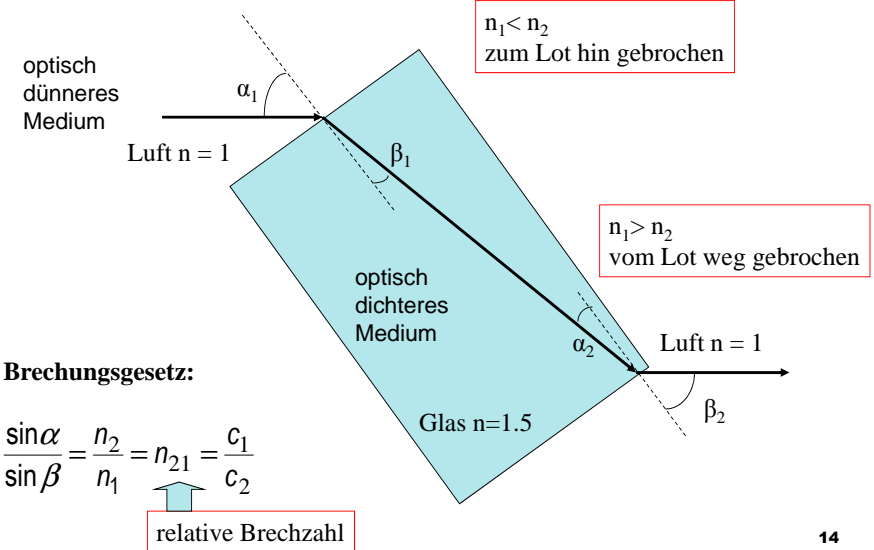
Material	n
Vakuum	1
Luft (1 atm)	1,00027
Wasser	1,333
Augenlinse	≈ 1,34
Ethylalkohol	1,361
Quarzglas	1,459
Flintglas	1,613
Diamant	2,417



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

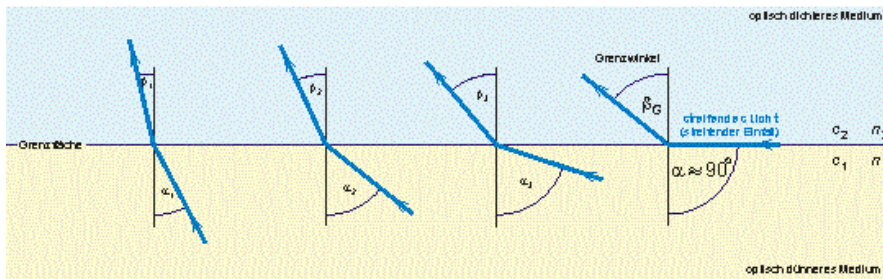
13

Brechung



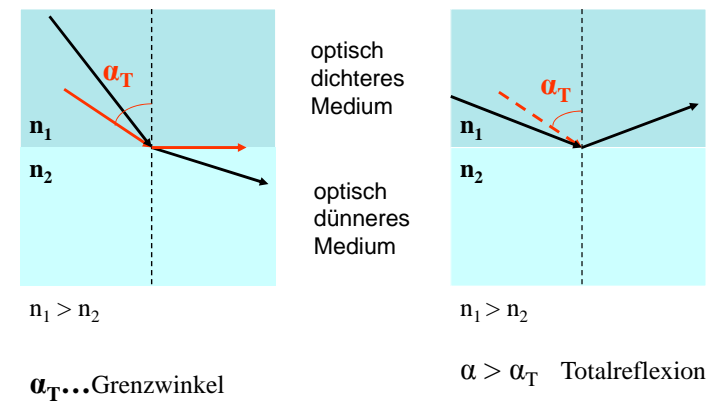
14

Totalreflexion



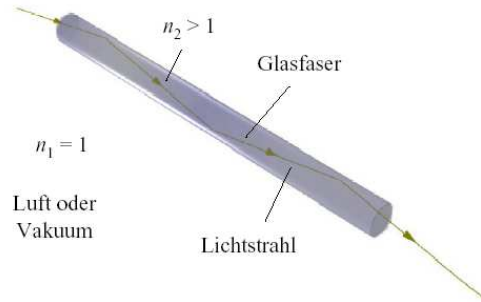
15

Totalreflexion



16

Totalreflexion

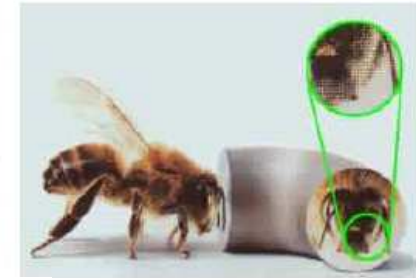
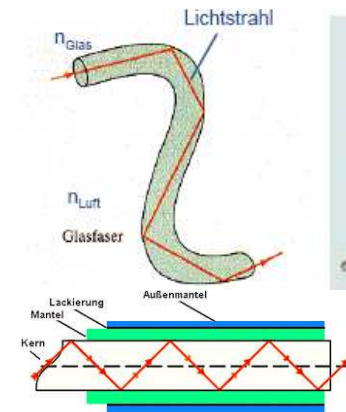


Anwendung:

- Lichtleiter – Endoskopie
- Faseroptik – optische Informationsübertragung

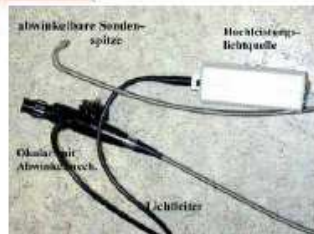
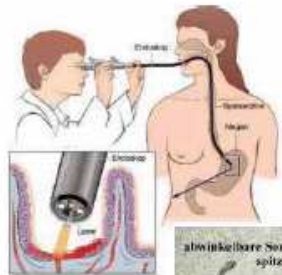
17

Totalreflexion & Endoskopie



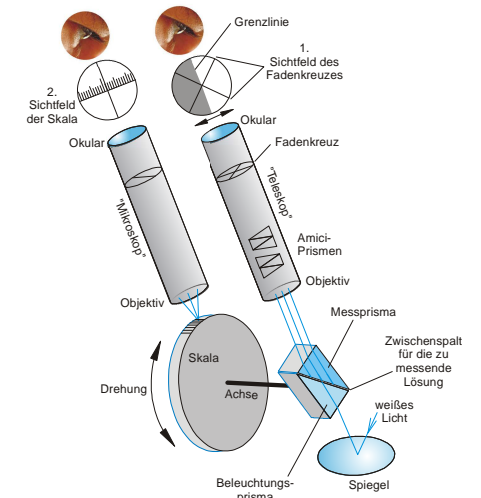
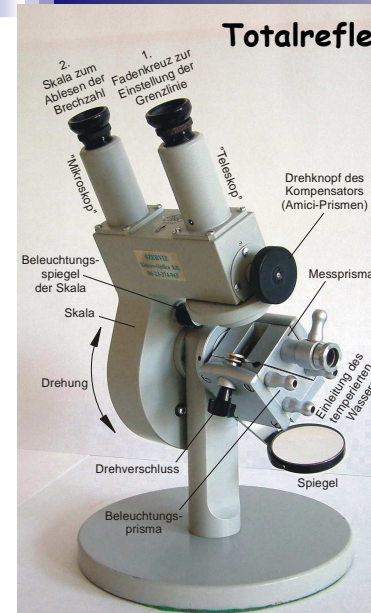
18

Totalreflexion & Endoskopie



19

Totalreflexion & Refraktometer



20

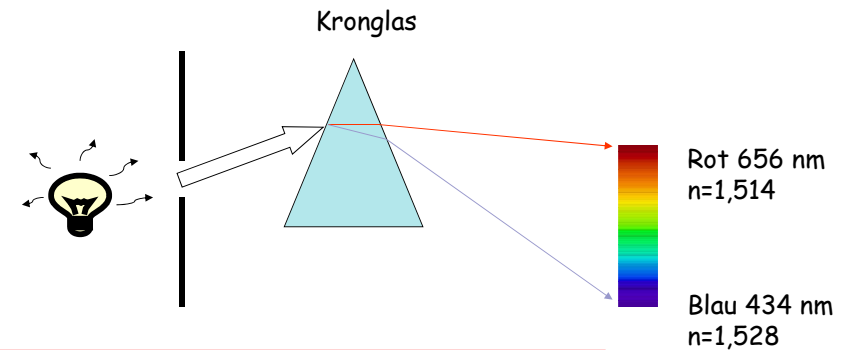
Dispersion und Prisma



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

21

Dispersion und Prisma

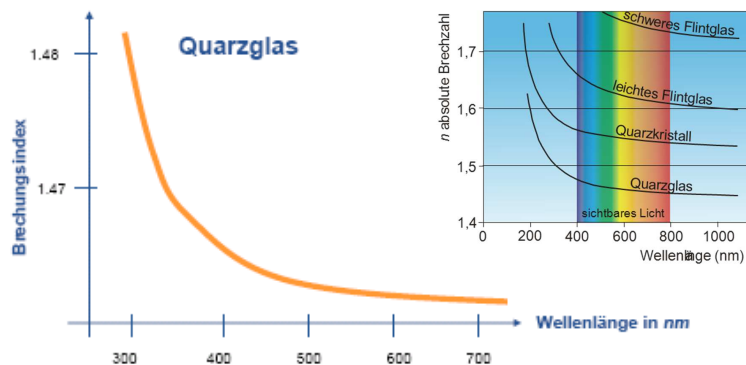


Wellenlängenabhängigkeit der Brechzahl

22

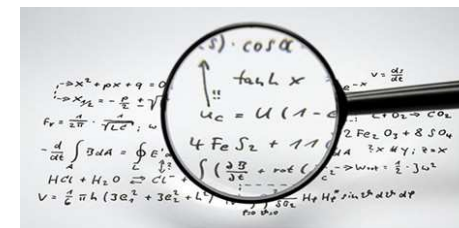
Dispersion

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)



23

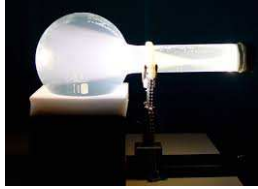
Brechung an gekrümmten Flächen



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

24

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:

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

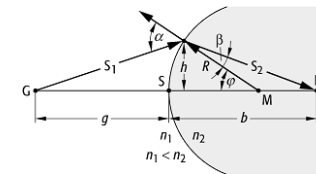
Brechkraft (D)

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

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

25

Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche



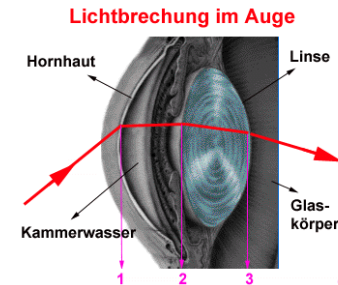
Abbildungsgesetz:

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

Für dünne, naheliegende Grenzflächen:

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

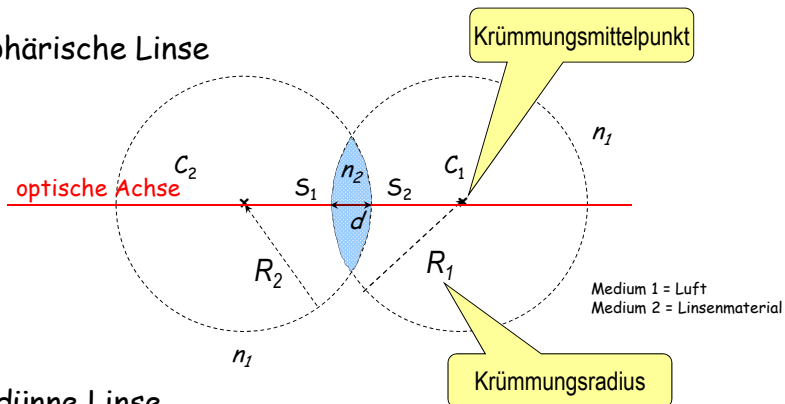
Siehe Praktikum „Optik des Auges“



26

Linsen

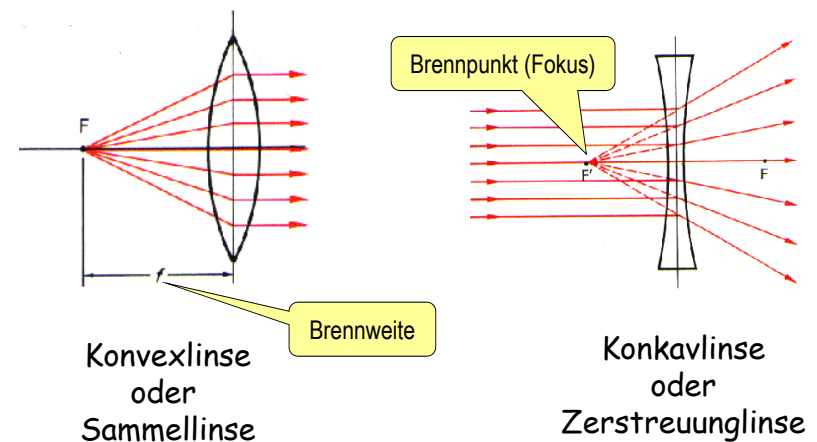
• sphärische Linse



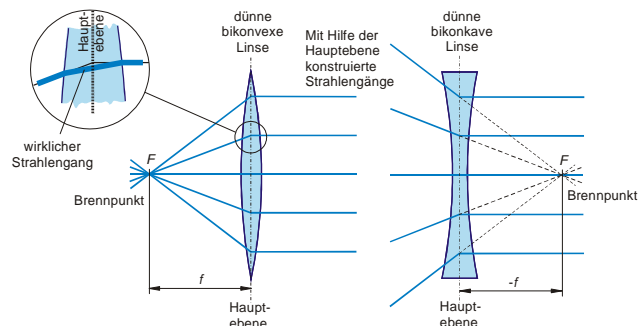
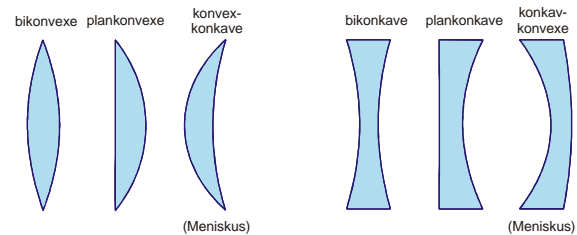
• dünne Linse
 $d \ll R_1$ und R_2

27

Linsenarten



28



29

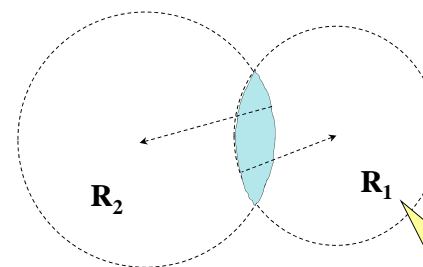
Linsenschleiferformel der dünnen Linsen

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

$$R_1 > 0$$

$$R_2 < 0$$

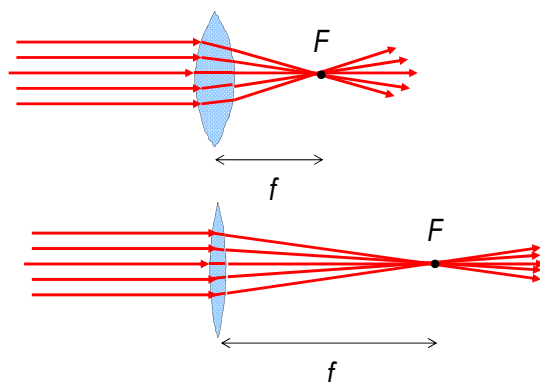
$$-R_2 > 0$$



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

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

30



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

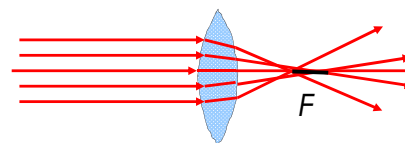
**Linsenschleiferformel
symmetrischer Linsen**

siehe Akkomodation der Augenlinse

31

Linsenfehler

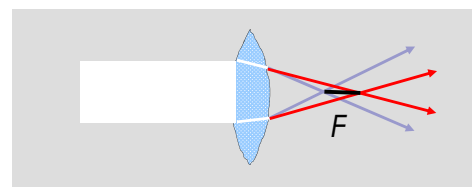
Spärische Aberration – Öffnungsfehler



Ursache: Teilnahme der achsenfernen Strahlen in der Bildentstehung

Ergebnis: eine abweichende Brennweite der nicht paraxialen Strahlen

Chromatische Aberration – Farbabweichung

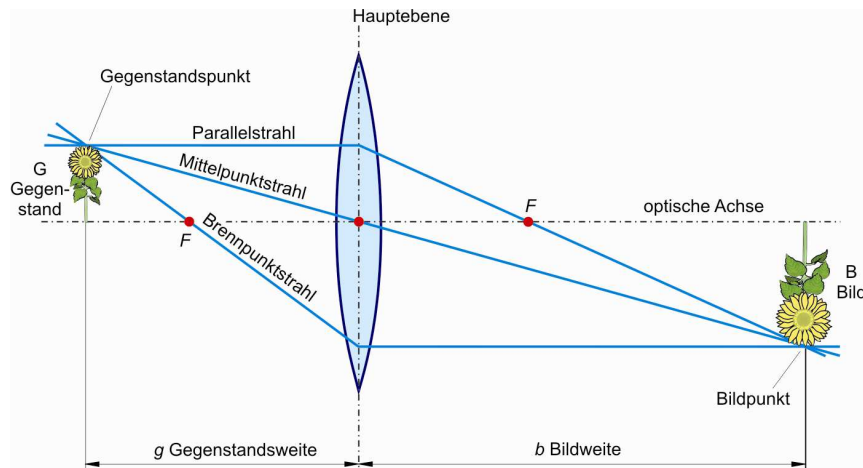


Ursache: Dispersion

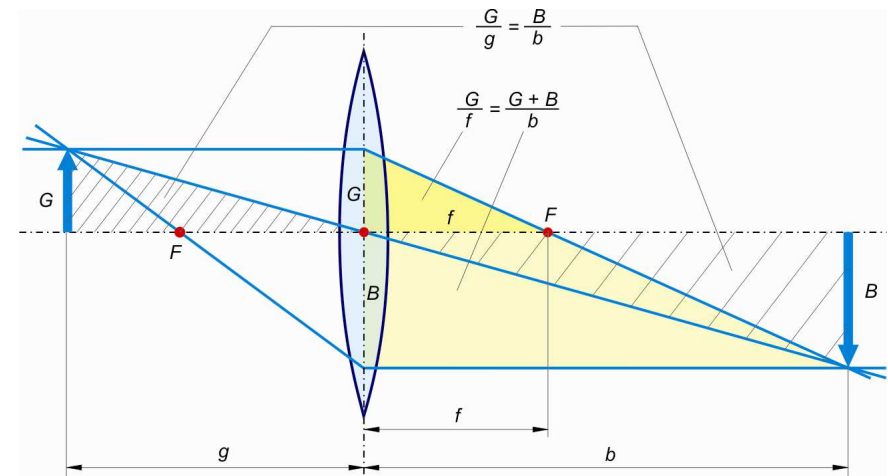
Ergebnis: eine etwas abweichende Brennweite der verschiedenen Farben

32

Abbildung mit Linsen

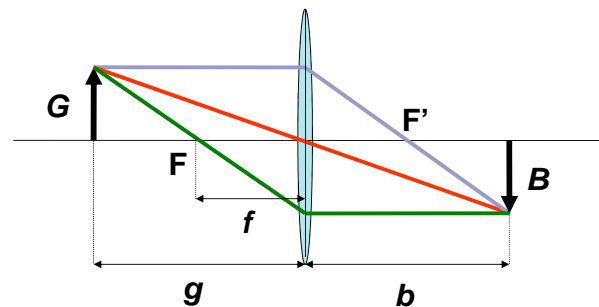


33



34

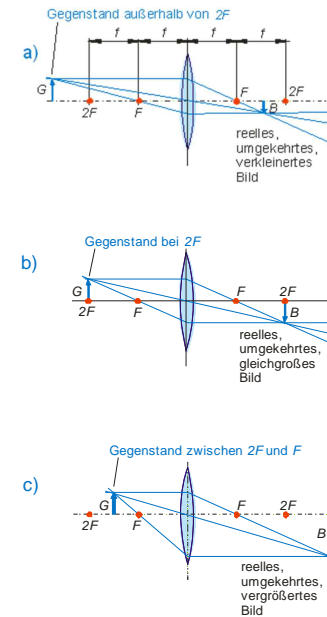
Abbildung durch Sammellinse



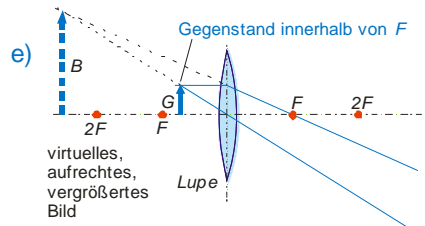
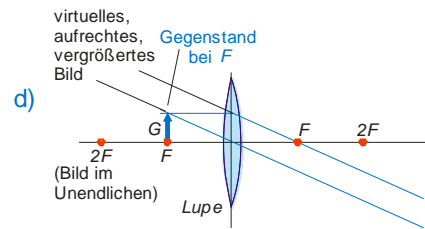
Brechkraft: $D = \frac{1}{f}$ $[D] = \frac{1}{m} = \text{dpt (Dioptrie)}$

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

35



36

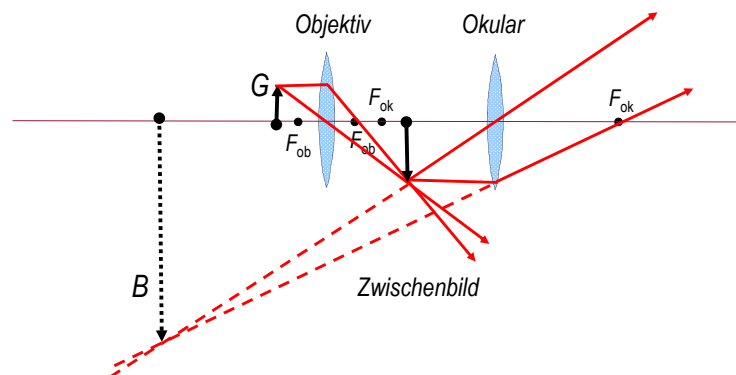


37

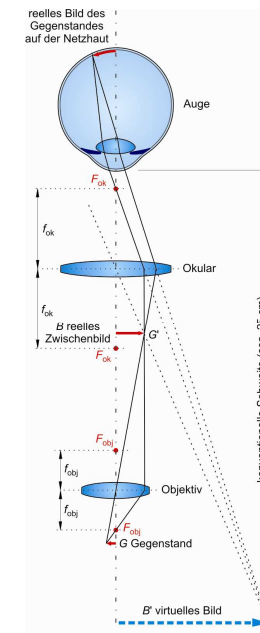
Gegenstand		Bild		
Lage	Lage	Art	Stellung	Größe
$g > 2f$	$f < b < 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	verkleinert $B < G$
$g = 2f$	$b = 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	gleichgroß $B = G$
$f < g < 2f$	$b > 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	vergrößert $B > G$
$g < f$	auf der Gegenstandsseite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

38

Das Lichtmikroskop



39



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

40