

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“

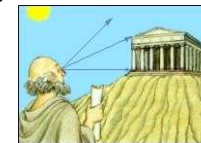
- Teilchencharakter des Lichts \rightarrow Photon

3

Licht

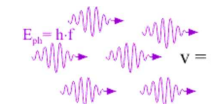
Eigenschaften des Lichts

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



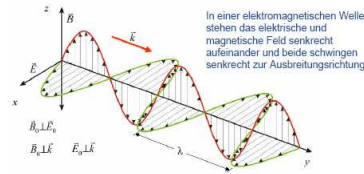
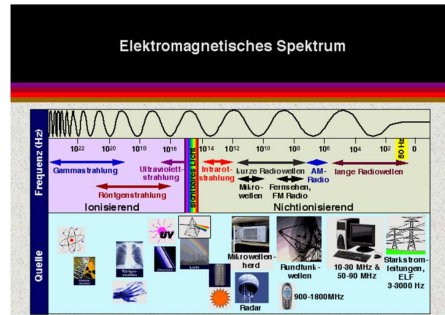
- Heute: Teilchen- und Wellenmodell

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:

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

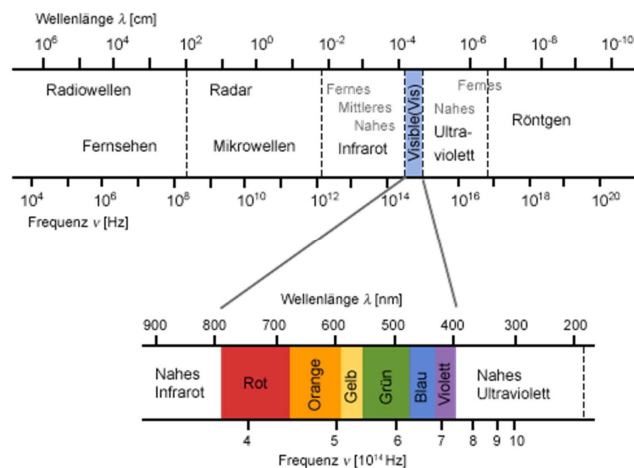
Olaf Römer - 1676: Verfinsterungen des Jupitermondes Io
 $c \approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bradley - 1727: Aberration des Sternenlichtes

6

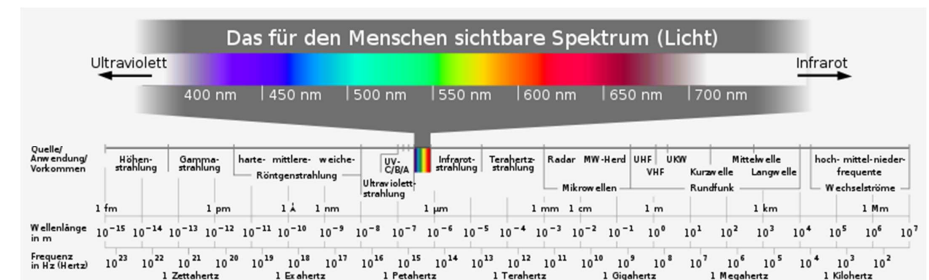
Licht als elektromagnetische Welle

$$c = \lambda \cdot f$$



7

Licht als elektromagnetische Welle



8

Geometrische Optik

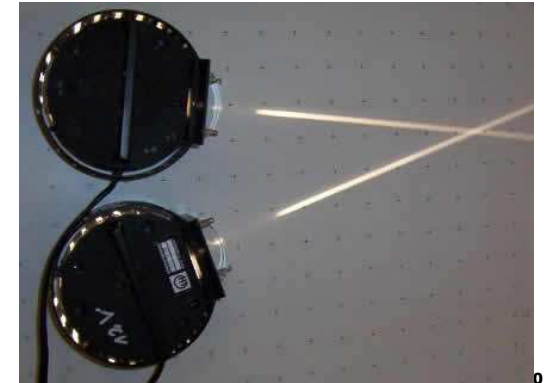
Typische Abmessungen d der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind groß gegen die Wellenlänge λ des Lichts

$$d \gg \lambda$$

9

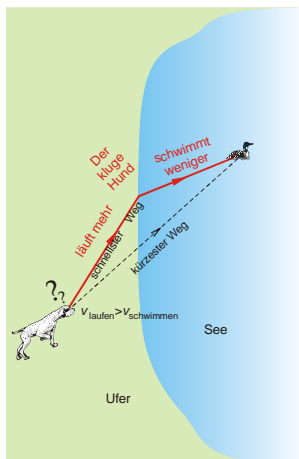
Das Modell „Lichtstrahl“

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



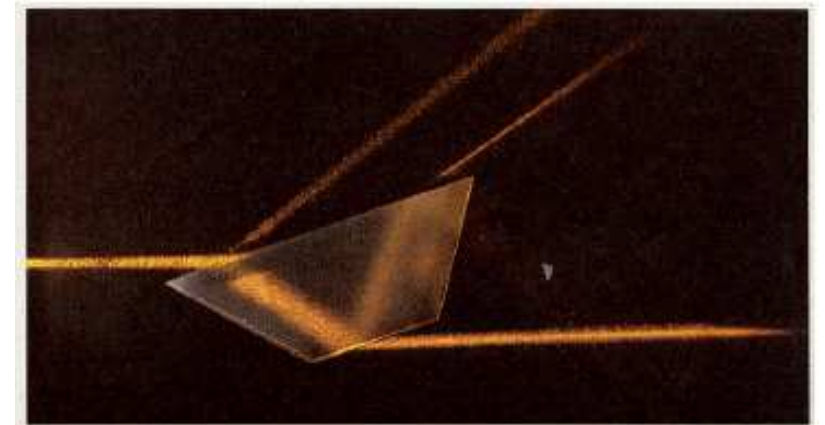
10

Das Fermatsche Prinzip



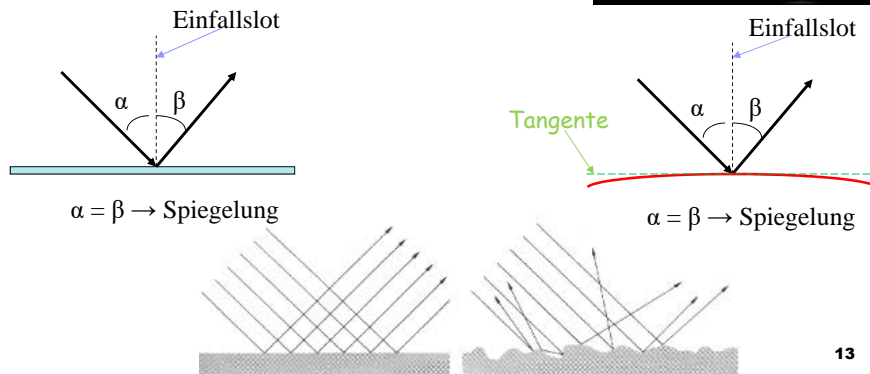
Die Ausbreitung des Lichtes zwischen zwei Punkten verläuft so, daß die verbrauchte Zeit minimal ist.

Reflexion und Brechung



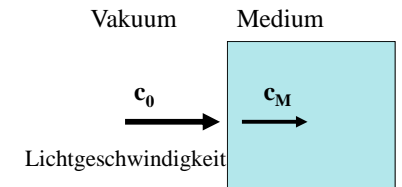
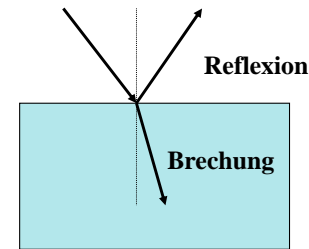
12

Reflexion des Lichtes



13

Brechzahl



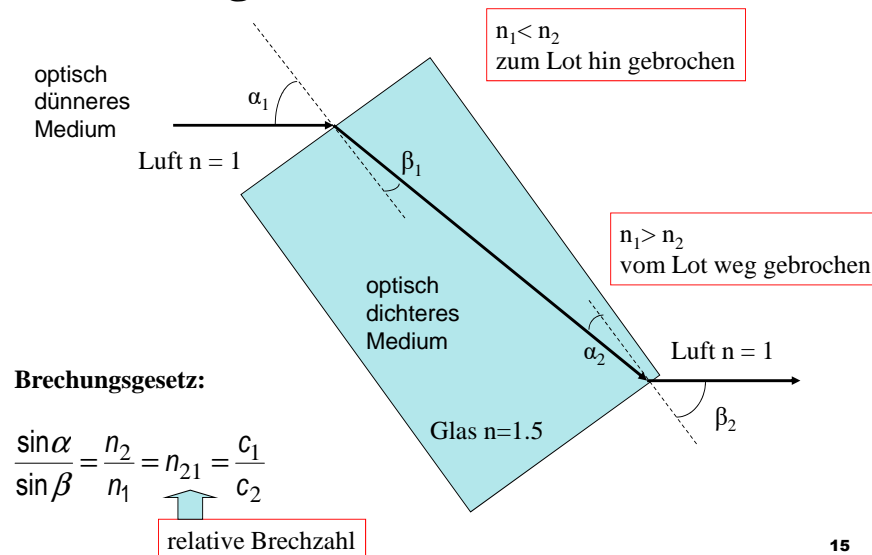
Material	n
Vakuum	1
Luft (1 atm)	1,00027
Wasser	1,333
Augenlinse	$\approx 1,34$
Ethylalkohol	1,361
Quarzglas	1,459
Flintglas	1,613
Diamant	2,417

bei 20° C
und 584 nm

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

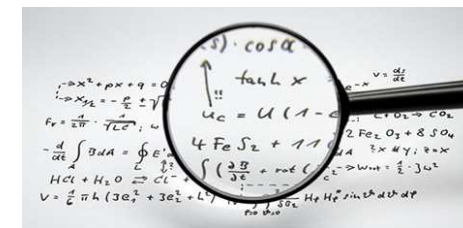
14

Brechung



15

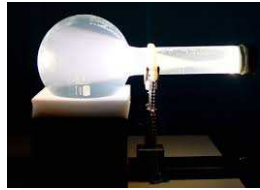
Brechung an gekrümmten Flächen



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

16

Brechung an einer sphärischen Fläche



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

$$\begin{aligned} h &= R \sin \alpha = f \sin \gamma \\ \gamma &= \alpha - \beta \\ \Rightarrow f &= \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha - \beta)} \cdot R \end{aligned}$$

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

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

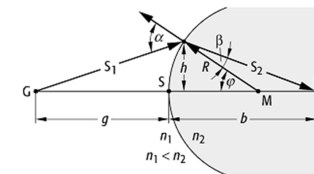
Brechkraft (D)

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

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

17

Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche



Abbildungsgesetz:

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

Für dünne, naheliegende Grenzflächen:

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

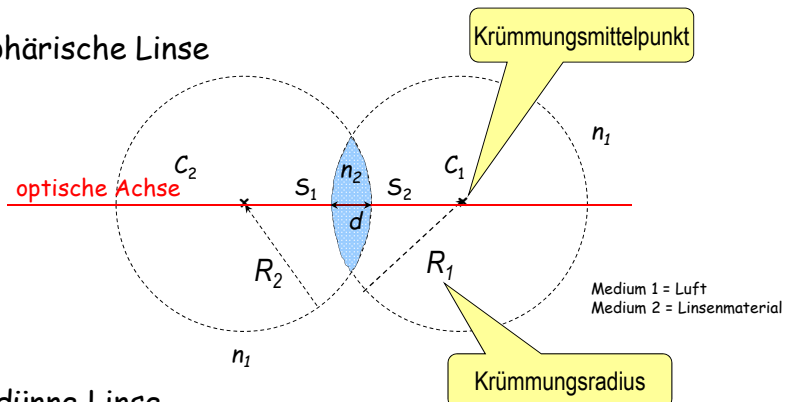
Siehe Praktikum „Optik des Auges“



18

Linsen

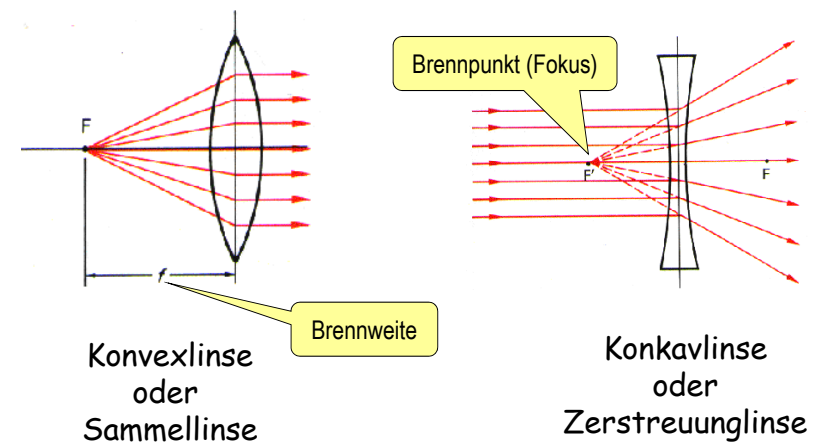
• sphärische Linse



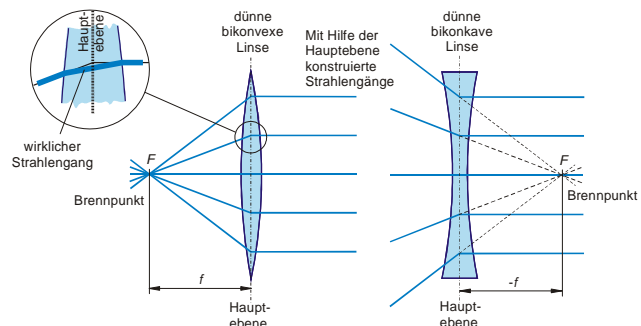
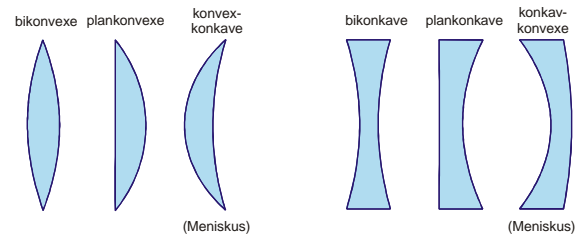
• dünne Linse
 $d \ll R_1$ und R_2

19

Linsenarten



20



21

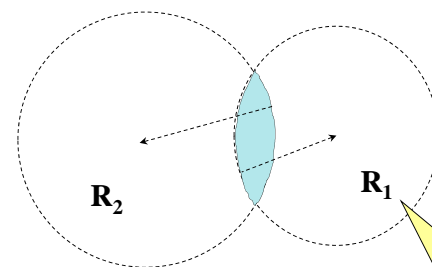
Linsenschleiferformel der dünnen Linsen

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

$$R_1 > 0$$

$$R_2 < 0$$

$$-R_2 > 0$$

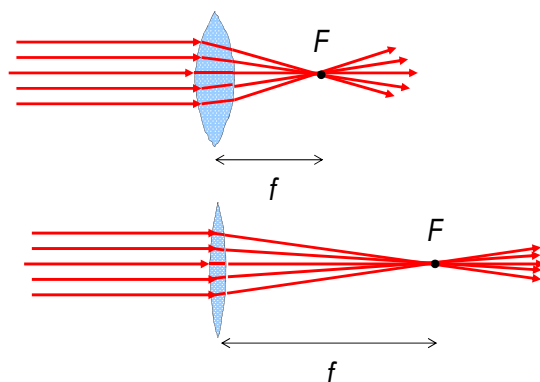


Krümmungsradius

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

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

22



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

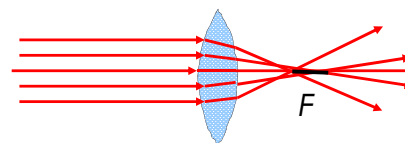
**Linsenschleiferformel
symmetrischer Linsen**

siehe Akkomodation der Augenlinse

23

Linsenfehler

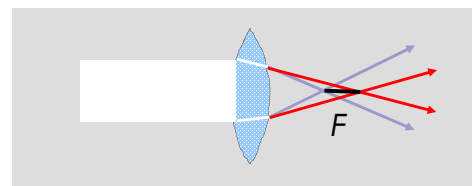
Spärische Aberration – Öffnungsfehler



Ursache: Teilnahme der
achsenfernen Strahlen in der
Bildentstehung

Ergebnis: eine abweichende
Brennweite der nicht paraxialen
Strahlen

Chromatische Aberration – Farbabweichung

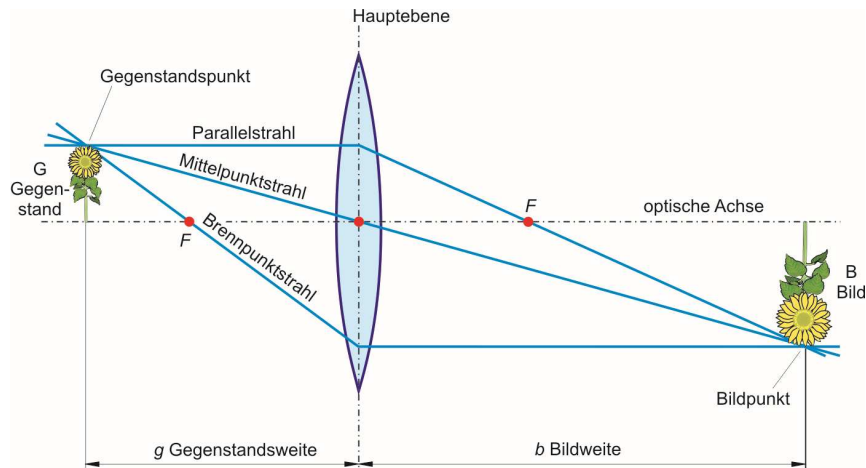


Ursache: Dispersion

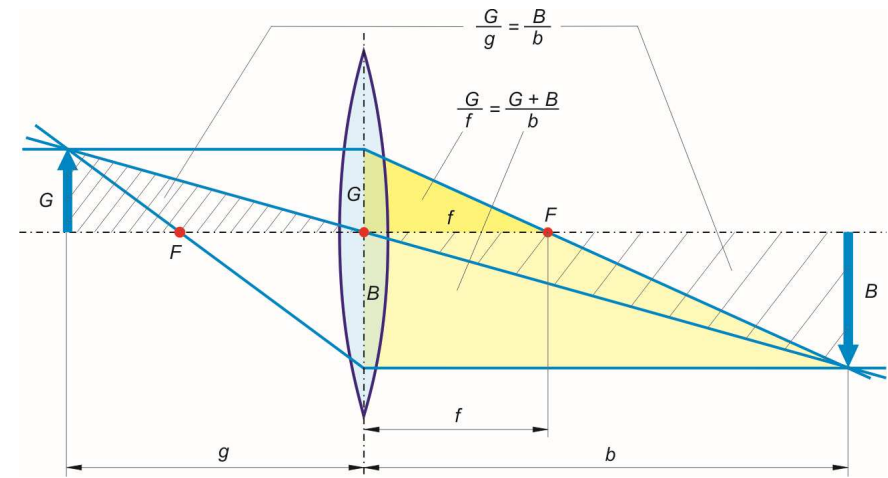
Ergebnis: eine etwas
abweichende Brennweite der
verschiedenen Farben

24

Abbildung mit Linsen

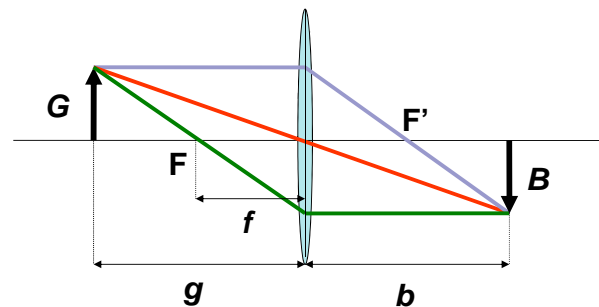


25



26

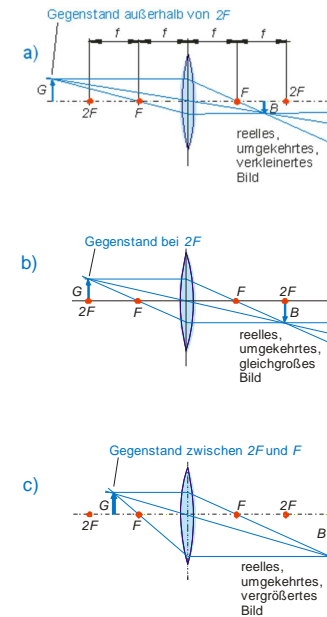
Abbildung durch Sammellinse



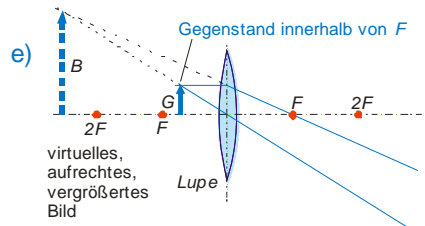
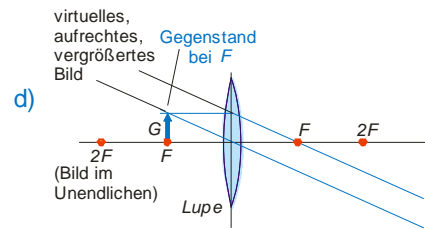
Brechkraft: $D = \frac{1}{f}$ $[D] = \frac{1}{m} = \text{dpt (Dioptrie)}$

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

27



28

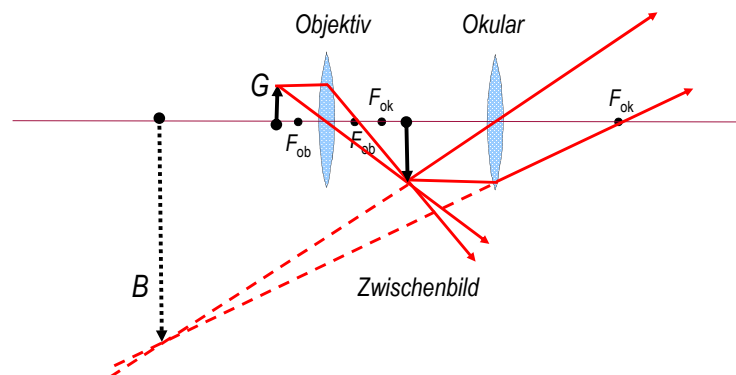


29

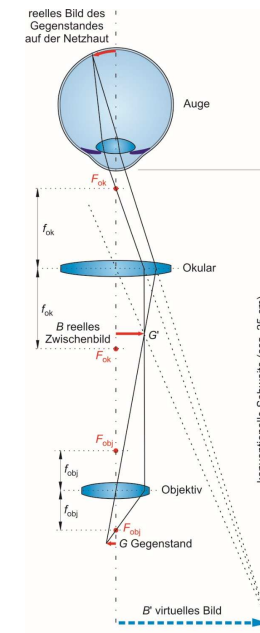
Gegenstand		Bild		
Lage	Lage	Art	Stellung	Größe
$g > 2f$	$f < b < 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	verkleinert $B < G$
$g = 2f$	$b = 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	gleichgroß $B = G$
$f < g < 2f$	$b > 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	vergrößert $B > G$
$g < f$	auf der Gegenstandsseite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

30

Das Lichtmikroskop



31



optische Tubuslänge

deutliche Sehweite (25 cm)

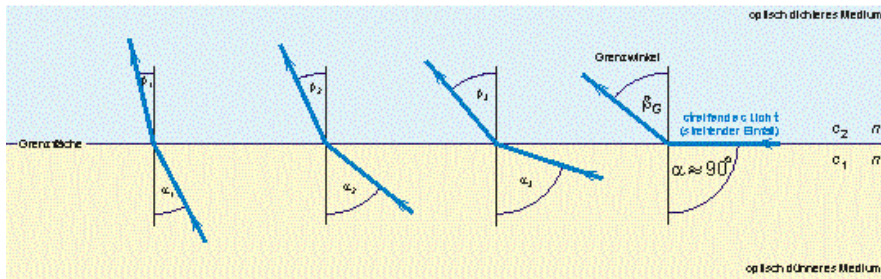
$$V_M = V_{ob} \cdot V_{ok} \approx -\frac{d}{f_{ob}} \cdot \frac{a}{f_{ok}}$$

Maximale Vergrößerung $\approx 500\times$!
(über 500 leere Vergrößerung)

siehe Wellenoptik

32

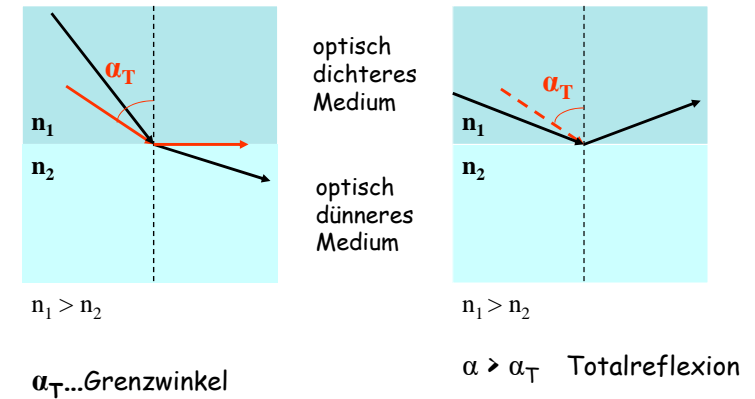
Totalreflexion



siehe Refraktometer

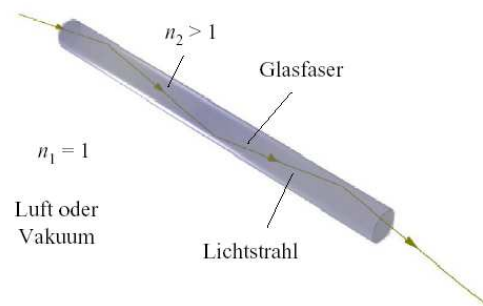
33

Totalreflexion



34

Totalreflexion



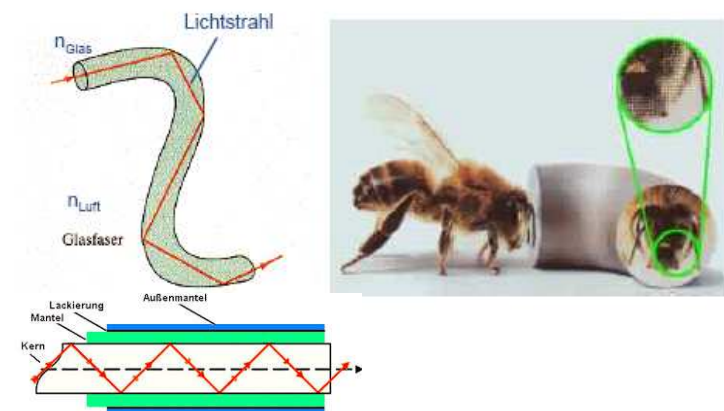
Anwendung:

- Lichtleiter – Endoskopie
- Faseroptik – optische Informationsübertragung



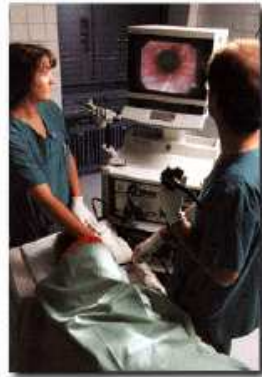
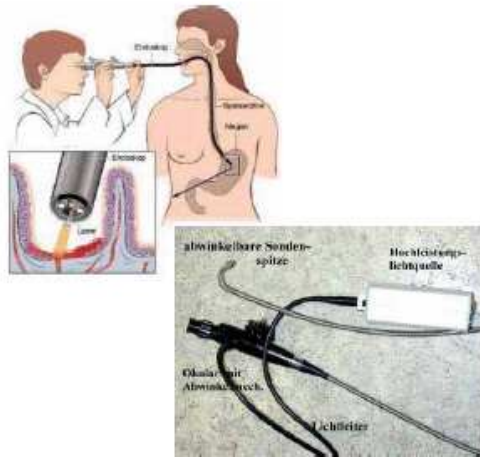
35

Totalreflexion & Endoskopie



36

Totalreflexion & Endoskopie



37

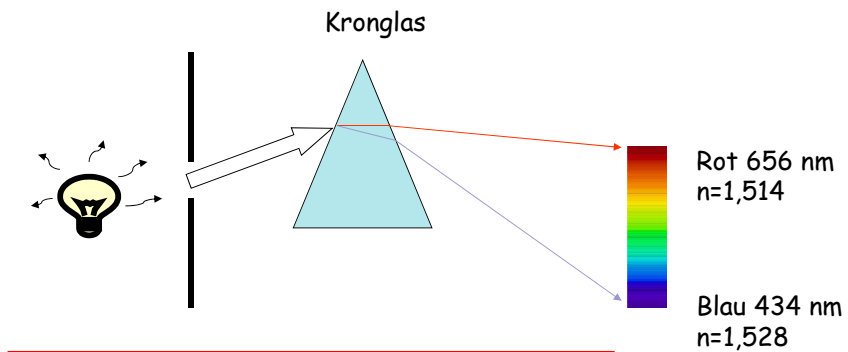
Dispersion und Prisma



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

38

Dispersion und Prisma

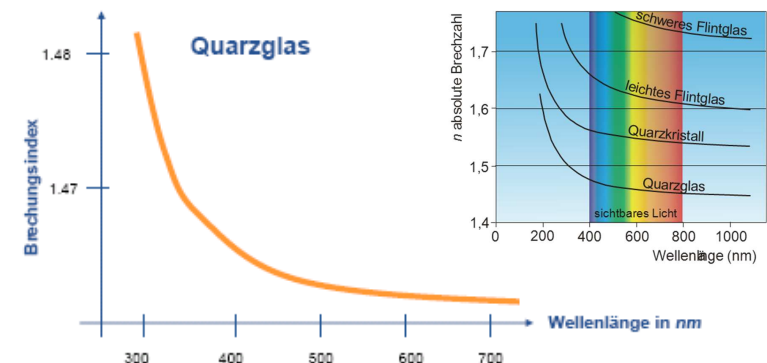


Wellenlängenabhängigkeit der Brechzahl

39

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)



40