

Optik



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

1



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

2

Optik

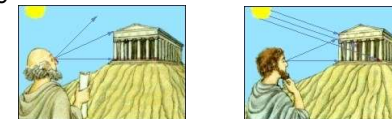
1. „**Geometrische Optik**“ (optische Geräte)
 - Typische Abmessungen d der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind groß gegen die Wellenlänge λ des Lichts
2. „**Wellenoptik**“
 - Typische Abmessungen d der abbildenden System (Blenden, Linsen) sind klein gegen die Wellenlänge λ des Lichts
 - Wellencharakter 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



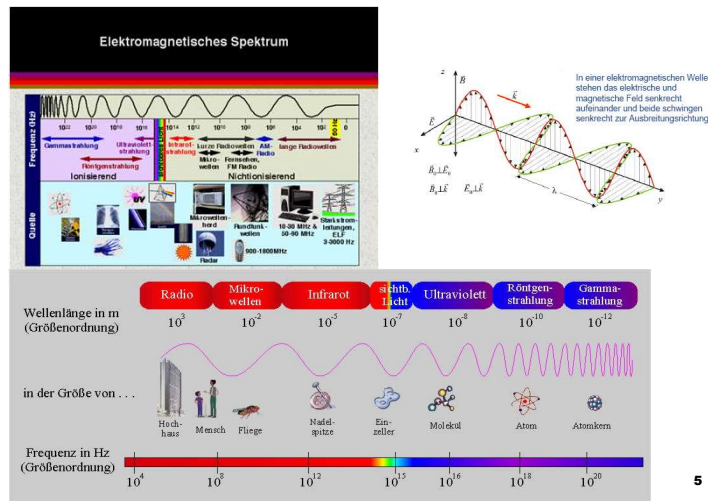
- Heute: Teilchen- und Wellenmodell

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

$$E_{ph} = h \cdot \nu \quad \nu = c / \lambda$$

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 elektromagnetischen Wellen gleich:

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

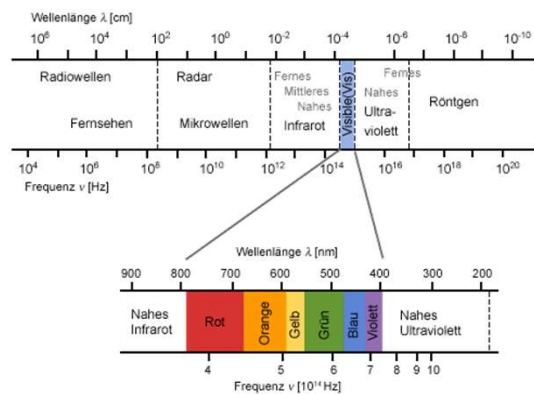
Olaf Römer - 1676: Verfinsterungen des Jupitermondes Io
 $c \approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bradley - 1727: Aberration des Sternenlichtes

6

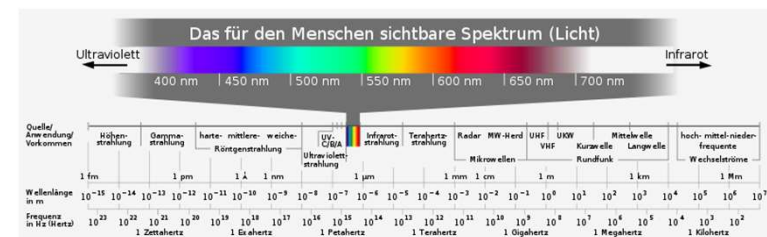
Licht als elektromagnetische Welle

$$c = \lambda \cdot f$$



7

Licht als elektromagnetische Welle



8

Geometrische Optik

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

$$d \gg \lambda$$

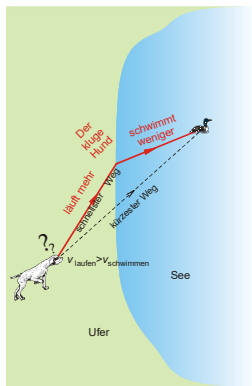
9

Das Modell „Lichtstrahl“

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

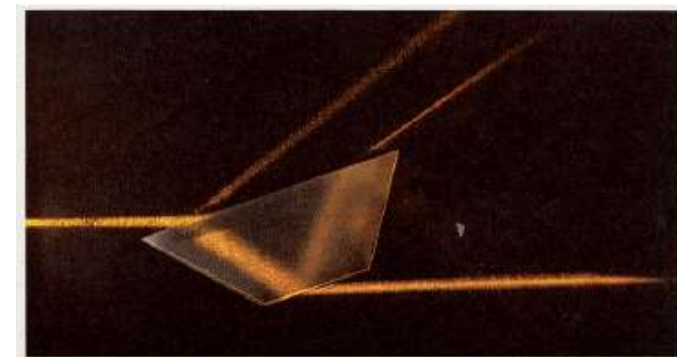


Das Fermatsche Prinzip



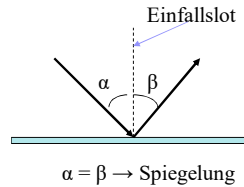
Die Ausbreitung des Lichtes zwischen zwei Punkten verläuft so, daß die verbrauchte Zeit minimal ist.

Reflexion und Brechung

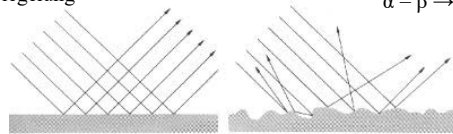
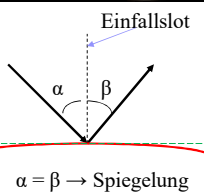


12

Reflexion des Lichtes

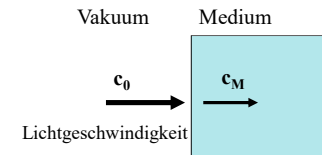
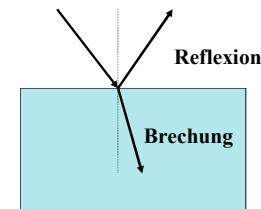


Tangente



13

Brechzahl



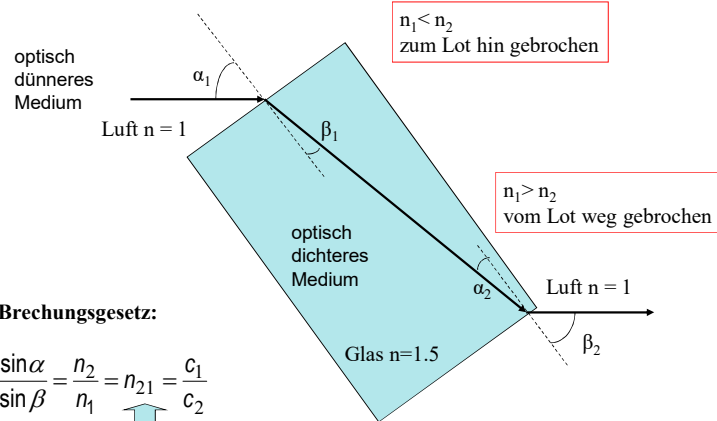
bei 20° C
und 584 nm

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



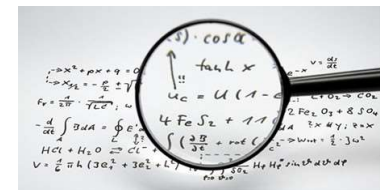
Brechungsgesetz:

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

relative Brechzahl

15

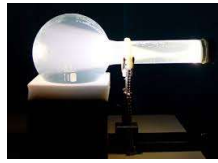
Brechung an gekrümmten Flächen



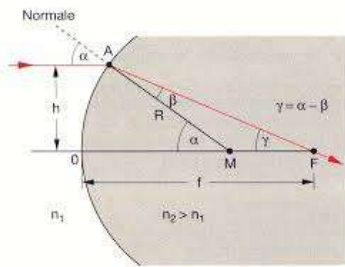
Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

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:

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

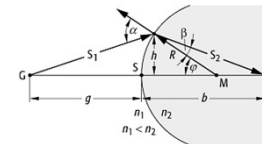
Brechkraft (D)

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

$n_2 - n_1$	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:

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

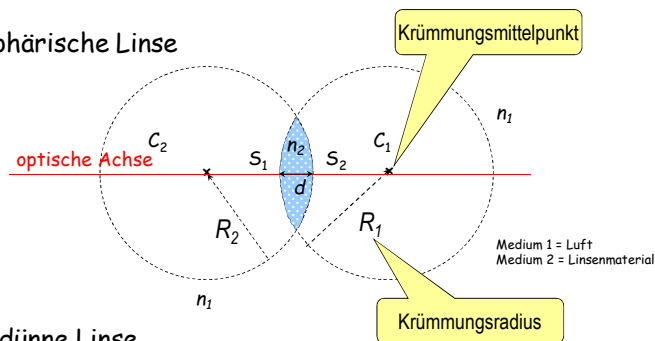
Siehe Praktikum „Optik des Auges“



18

Linsen

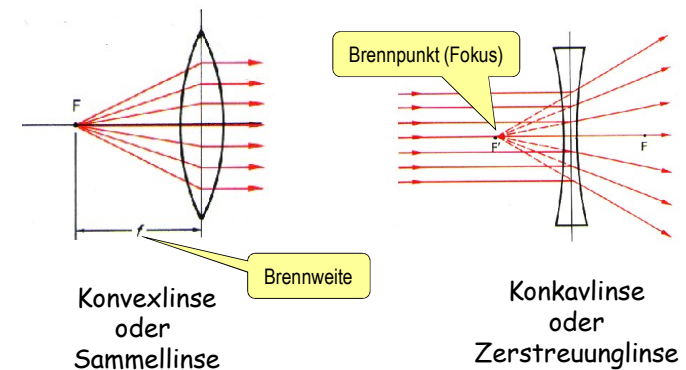
• sphärische Linse



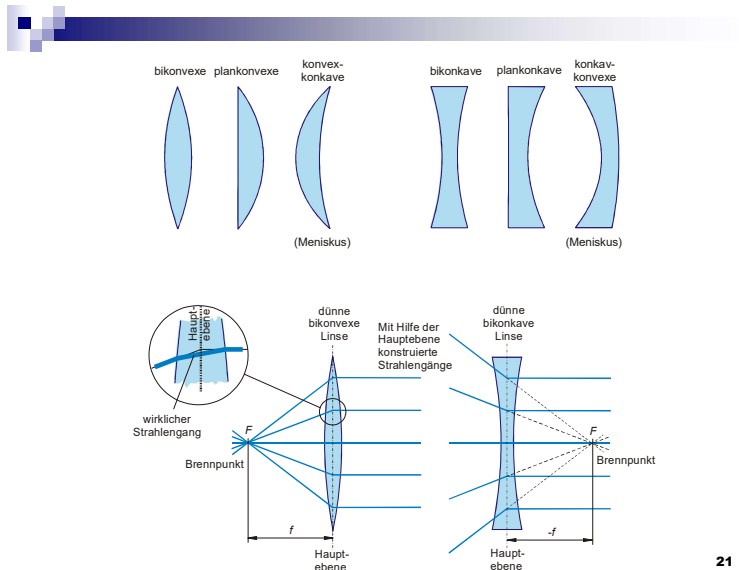
• dünne Linse
 $d \ll R_1 \text{ und } R_2$

19

Linsenarten



20



21

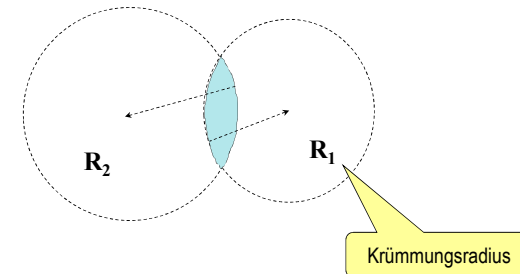
Linsenschleiferformel der dünnen Linsen

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

$$R_1 > 0$$

$$R_2 < 0$$

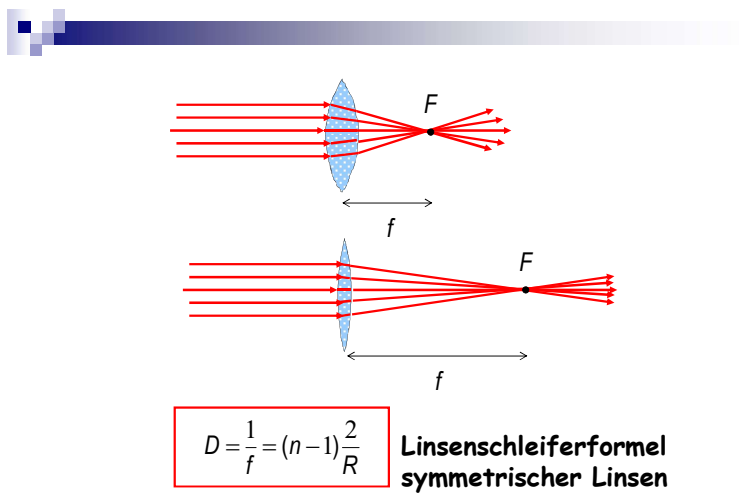
$$-R_2 > 0$$



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

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

22

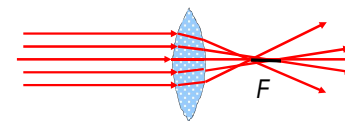


siehe Akkomodation der Augenlinse

23

Linsenfehler

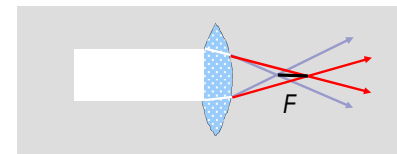
Spärische Aberration – Öffnungsfehler



Ursache: Teilnahme der achsenfernen Strahlen in der Bildentstehung

Ergebnis: eine abweichende Brennweite der nicht paraxialen Strahlen

Chromatische Aberration – Farbabweichung

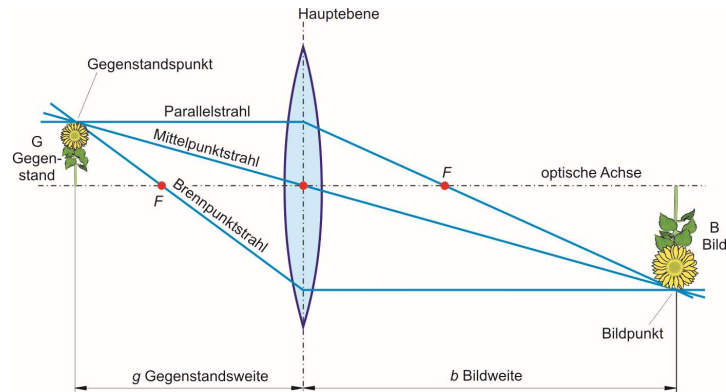


Ursache: Dispersion

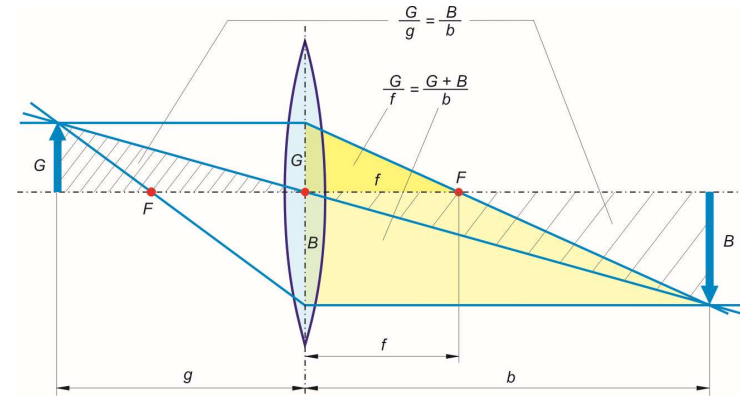
Ergebnis: eine etwas abweichende Brennweite der verschiedenen Farben

24

Abbildung mit Linsen

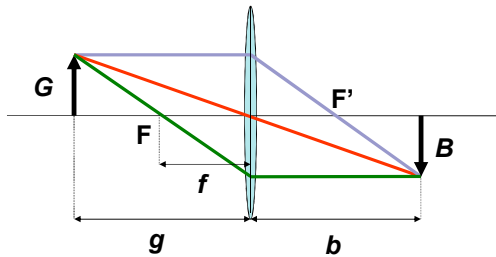


25



26

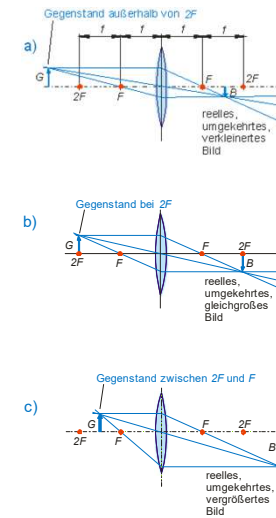
Abbildung durch Sammellinse



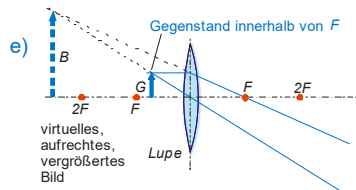
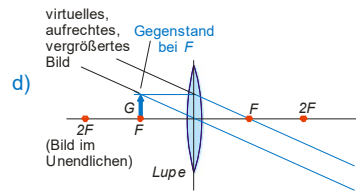
Brechkraft: $D = \frac{1}{f}$ $[D] = \frac{1}{m} = \text{dpt (Dioptrie)}$

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

27



28

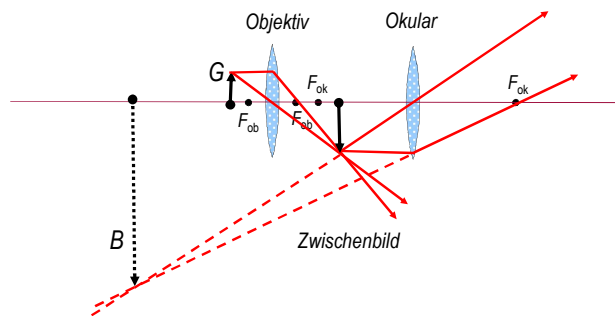


29

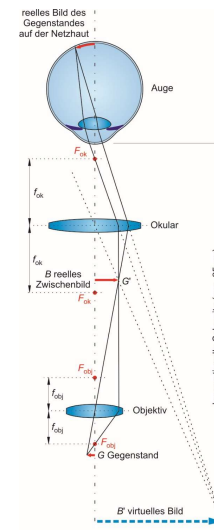
Gegenstand		Bild		
Lage	Lage	Art	Stellung	Größe
$g > 2f$	$f < b < 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	verkleinert $B < G$
$g = 2f$	$b = 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	gleichgroß $B = G$
$f < g < 2f$	$b > 2f$	reell	umgekehrt, seitenvertauscht	vergrößert $B > G$
$g < f$	auf der Gegenstandsseite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

30

Das Lichtmikroskop



31



optische Tubuslänge

deutliche Sehweite (25 cm)

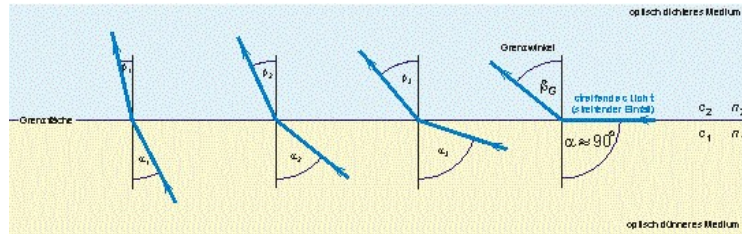
$$V_M = V_{ob} \cdot V_{ok} \approx -\frac{d}{f_{ob}} \cdot \frac{a}{f_{ok}}$$

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

siehe Wellenoptik

32

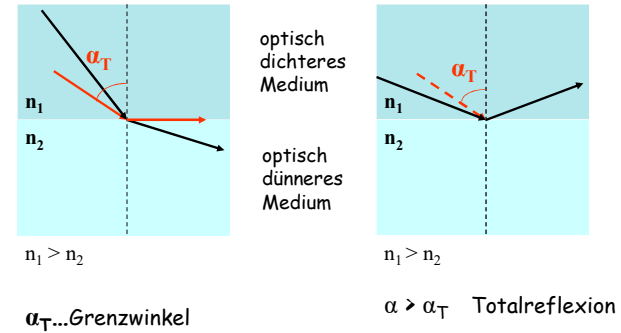
Totalreflexion



siehe Refraktometer

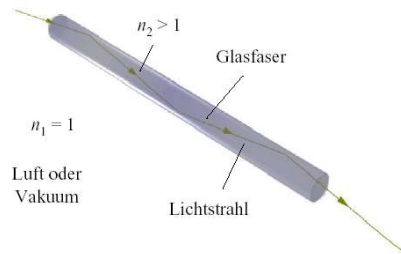
33

Totalreflexion



34

Totalreflexion

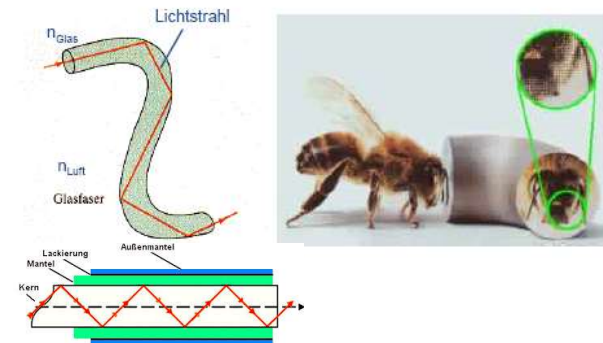


Anwendung:

- Lichtleiter – Endoskopie
- Faseroptik – optische Informationsübertragung

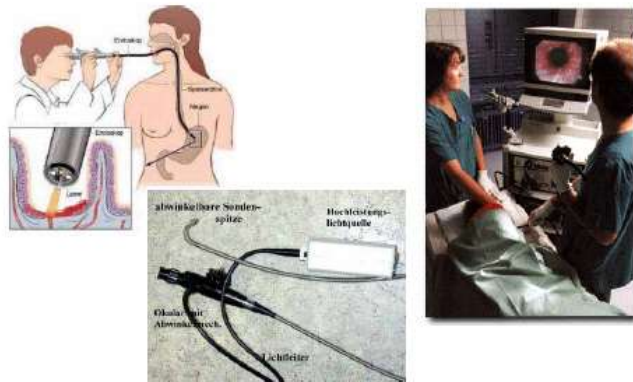
35

Totalreflexion & Endoskopie



36

Totalreflexion & Endoskopie



37

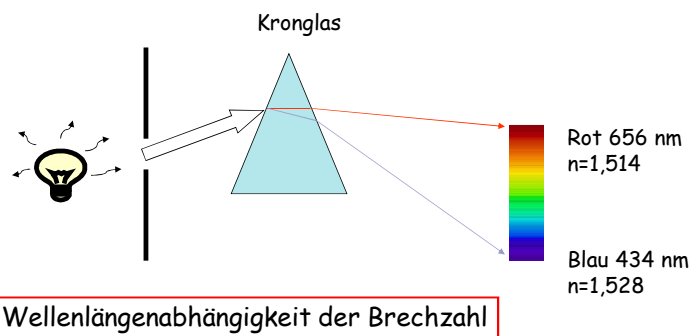
Dispersion und Prisma



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

38

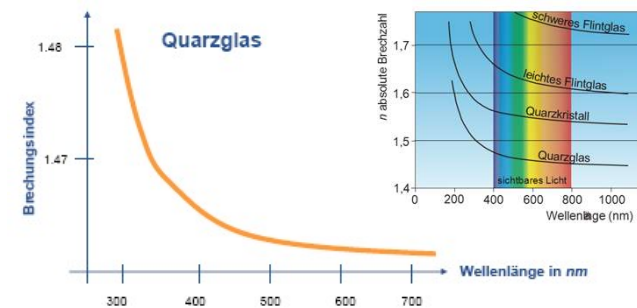
Dispersion und Prisma



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