

# Optik



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

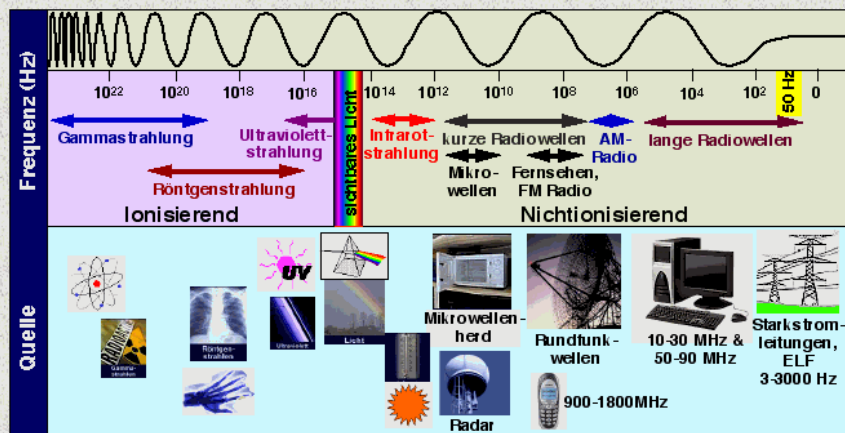
1

# Optik

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

2

## Elektromagnetisches Spektrum



# Optik

## 1. „Geometrische Optik“ (optische Geräte)

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

## 2. „Wellenoptik“

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

## 3. „Quantenoptik“

- Teilchencharakter des Lichts  $\rightarrow$  Photon

4

# Licht

## Eigenschaften des Lichts

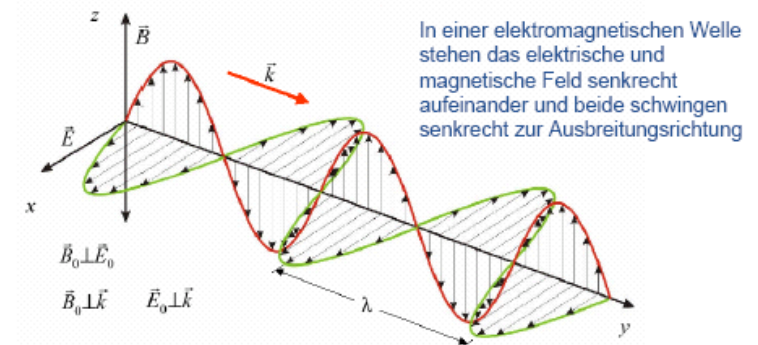
- Antikes Modell: Sehstrahlen, vom Auge ausgehend, tasten die Gegenstände ab
- Heute: Teilchen- und Wellenmodell

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

5

# Licht

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



6

# Licht

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

Im Vakuum ist die Geschwindigkeit für alle elektromagnetischen Wellen gleich:

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

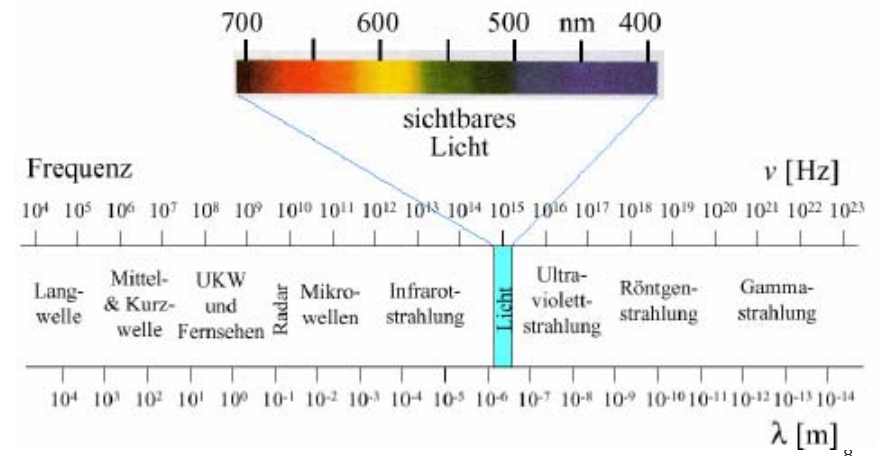
Olaf Römer - 1676: Verfinsterungen des Jupitermondes Io  
 $c \approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Bradley - 1727: Aberration des Sternenlichtes

7

# Licht

Licht als elektromagnetische Welle



8

## Geometrische Optik

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

$$D \gg \lambda$$

9

## Das Modell „Lichtstrahl“

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

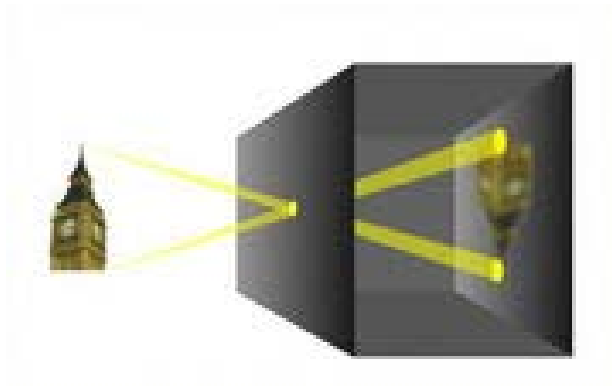
## Fermatsches Prinzip

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

10

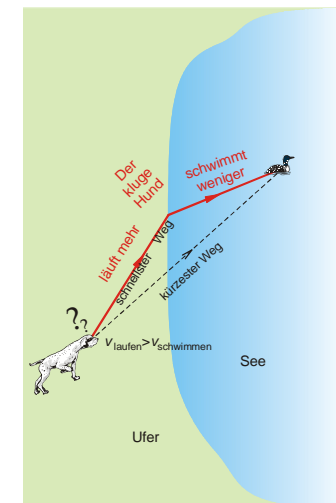
## Geradlinige Ausbreitung

Lochkamera - Camera Obscura



11

## Das Fermatsche Prinzip

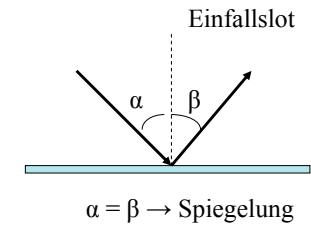
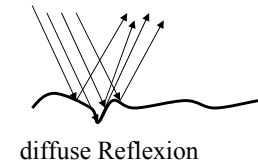


## Reflexion und Brechung

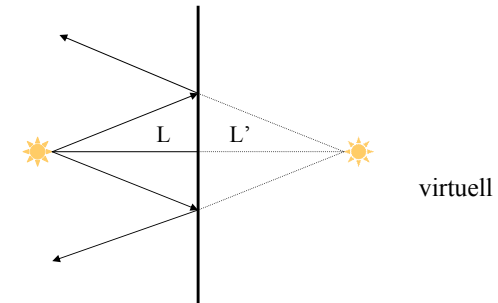


13

## Reflexion des Lichtes

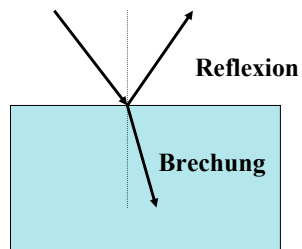


das Bild am  
ebenen Spiegel



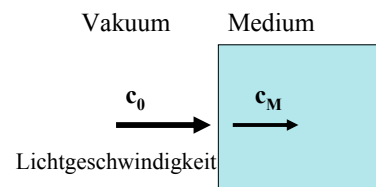
14

## Brechzahl



bei 20° C  
und 584 nm

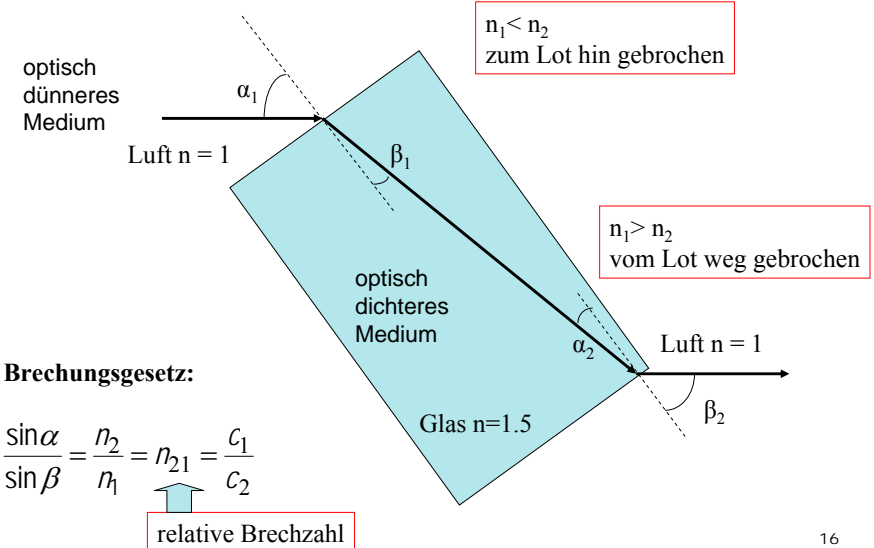
Material	$n$
Vakuum	1
Luft (1 atm)	1,00027
Wasser	1,333
Augenlinse	$\approx 1,34$
Ethylalkohol	1,361
Quarzglas	1,459
Flintglas	1,613
Diamant	2,417



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

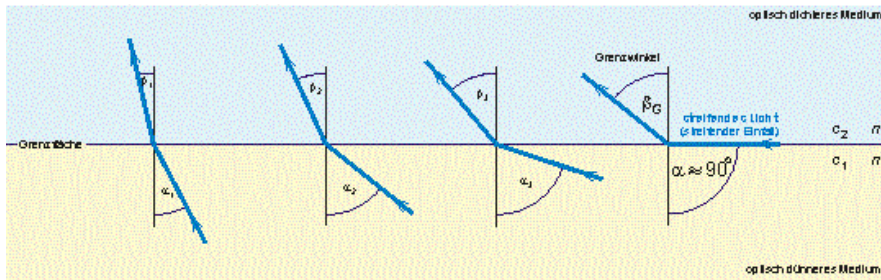
15

## Brechung



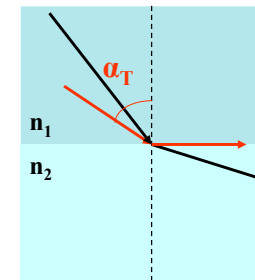
16

## Totalreflexion



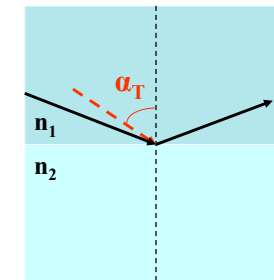
17

## Totalreflexion



$$n_1 > n_2$$

$\alpha_T$ ... Grenzwinkel

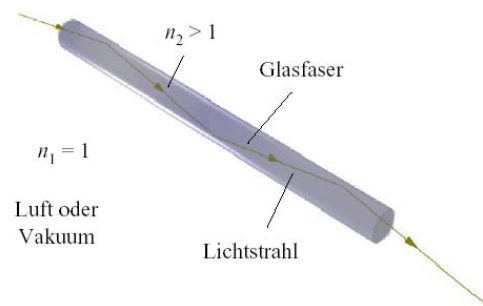
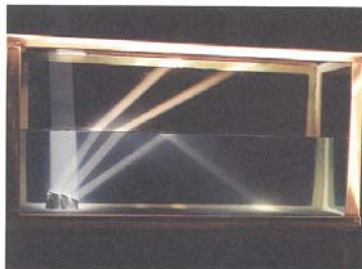


$$n_1 > n_2$$

$\alpha > \alpha_T$  Totalreflexion

18

## Totalreflexion

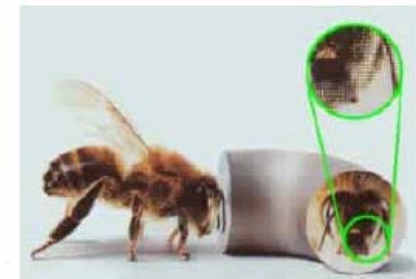
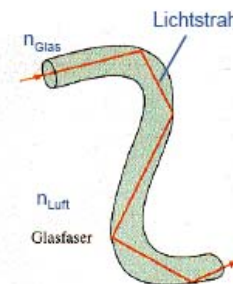


### Anwendung:

- Lichtleiter – Endoskopie
- Faseroptik – optische Informationsübertragung

19

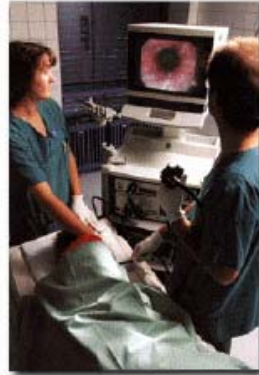
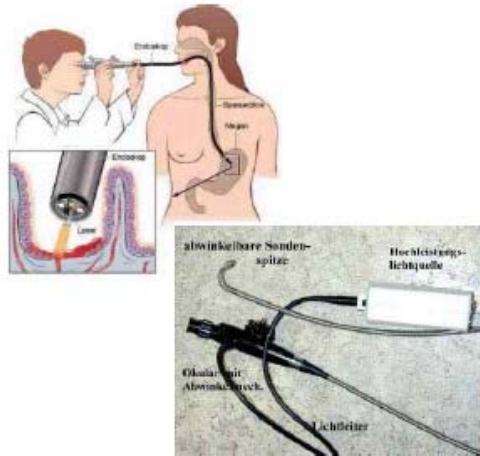
## Totalreflexion & Endoskopie



Optische Nachrichtenübertragung

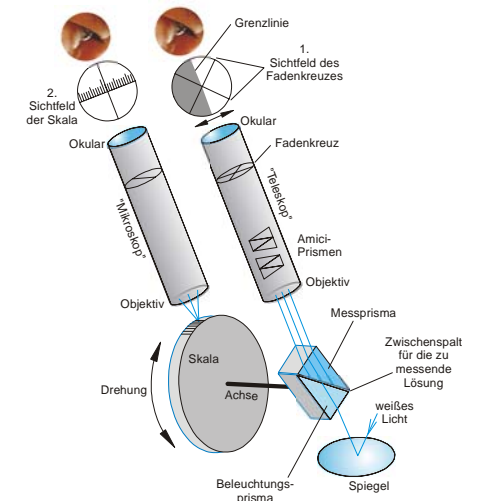
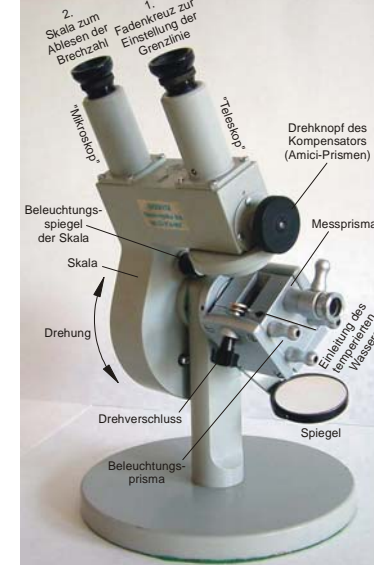
20

## Totalreflexion & Endoskopie



21

## Totalreflexion & Refraktometer



22

## Dispersion und Prisma

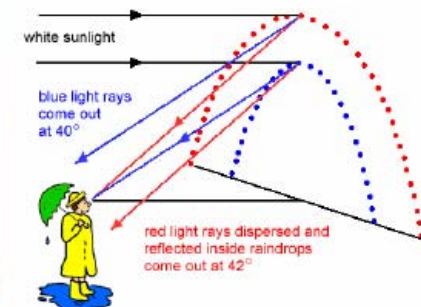


Weißes Licht wird zerlegt  
Kurzwelliges Licht (violett) wird stärker gebrochen als langwelliges (rot)

23

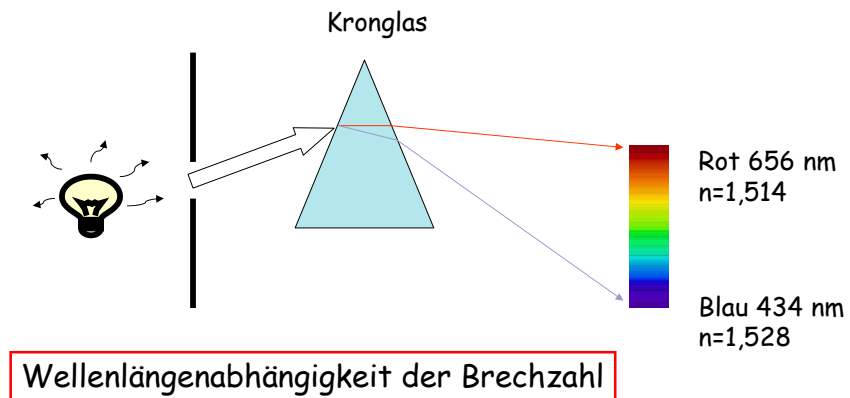
## Dispersion und Regenbogen

Der Brechungsindex von Wassertropfen ist wellenlängenabhängig.  
→ Farben unter verschiedenen Winkeln.



24

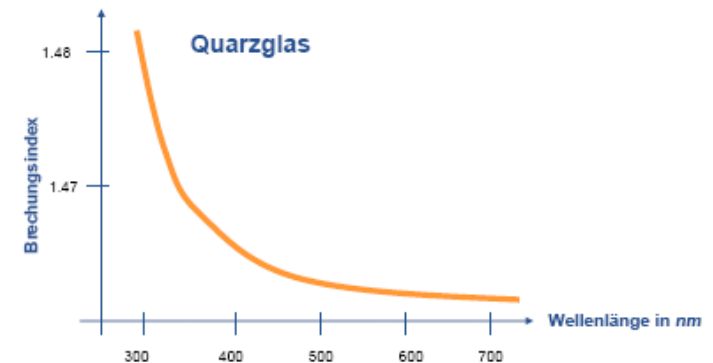
## Dispersion und Prisma



25

## Dispersion

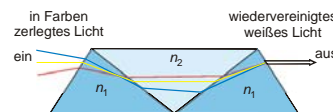
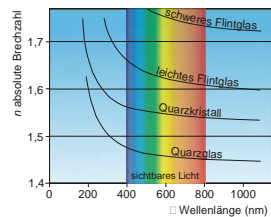
Der Brechungsindex ist für alle Gläser wellenlängenabhängig, d.h.  $n = n(\lambda)$ . Für die meisten Gläser nimmt  $n$  mit abnehmender Wellenlänge zu, d.h. **BLAU** wird stärker gebrochen als **ROT** (normale Dispersion)



26

## 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)



27

## Brechung an gekrümmten Flächen

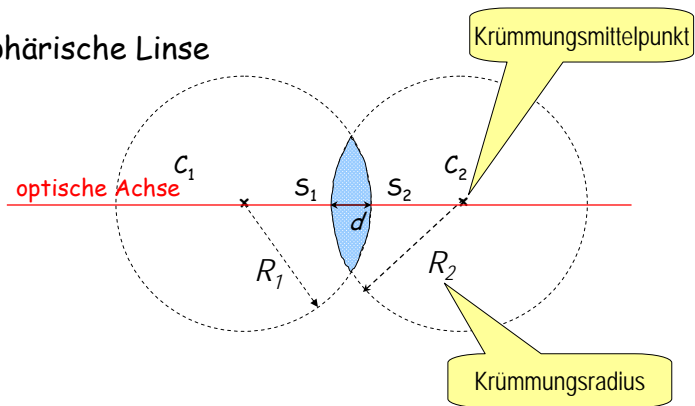
### Dünne Linsen

Kombination zweier gekrümmter brechender Flächen  
Abstand der Scheitelpunkte  $d \ll$  Krümmungsradien  $R_1$  und  $R_2$

28

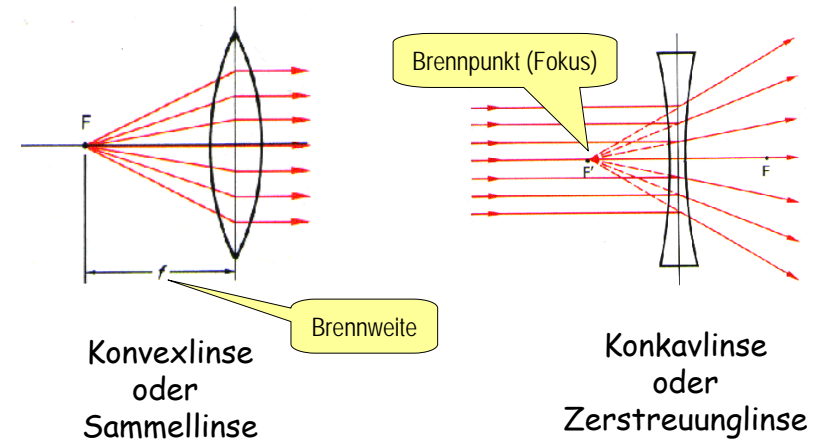
# Dünne Linsen

• sphärische Linse

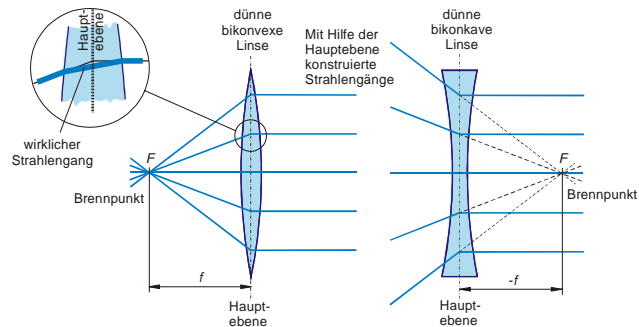
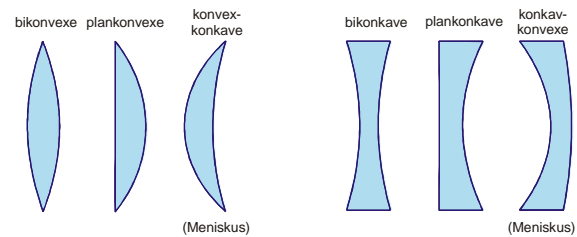


29

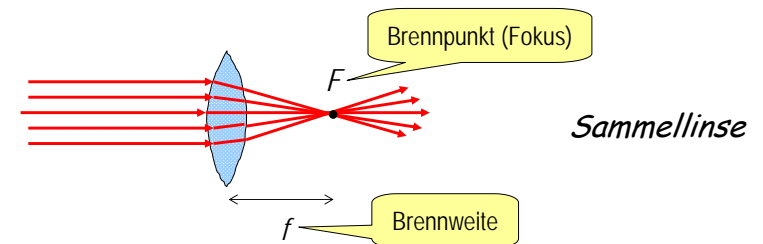
# Linsearten



30



31

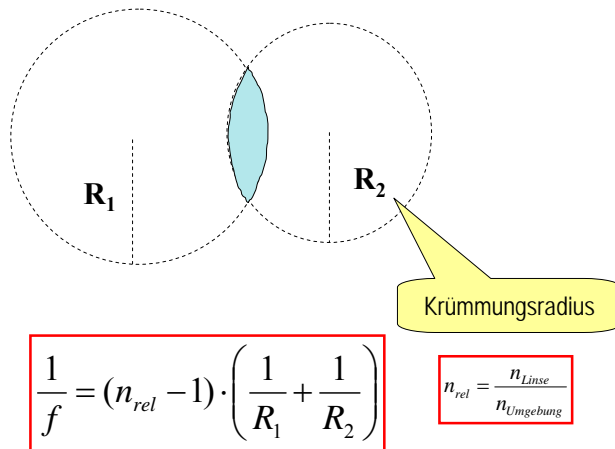


Brechkraft (D):

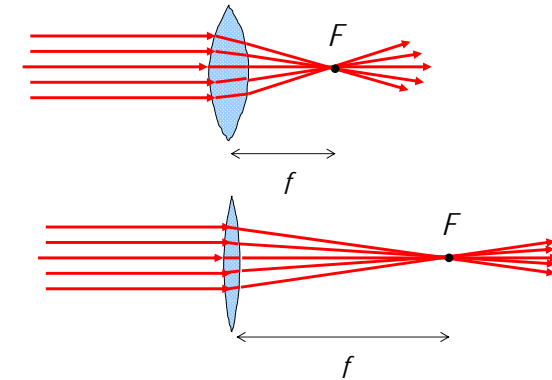
$$D = \frac{1}{f} \quad [D] = \frac{1}{m} = \text{dpt (Dioptrie)}$$

32

# Linsenschleiferformel der dünnen Linsen



33



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

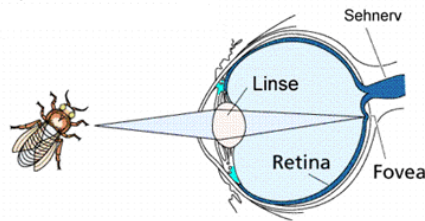
**Linsenschleiferformel  
symmetrischer Linsen**

s. Akkomodation d. Augenlinse =>

34

## Nahsicht (Akkommodation)

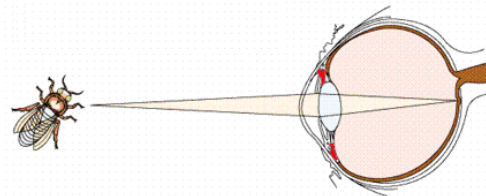
Der Ciliarmuskel kontrahiert sich,  
als Folge wölbt sich die Linse



$$R_1 \text{ und } R_2 \downarrow \\ f \downarrow \Rightarrow D \uparrow$$

## Fernsicht

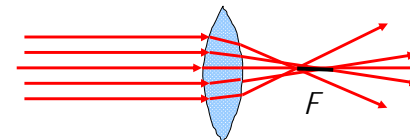
Der Ciliarmuskel entspannt sich,  
die Zonulafasern ziehen die Linse in eine abgeflachte Form



$$R_1 \text{ und } R_2 \uparrow \\ f \uparrow \Rightarrow D \downarrow$$

# Linsenfehler

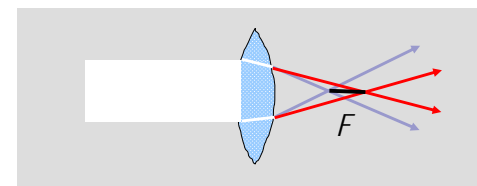
## Spärische Aberration – Öffnungsfehler



Ursache: Teilnahme der  
achsenfernen Strahlen in der  
Bildentstehung

Ergebnis: eine abweichende  
Brennweite der nicht paraxialen  
Strahlen

## Chromatische Aberration – Farbabweichung

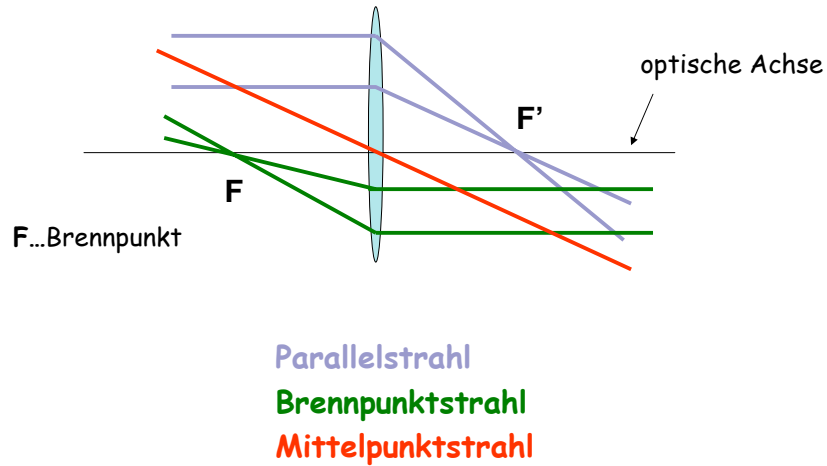


Ursache: Dispersion

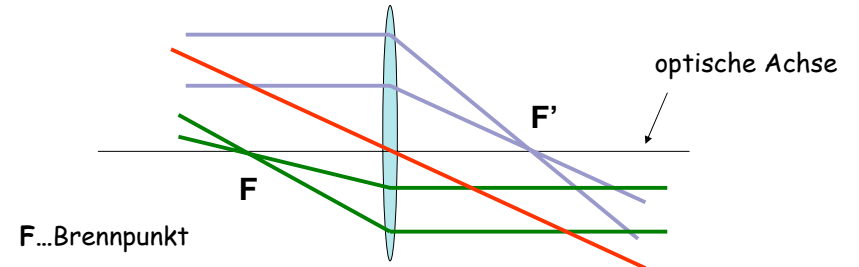
Ergebnis: eine etwas  
abweichende Brennweite der  
verschiedenen Farben

36

## Abbildung mit Linsen



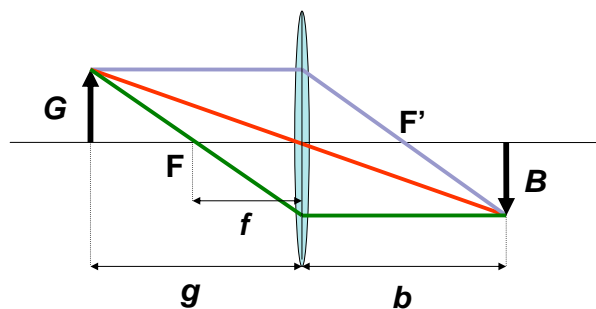
37



- Strahlen, die die Linse auf der optischen Achse schneiden, werden nicht abgelenkt
- achsenparallele Strahlen werden im Brennpunkt fokussiert
- Strahlen aus dem Brennpunkt werden zu achsenparallelen Strahlen

38

## Abbildung durch Sammellinse



f...Brennweite

g...Gegenstandsweite

b...Bildweite

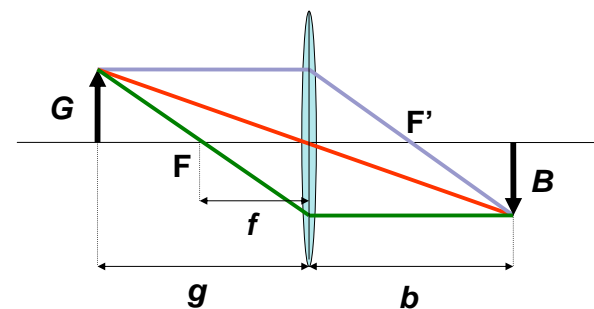
F...Brennpunkt

G...Gegenstandsgröße

B...Bildgröße

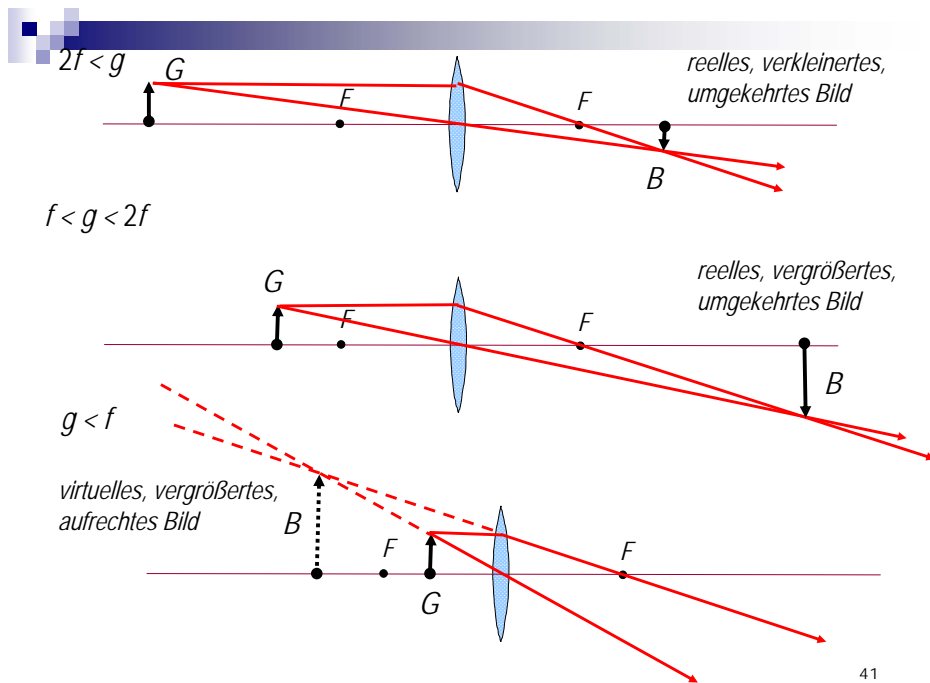
39

## Abbildung durch Sammellinse



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

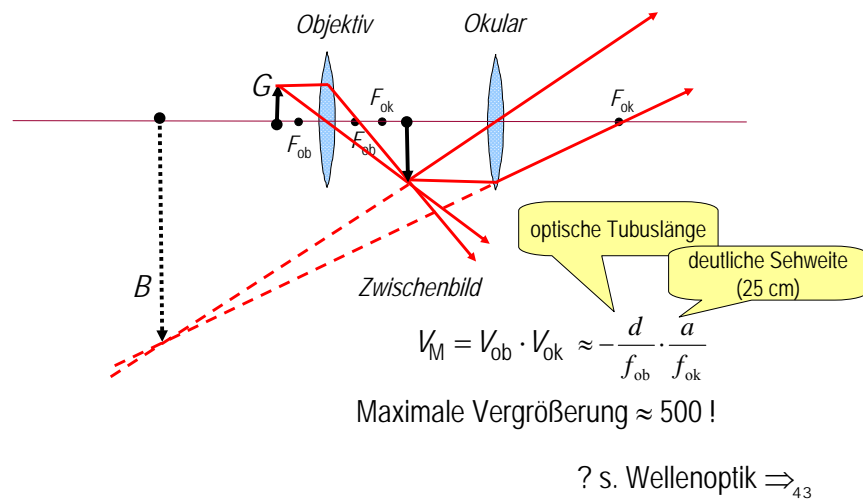
Abbildungsgleichung:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$  Abbildungsmaßstab:  $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$



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

42

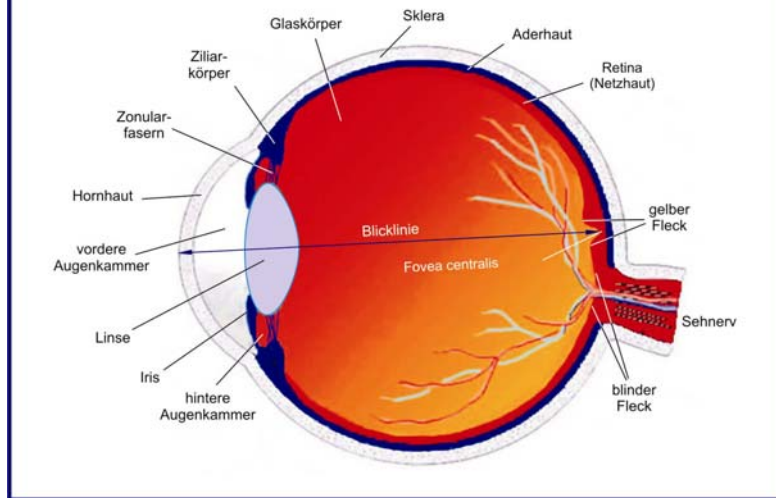
## Das Lichtmikroskop



## Optik des Auges



## AUFBAU DES AUGES



## Brechkraft des menschlichen Auges

$$D = \frac{n' - n}{R}$$

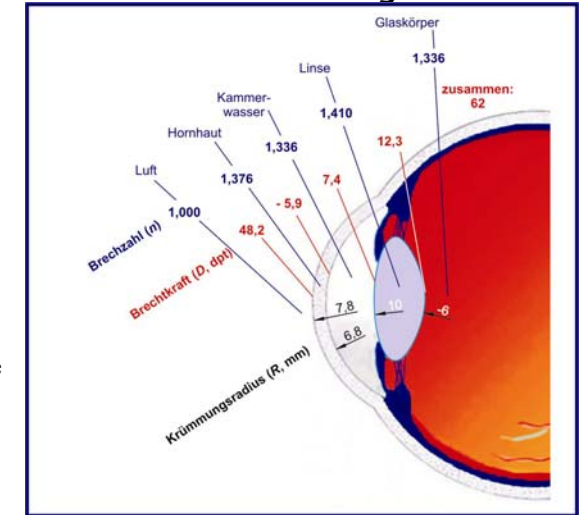
$D$  : Brechkraft (dpt)

$n$  : Brechzahl des 1. Mediums

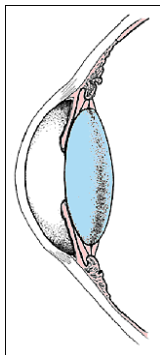
$n'$  : Brechzahl des 2. Mediums

$R$  : Krümmungsradius (m)

+ für konvexe Fläche  
- für konkave Fläche

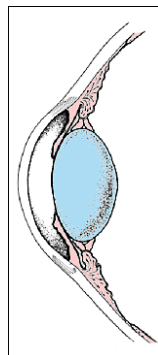
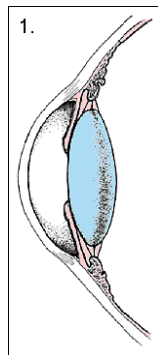


## Akkommodation



Ferneinstellung

Fernpunkt:  $g_r$



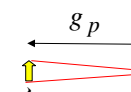
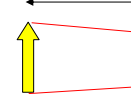
Naheinstellung

Nahpunkt:  $g_p$



Fernpunkt

## Akkommodationsbreite ( $\Delta D$ )



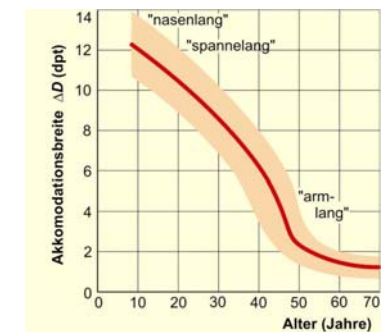
Nahpunkt

$$D_r = \frac{n}{g_r} + \frac{n'}{b}$$

$$D_p = \frac{n}{g_p} + \frac{n'}{b}$$

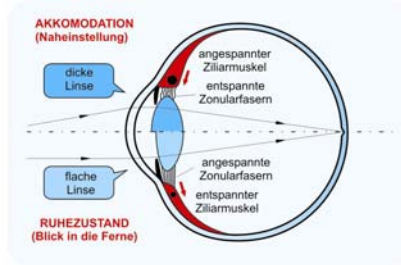
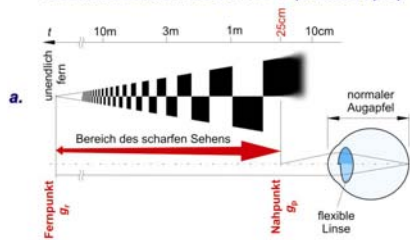
$$\Delta D = D_p - D_r = \frac{1}{g_p} - \frac{1}{g_r}$$

$$\text{Z.B. } \left. \begin{array}{l} g_r = \infty \\ g_p = 0,07 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta D \approx 14 \text{ dptr}$$

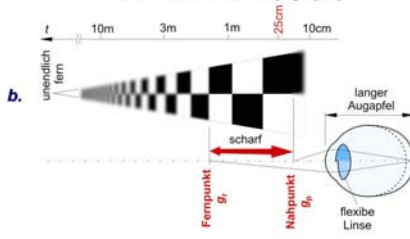


## Einige Augenfehler (Kurzichtigkeit)

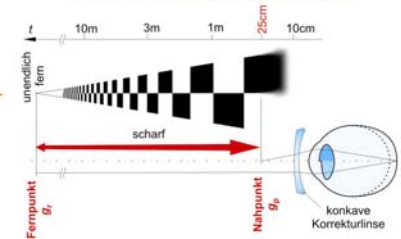
### NORMALSCHICHTIGES AUGE (Emmetropie)



### KURZSICHTIGKEIT (Myopie)

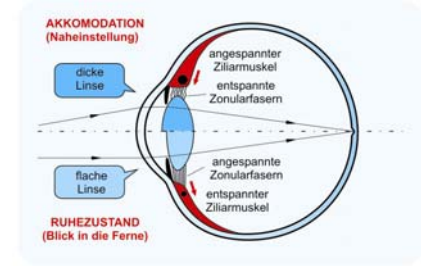
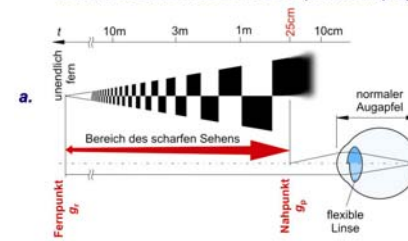


### KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT

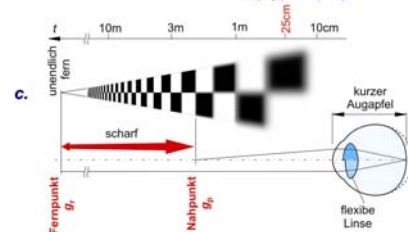


## Einige Augenfehler (Übersichtigkeit)

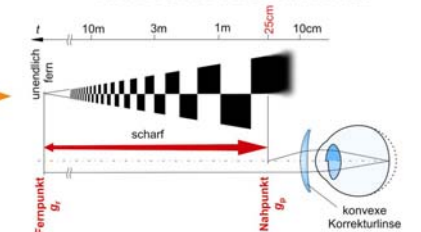
### NORMALSCHICHTIGES AUGE (Emmetropie)



### ÜBERSICHTIGKEIT (hyperopie)

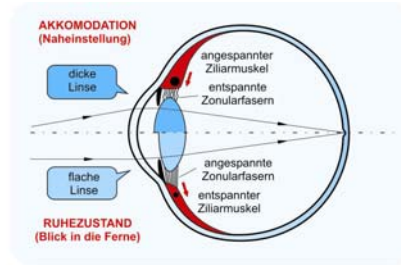
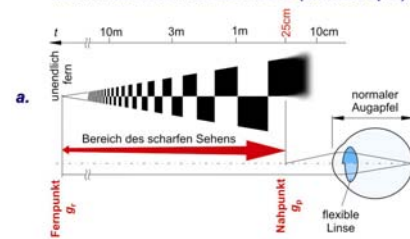


### KORRIGIERTE ÜBERSICHTIGKEIT

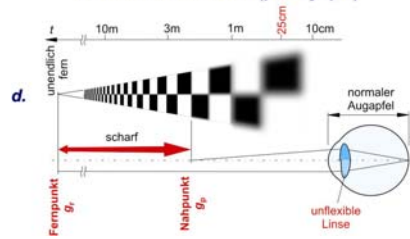


## Einige Augenfehler (Alterssichtigkeit)

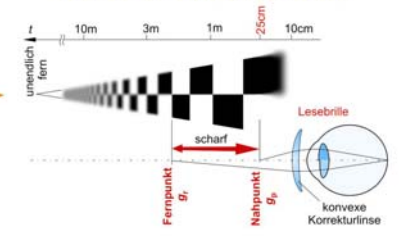
### NORMALSCHICHTIGES AUGE (Emmetropie)



### ALTERSSICHTIGKEIT (presbyopie)

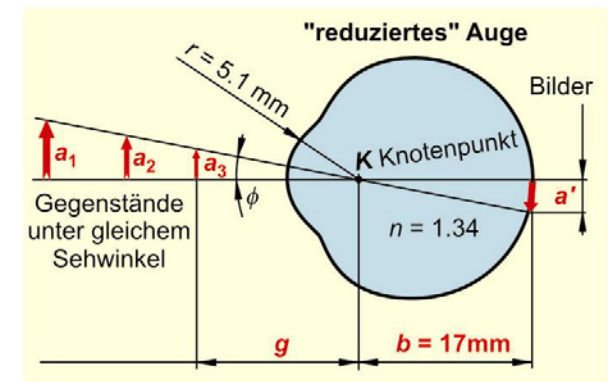


### KORRIGIERTE ALTERSSICHTIGKEIT



## Bildentstehung

Modell:  
reduziertes Auge

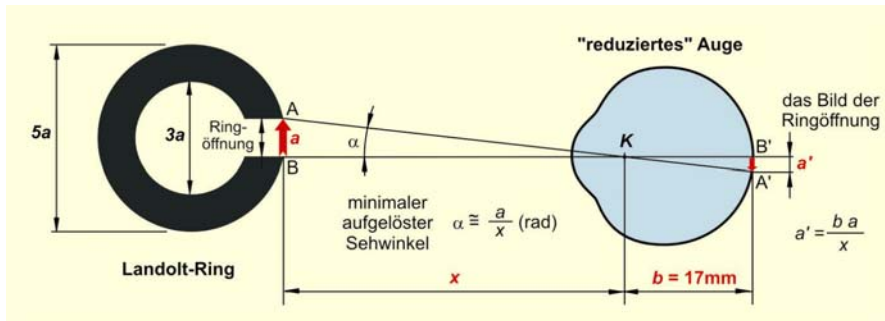


Das Bild ist:

- reell,
- verkleinert,
- und umgekehrt.

$$D = 67 \text{ dpt}$$

## Sehschärfe (Auflösungsvermögen)



Minimaler aufgelöster Sehwinkel ( $\alpha$ ):

$$\alpha \cong \frac{a}{x} \text{ (rad)} \quad \alpha (^{\circ}) = \frac{a}{x} \text{ (rad)} \cdot \frac{360(^{\circ})}{2\pi \text{ (rad)}} \cdot 60 \left( \frac{'}{^{\circ}} \right)$$

Sehschärfe (Visus):

$$\text{visus} = \frac{1(^{'})}{\alpha (^{'})} (\cdot 100 \%)$$

Beim normalen Sehen beträgt  $\alpha$  im Durchschnitt  $1'$ , die Sehschärfe 100 %.