

Optik



Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

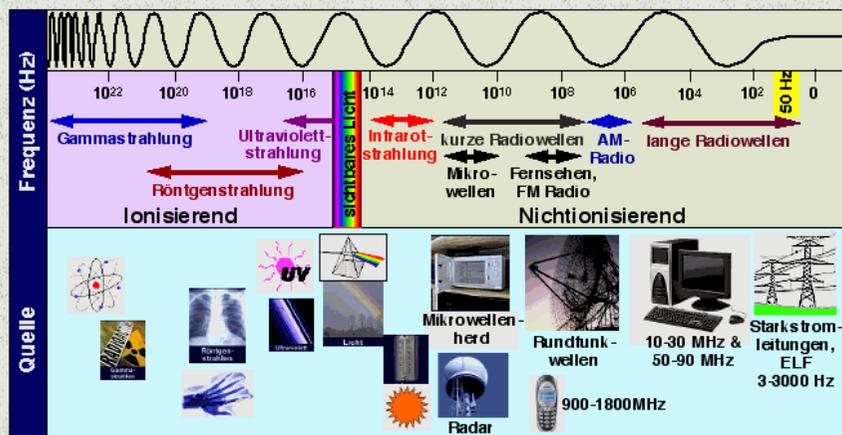
1

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 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

4

Licht

Eigenschaften des Lichts

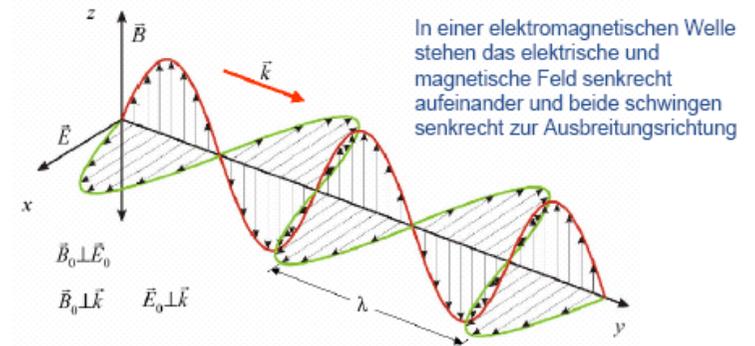
- Antikes Modell: Sehstrahlen, vom Auge ausgehend, tasten die Gegenstände ab
- Heute: Teilchen- und Wellenmodell

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:

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

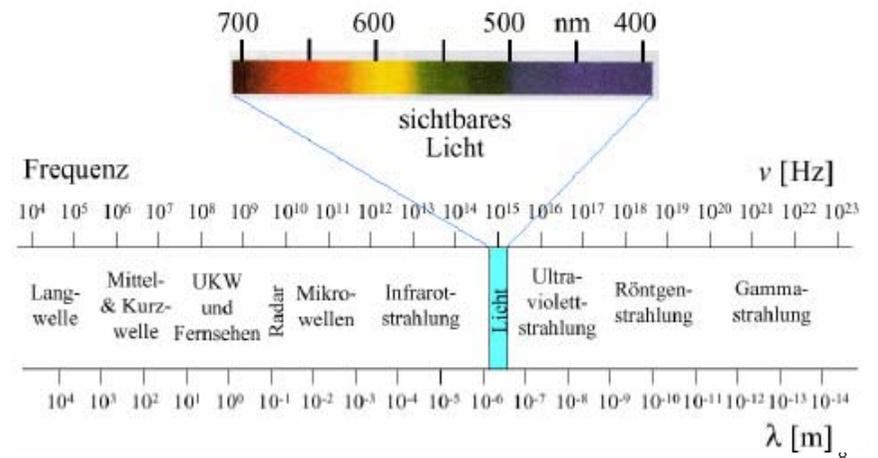
Olaf Römer - 1676: Verfinsterungen des Jupitermondes Io
 $c \approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

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 λ des Lichts

$$D \gg \lambda$$

9

Das Modell „Lichtstrahl“

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

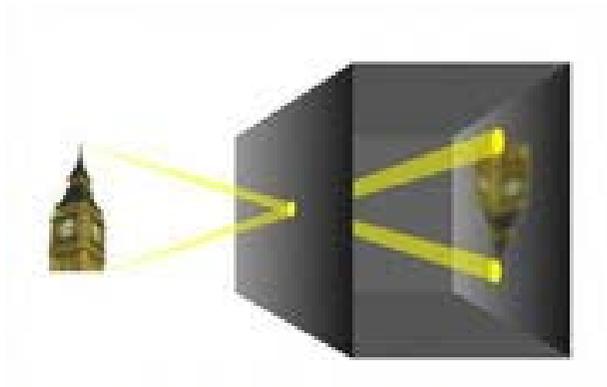
Fermatsches Prinzip

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

10

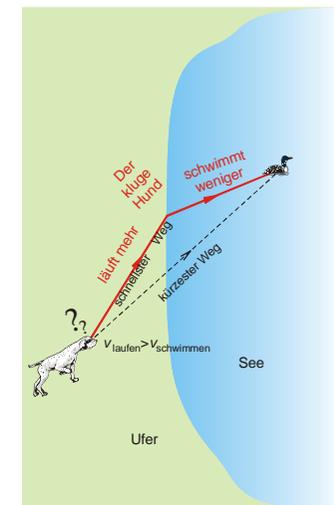
Geradlinige Ausbreitung

Lochkamera - Camera Obscura



11

Das Fermatsche Prinzip



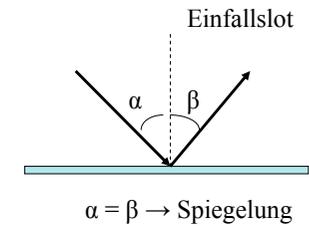
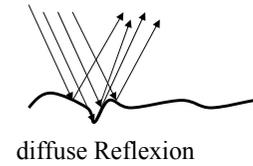
12

Reflexion und Brechung

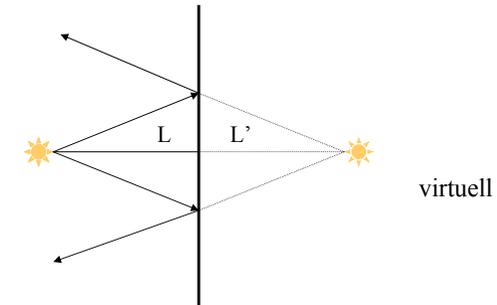


13

Reflexion des Lichtes

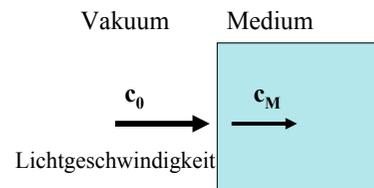
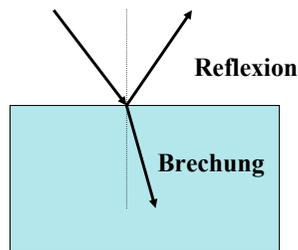


das Bild am
ebenen Spiegel



14

Brechzahl



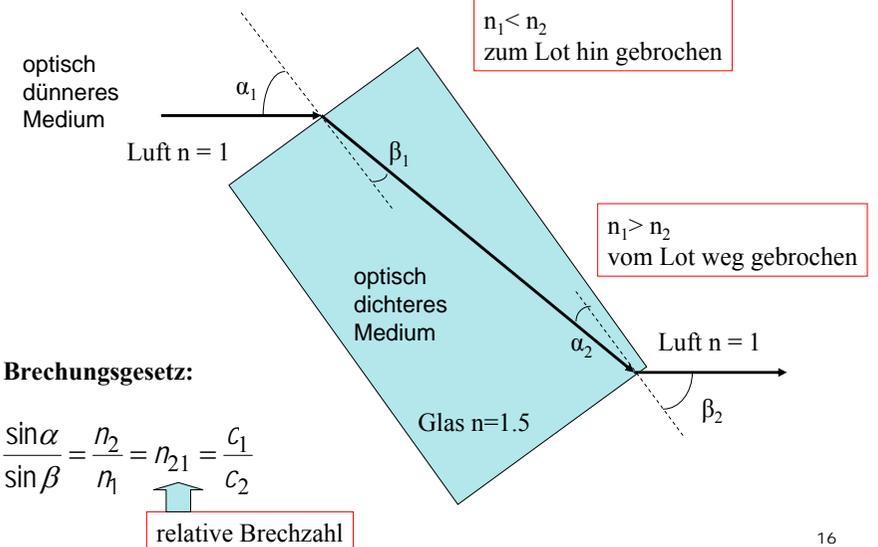
absolute Brechzahl: $n = \frac{c_0}{c_M} \geq 1$

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

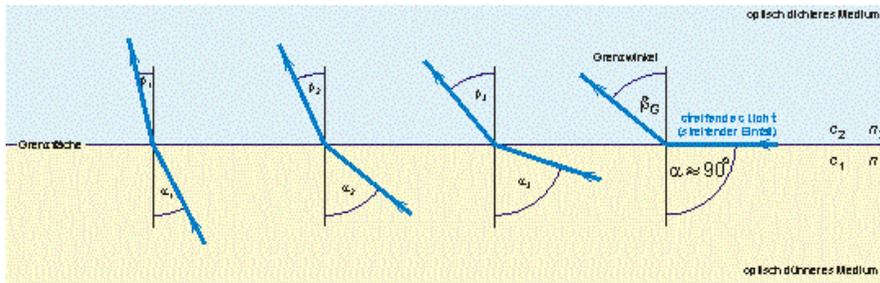
15

Brechung

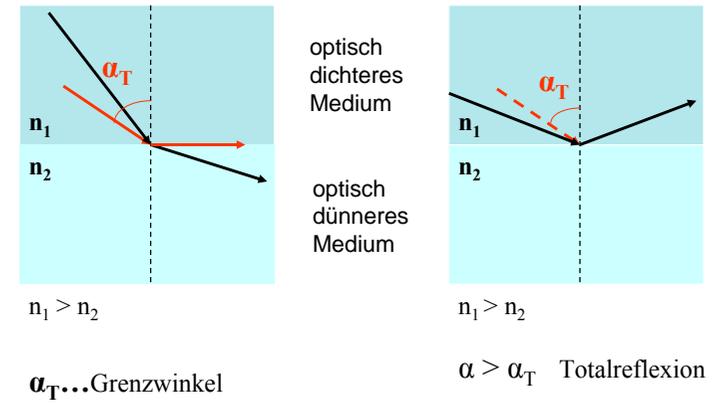


16

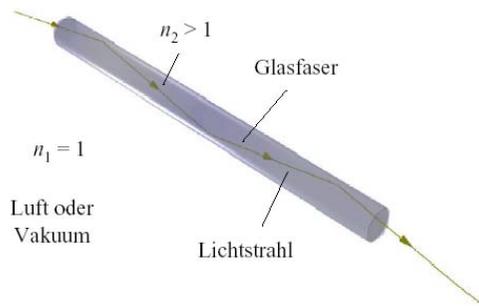
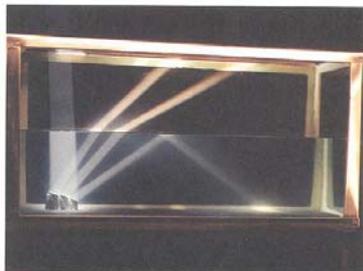
Totalreflexion



Totalreflexion



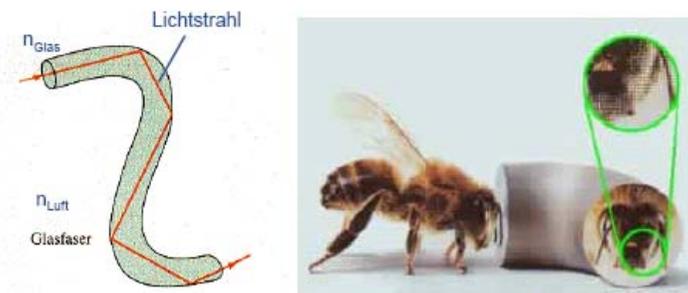
Totalreflexion



Anwendung:

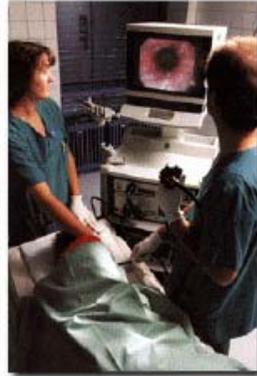
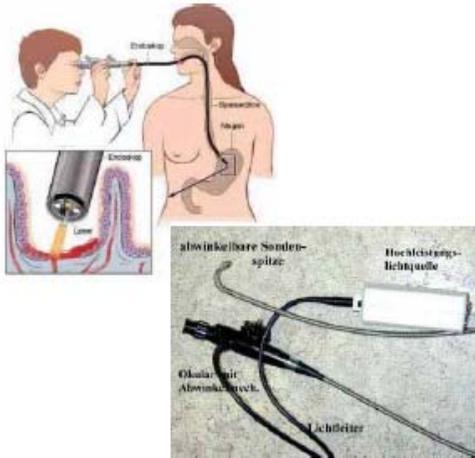
- Lichtleiter – Endoskopie
- Faseroptik – optische Informationsübertragung

Totalreflexion & Endoskopie



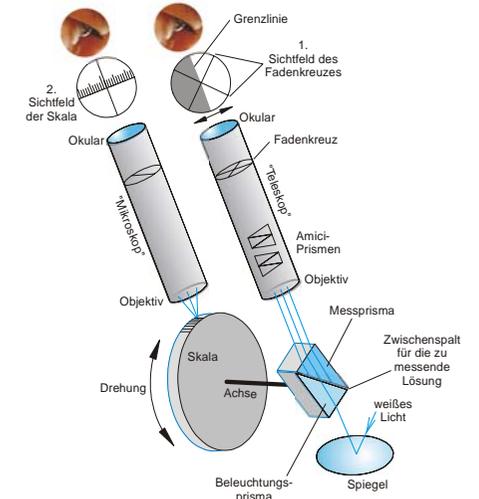
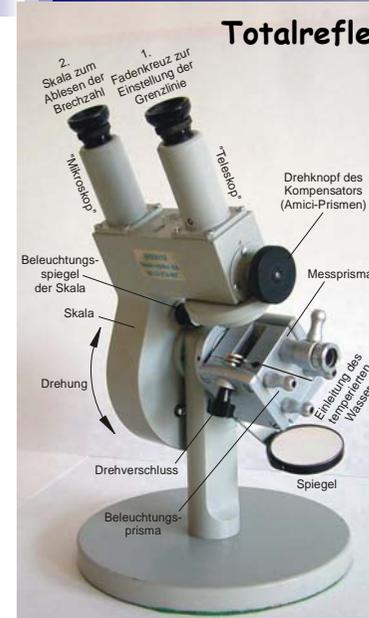
Optische Nachrichtenübertragung

Totalreflexion & Endoskopie



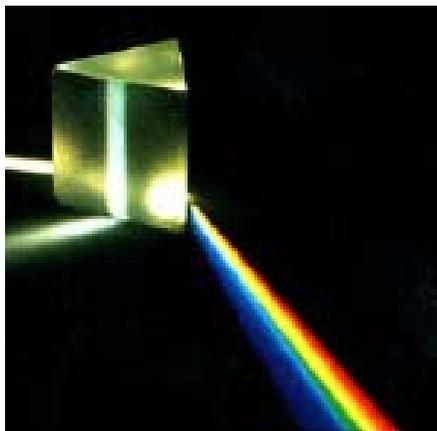
21

Totalreflexion & Refraktometer



22

Dispersion und Prisma

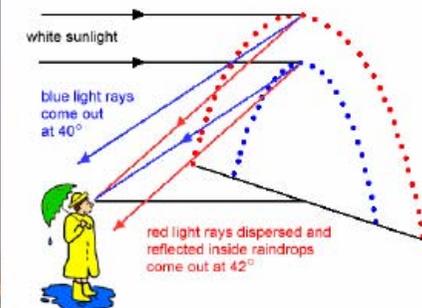


Weißes Licht wird zerlegt
Kurzwelliges Licht (violett) wird stärker gebrochen als langwelliges (rot)

23

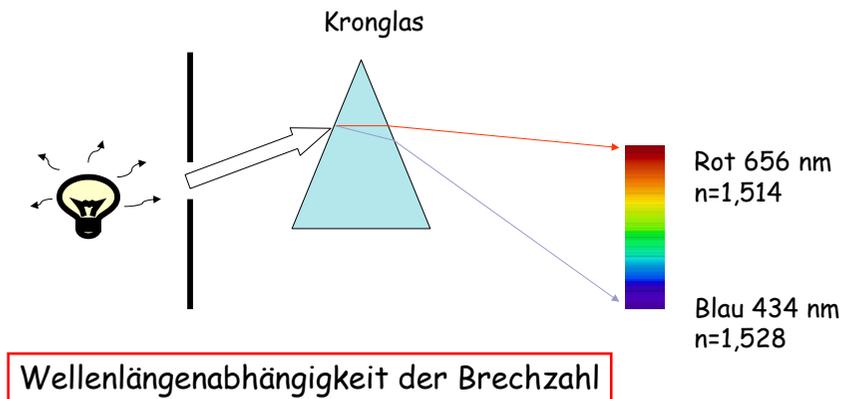
Dispersion und Regenbogen

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



24

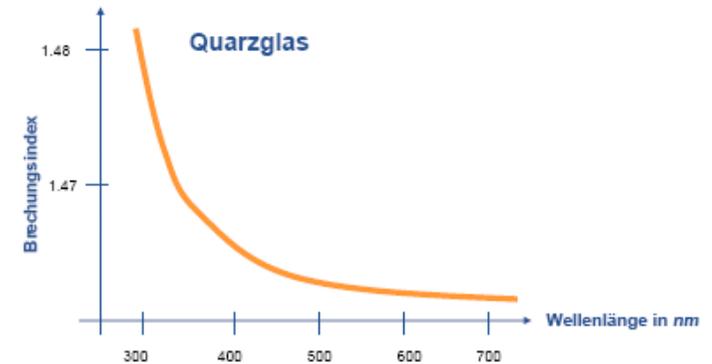
Dispersion und Prisma



25

Dispersion

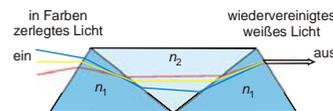
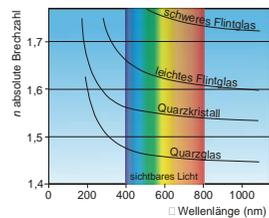
Der Brechungsindex ist für alle Gläser wellenlängenabhängig, d.h. $n = n(\lambda)$. Für die meisten Gläser nimmt n mit abnehmender Wellenlänge zu, d.h. **BLAU** wird stärker gebrochen als **ROT** (normale Dispersion)



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

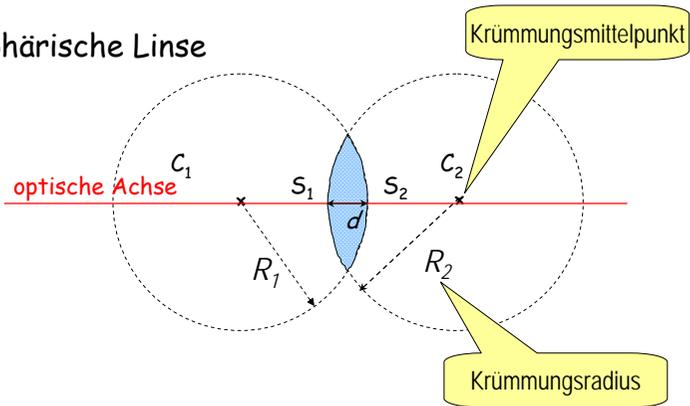
Dünne Linsen

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

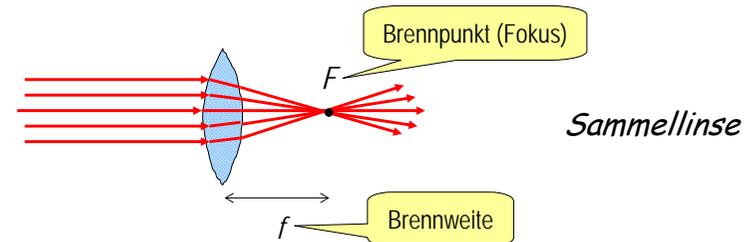
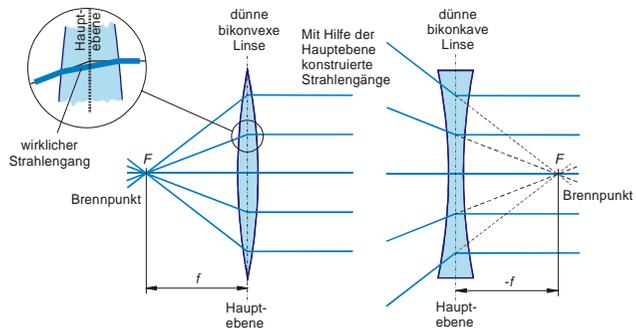
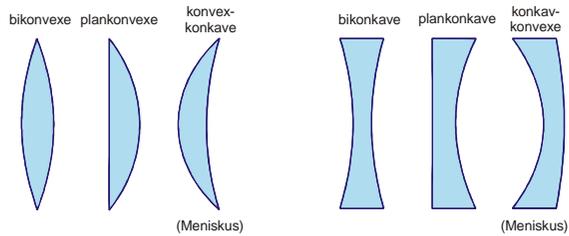
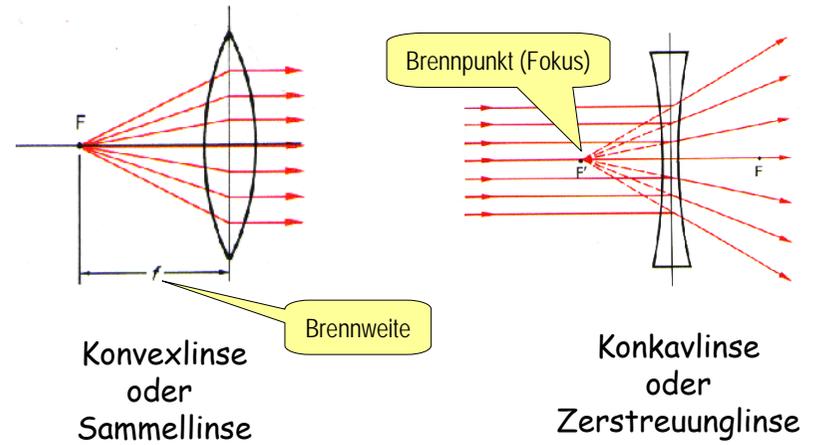
28

Dünne Linsen

• sphärische Linse

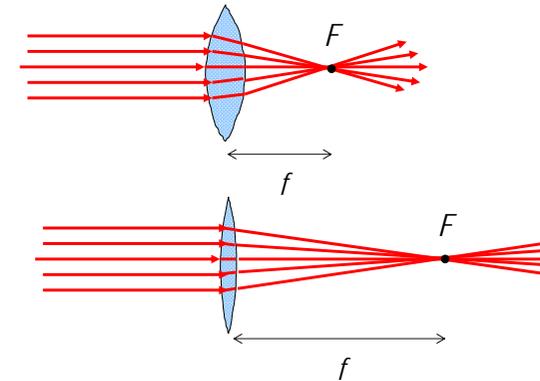
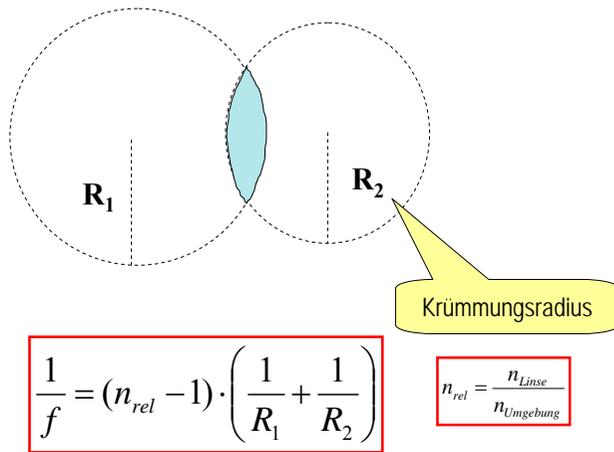


Linsearten



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

Linsenschleiferformel der dünnen Linsen



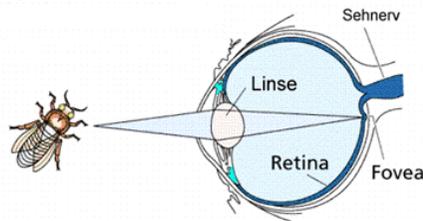
$$D = \frac{1}{f} = (n-1) \frac{2}{R}$$

Linsenschleiferformel symmetrischer Linsen

s. Akkomodation d. Augenlinse ⇒

Nahsicht (Akkomodation)

Der Ciliarmuskel kontrahiert sich, als Folge wölbt sich die Linse

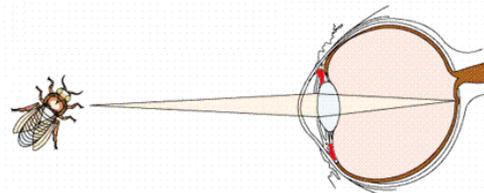


$$R_1 \text{ und } R_2 \downarrow$$

$$f \downarrow \Rightarrow D \uparrow$$

Fernsicht

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

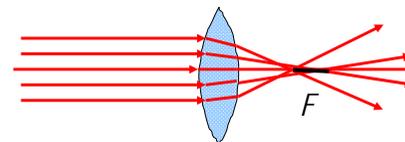


$$R_1 \text{ und } R_2 \uparrow$$

$$f \uparrow \Rightarrow D \downarrow$$

Linsenfehler

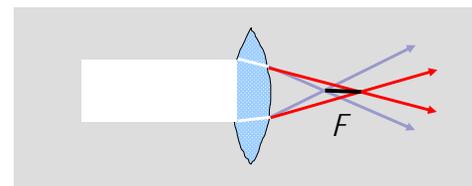
Spärische Aberration – Öffnungsfehler



Ursache: Teilnahme der achsenfernen Strahlen in der Bildentstehung

Ergebnis: eine abweichende Brennweite der nicht paraxialen Strahlen

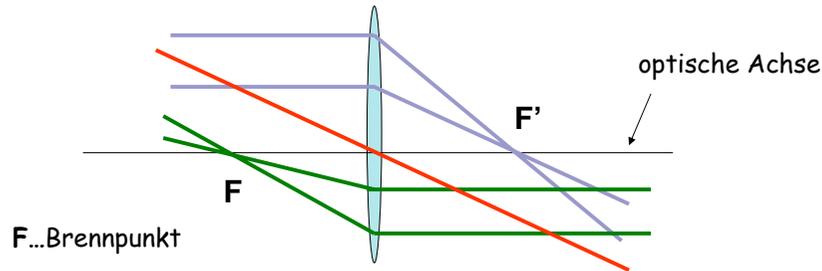
Chromatische Aberration – Farbabweichung



Ursache: Dispersion

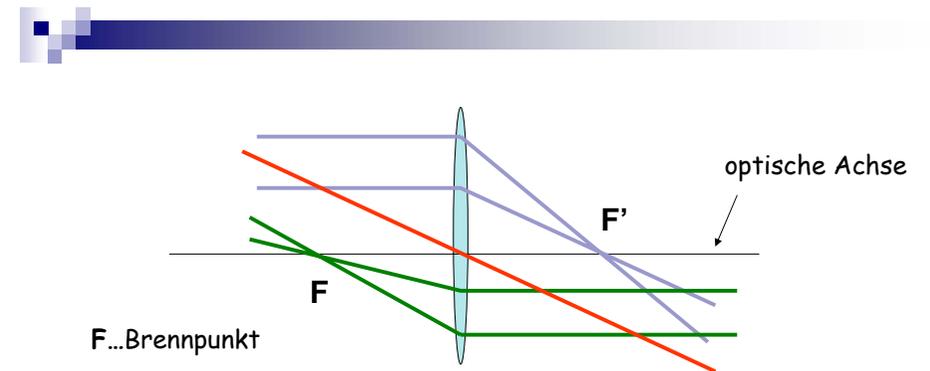
Ergebnis: eine etwas abweichende Brennweite der verschiedenen Farben

Abbildung mit Linsen



Parallelstrahl
 Brennpunktstrahl
 Mittelpunktstrahl

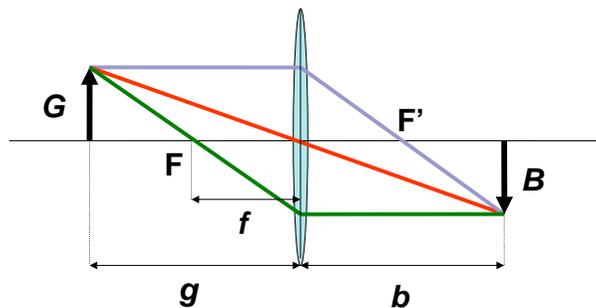
37



- 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

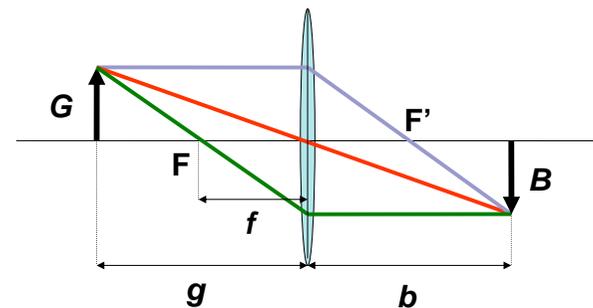
Abbildung durch Sammellinse



f...Brennweite
 g...Gegenstandsweite
 b...Bildweite
 F...Brennpunkt
 G...Gegenstandsgröße
 B...Bildgröße

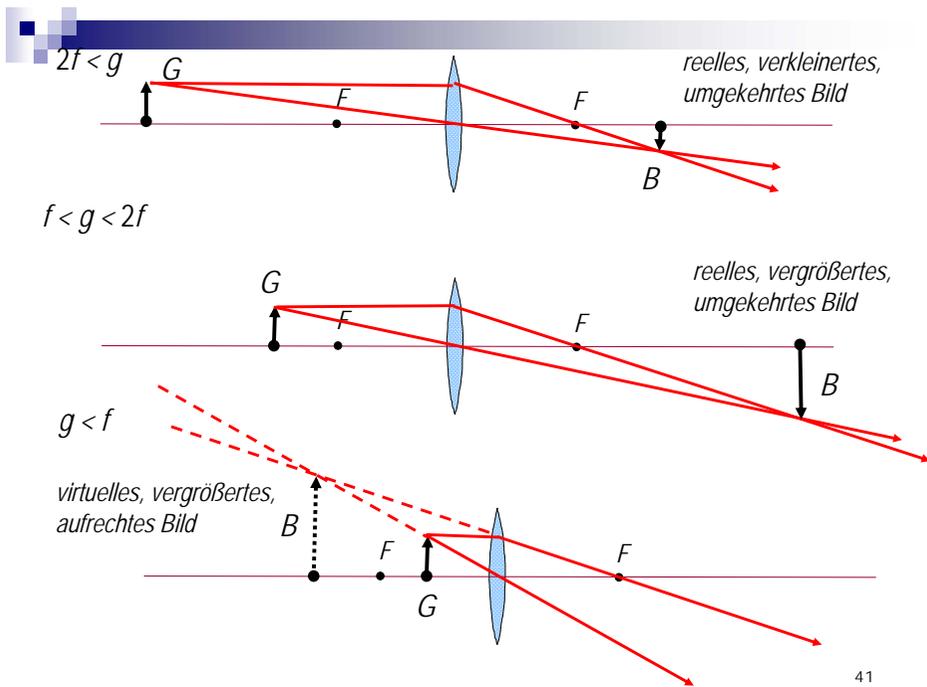
39

Abbildung durch Sammellinse



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

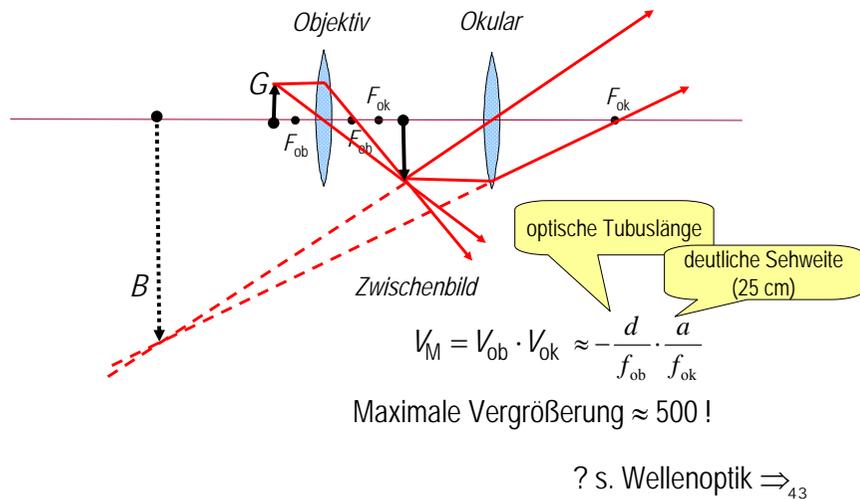
Abbildungsgleichung: $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ Abbildungsmaßstab: $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$



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

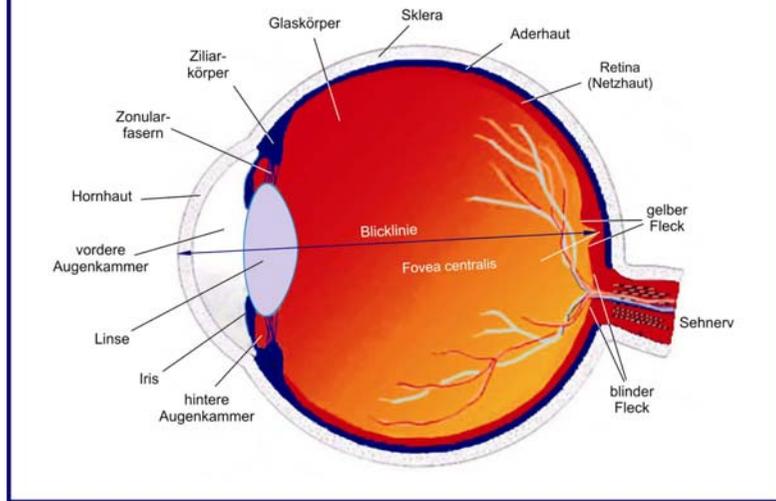
Das Lichtmikroskop



Optik des Auges



AUFBAU DES AUGES



Brechkraft des menschlichen Auges

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

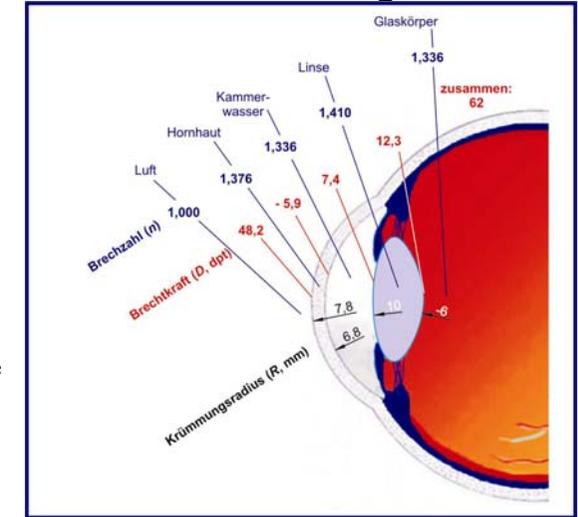
D : Brechkraft (dpt)

n : Brechzahl des 1. Mediums

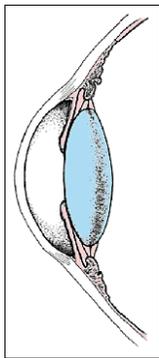
n' : Brechzahl des 2. Mediums

R : Krümmungsradius (m)

+ für konvexe Fläche
- für konkave Fläche

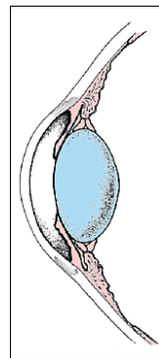
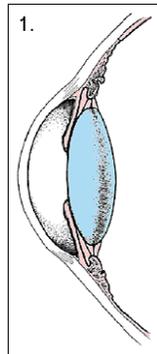


Akkommodation



Ferneinstellung

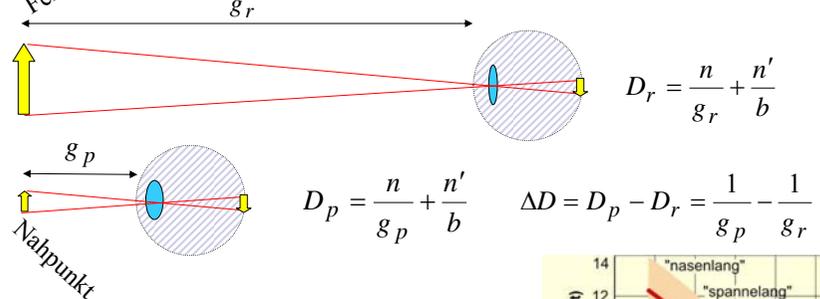
Fernpunkt: g_r



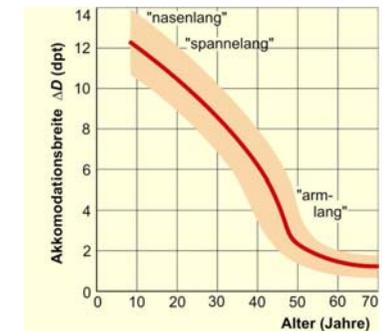
Naheinstellung

Nahpunkt: g_p

Akkommodationsbreite (ΔD)

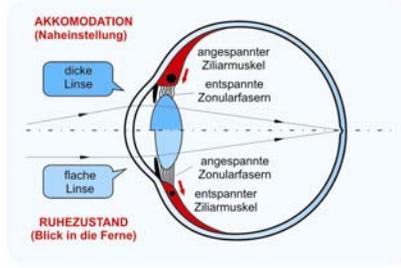
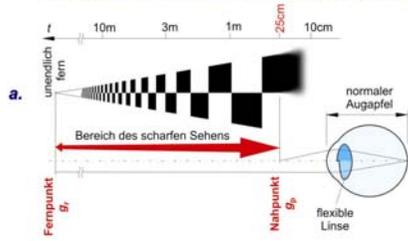


Z.B. $g_r = \infty$
 $g_p = 0,07 \text{ m}$ } $\Rightarrow \Delta D \approx 14 \text{ dptr}$

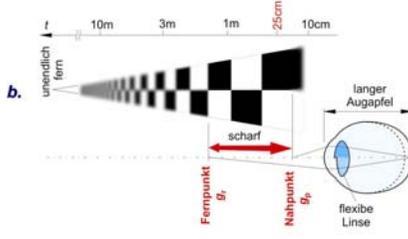


Einige Augenfehler (Kurzichtigkeit)

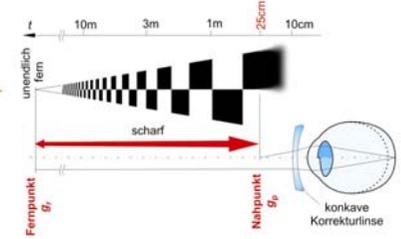
NORMALSCHICHTIGES AUGE (Emmetropie)



KURZSICHTIGKEIT (Myopie)

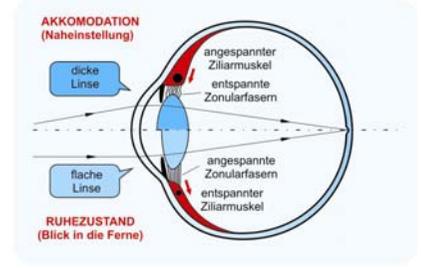
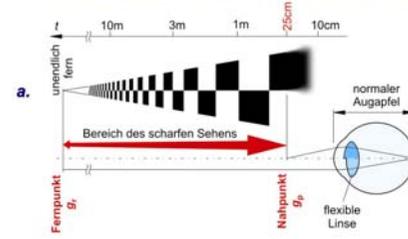


KORRIGIERTE KURZSICHTIGKEIT

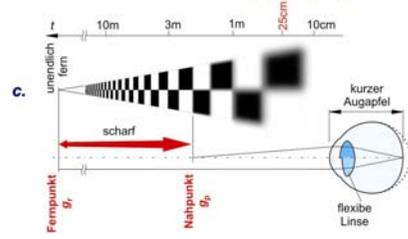


Einige Augenfehler (Übersichtigkeit)

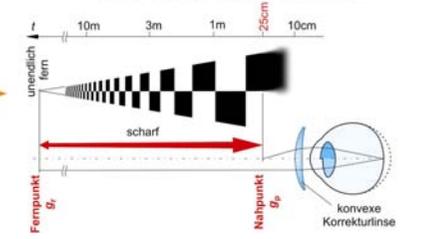
NORMALSCHICHTIGES AUGE (Emmetropie)



ÜBERSICHTIGKEIT (hyperopie)

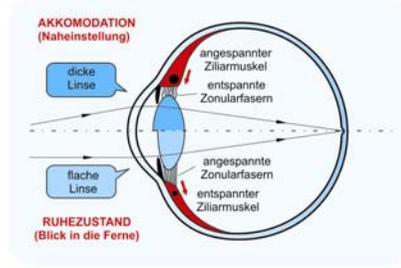
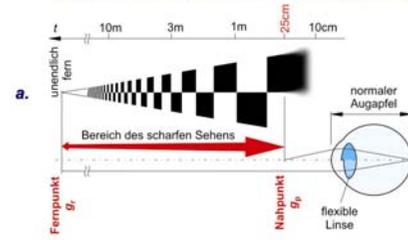


KORRIGIERTE ÜBERSICHTIGKEIT

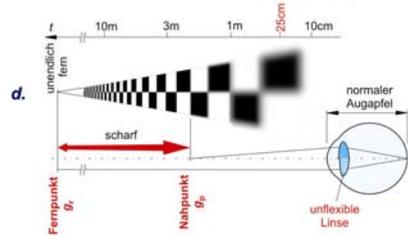


Einige Augenfehler (Alterssichtigkeit)

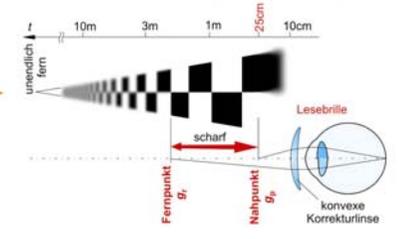
NORMALSCHICHTIGES AUGE (Emmetropie)



ALTERSSICHTIGKEIT (presbyopie)

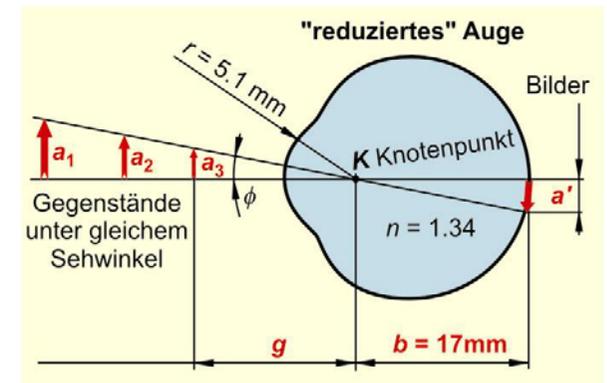


KORRIGIERTE ALTERSSICHTIGKEIT



Bildentstehung

Modell:
reduziertes Auge

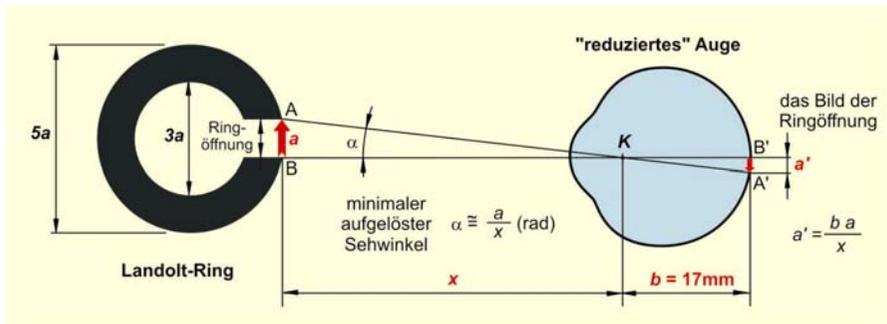


Das Bild ist:

- reell,
- verkleinert,
- und umgekehrt.

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

Sehschärfe (Auflösungsvermögen)



Minimaler aufgelöster Sehwinkel (α):

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

Sehschärfe (Visus):

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

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