

BIOPHYSIK

5. Vorlesung

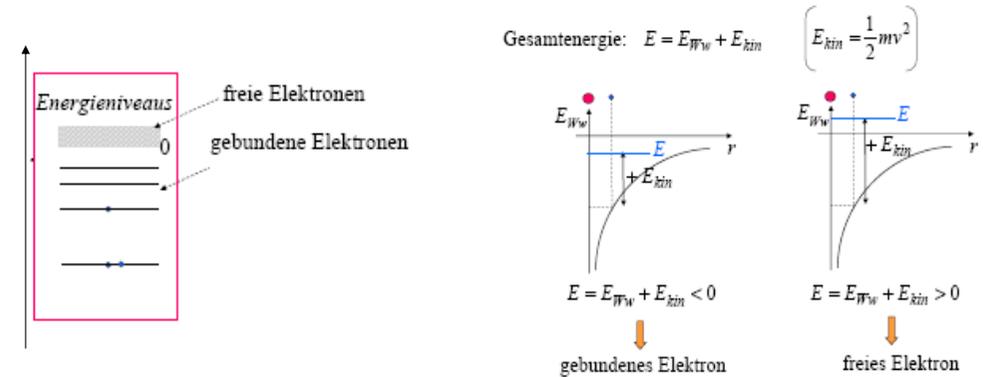
**Strahlenoptik, Reflexion,
Brechung, Endoskopie**

Optische Abbildung, Linsen, Mikroskopie

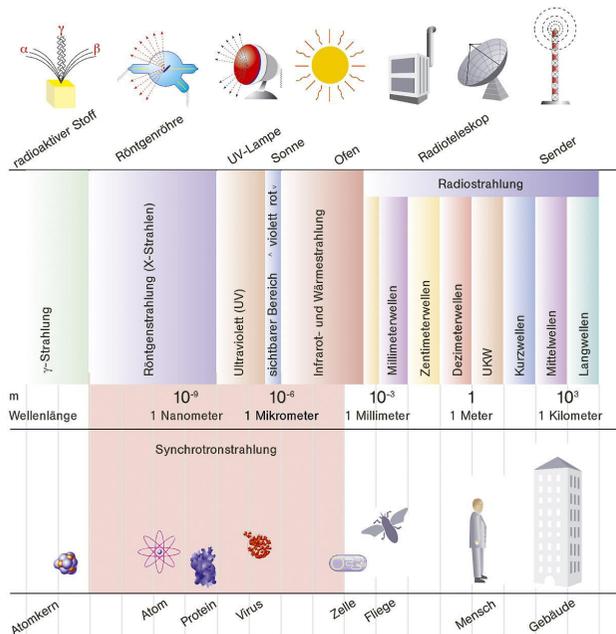
1

Ionisierende und Nicht-ionisierende Strahlungen

- Alfa, Beta, Gamma und Röntgenstrahlungen sind ionisierend (hochenergetisch)
- Licht, Infrarotes Licht, und Radiowellen sind nicht ionisierende Strahlungen (niederenergetisch)



Elektromagnetisches Spektrum



$$c = \lambda \nu$$

$c = 300'000 \text{ km/s}$
Lichtgeschwindigkeit
 λ Wellenlänge[m]
 ν Frequenz[1/s]

3

Eigenschaften des Lichtes

geradlinige Ausbreitung \Rightarrow Strahlenoptik (geometrische Optik) (5. Vorlesung)

- Wellencharakter \Rightarrow Wellenoptik (6. Vorlesung)
- Teilchencharakter \Rightarrow Quantenoptik (7,9 Vorlesung)
- Energie ist transportiert

Entstehung des Lichtes

- Temperaturstrahlung (9. Vorlesung)
- Lumineszenz, Laser (9. Vorlesung)
- Emissionsspektrometrie (7. Vorlesung)

Absorption des Lichtes in Stoffen. Lichtstreuung

- (8. Vorlesung)

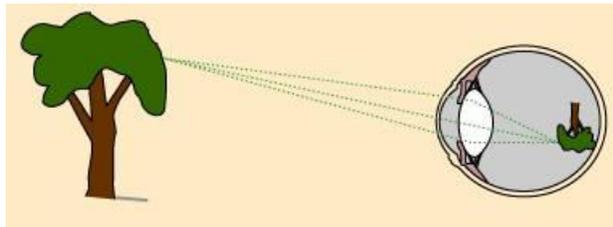
Biologische Wirkung des Lichtes

- (8. Vorlesung)

4

Strahlenoptik

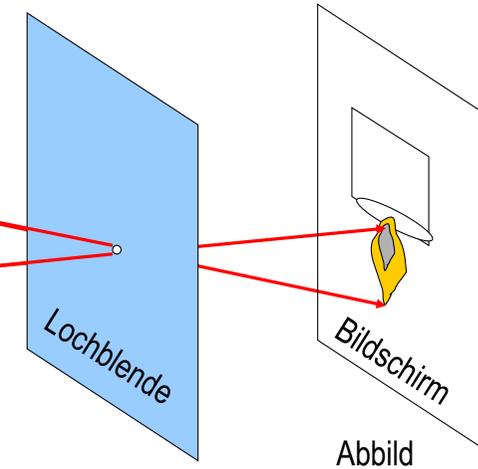
grundlegende Erscheinungen:
geradlinige Ausbreitung
Reflexion
Brechung



Geradlinige Ausbreitung

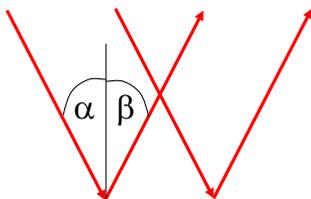
Lochkamera

leuchtender
Gegenstand



Reflexion

Einfallslot



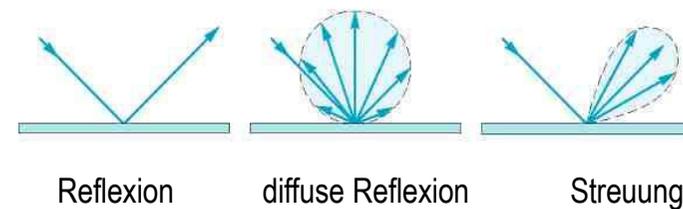
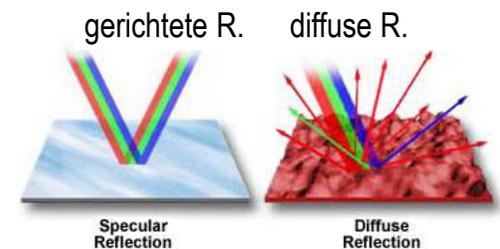
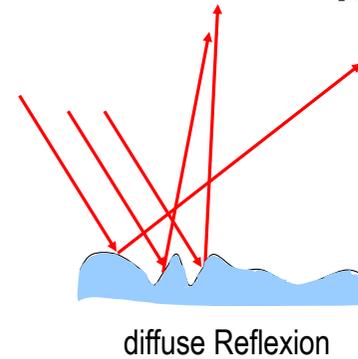
Reflexionsgesetz

$$\alpha = \beta$$

Wird ein Lichtstrahl an der Grenzfläche zwischen zwei homogenen Medien reflektiert, so bleibt der reflektierte Strahl in der Einfallsebene und der Reflexionswinkel (β) ist genau so gross wie der Einfallswinkel (α).

parallele Strahlen bleiben parallel

Reflexion (kont.)



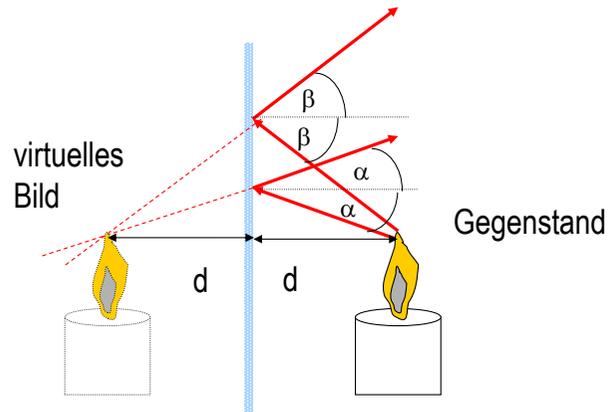
Psychologie



Physik



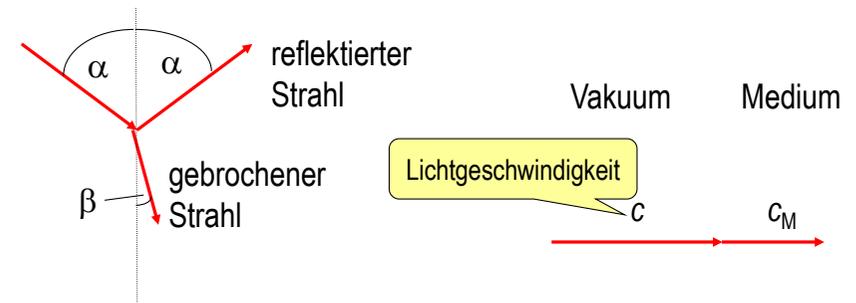
Reflexion an einer ebenen Fläche: Spiegel



Zu jedem Gegenstandspunkt gibt es einen Bildpunkt, der um soviel unterhalb der reflektierenden Fläche liegt, wie der Gegenstandspunkt sich oberhalb der Fläche befindet.
Bildgröße = Gegenstandsgröße ($V = 1$)

9

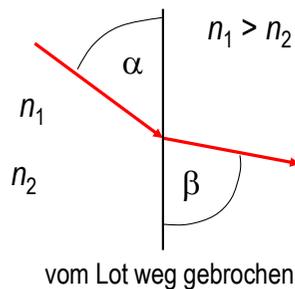
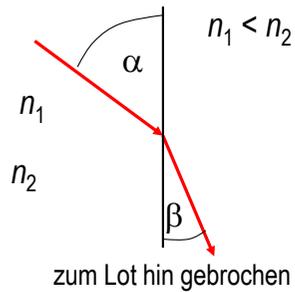
Lichtbrechung



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

Ist $n_1 > n_2$, so heißt Medium 1 optisch dichter, als Medium 2.

10



relative Brechzahl

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

Brechungsgesetz (Snellius, Descartes)

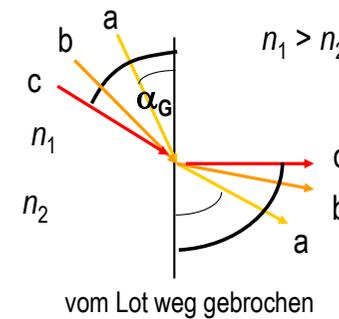
z.B.

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

abs. Brechzahlen bei 20 °C und 589 nm.

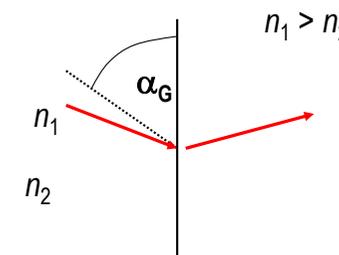
11

Totalreflexion



α_G — Grenzwinkel

(s. Refraktometer)



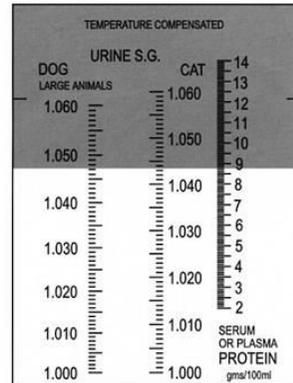
$\alpha > \alpha_G \rightarrow$ Totalreflexion

12

Ausnutzung die Existenz des Grenzwinkels: Abbe Refraktometer

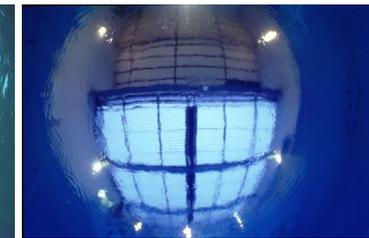
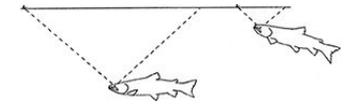
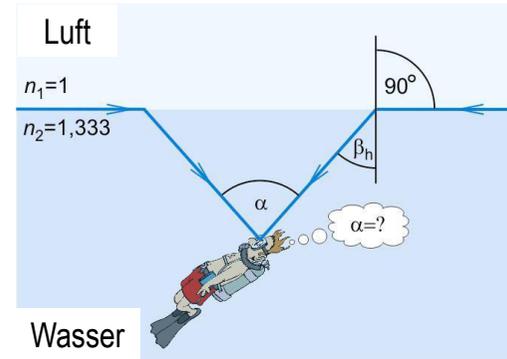
Der Wert des Grenzwinkels hängt von der Brechzahl einer Lösung ab. Die Brechzahl ist proportional der Konzentration der Lösung.

Anwendung: Eiweisskonz. des Blutplasmas, spezifische Dichte des Urins, Zuckerkonzentration, ...

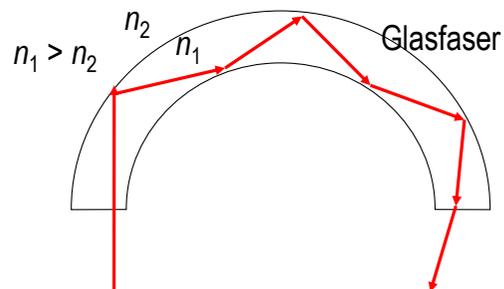
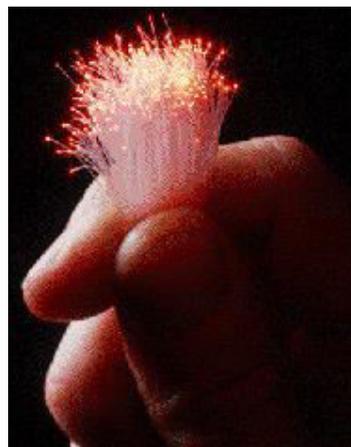
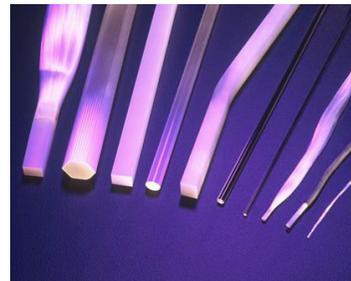


The VET 360 Scale is designed for use with animals of all sizes.

Folge der Existenz des Grenzwinkels: der Snellsche Kreis

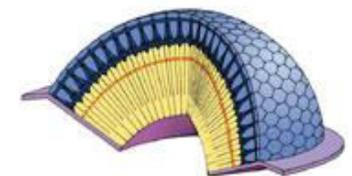


Ausnutzung der Totalreflexion: Lichtleiter



Beispiele:

- Facettenauge der Insekten
- Faseroptik
- Informationsübertragung
- Endoskopie



Faseroptik in der Medizintechnik



Einzelfaser zur Übertragung von Laserstrahlung
extrem hohe Leistungsdichten können verlustarm transportiert werden



ungeordnete Faserbündel für Beleuchtungszwecke



geordnete Faserbündel für die Bildübertragung (eine Art der Endoskopie)

Andere Art der Endoskopie

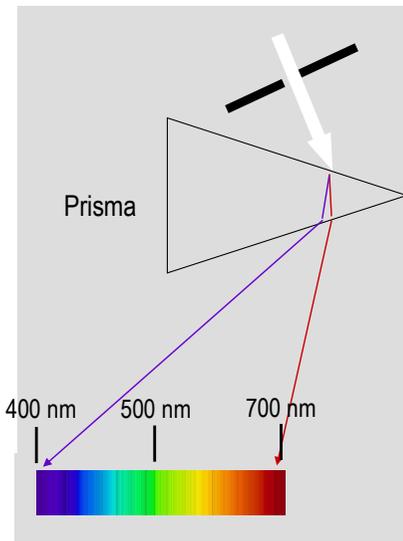
Eine Mikrokamera nimmt das Bild auf.
Einzelfaser oder ungeordnete Faserbündel nur für Beleuchtungszwecke.



Dispersion

Die Brechzahl n einer Substanz hängt von der Farbe (Wellenlänge) des Lichtstrahls ab.

(Normale Dispersion liegt vor, wenn n für Rot kleiner ist als für Blau.)

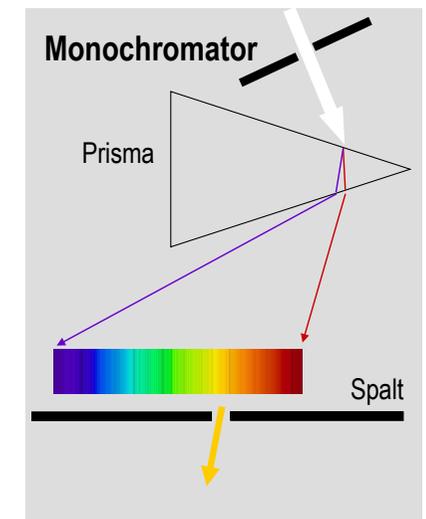


Farbe	Wellenlänge [nm]
Rot	~ 635-770
Orange	~ 590-635
Gelb	~ 565-590
Grün	~ 520-565
Cyan	~ 500-520
Blau	~ 450-500
Violett	~ 380-450

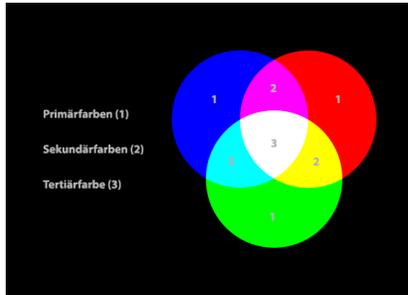
Anwendung der Dispersion: Monochromator

Monochromatisches Licht:
einfarbiges Licht

Anwendung: Lichtanalyse
(Spektralanalyse)

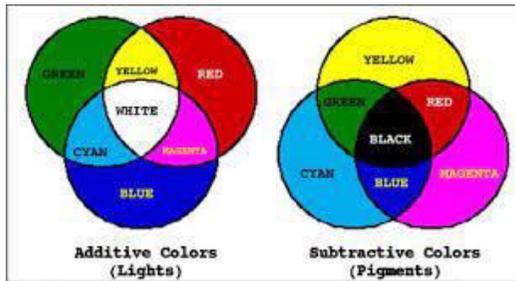
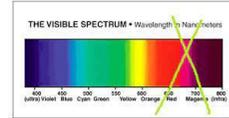


Farben



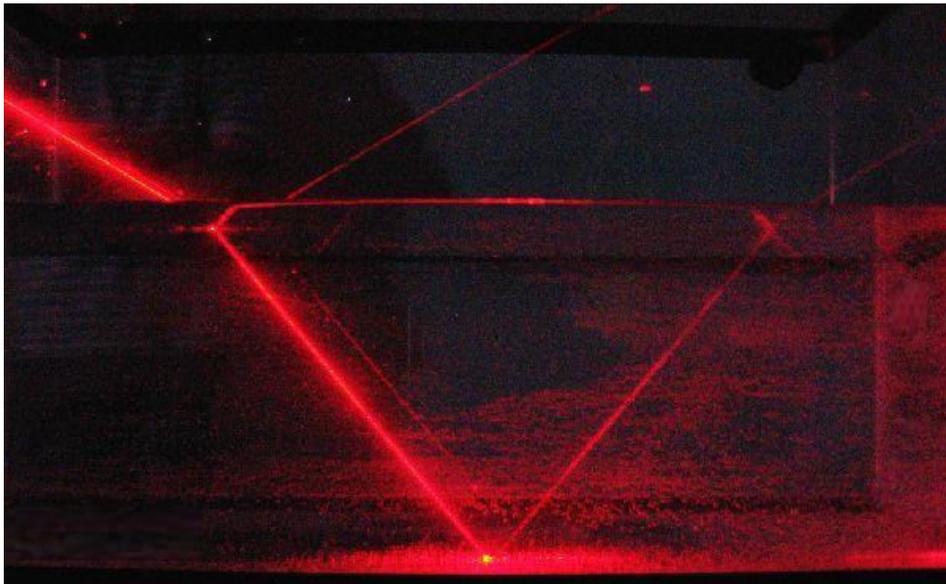
Primärfarben: Rot, Grün, Blau
Komplementärfarben: Magenta, Cyan, Gelb

Bemerkungen1: Magenta existiert nicht als Licht als „Wellenlänge“ aber wir können es sehen



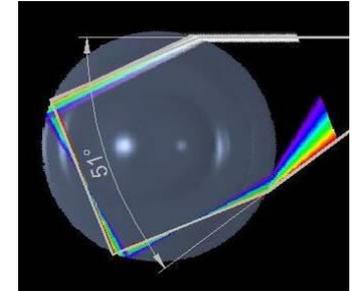
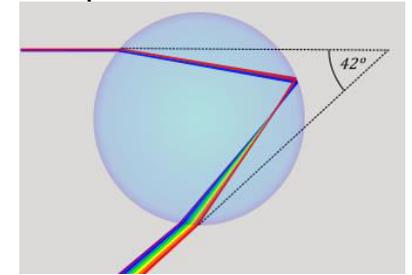
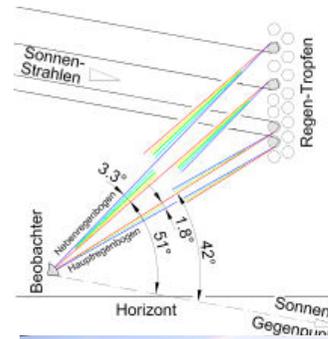
Bemerkungen2: Braun ist keine „unabhängige“ Farbe sondern abgedunkeltes Orange oder Rot

Farben addieren oder subtrahieren



Regenbogen

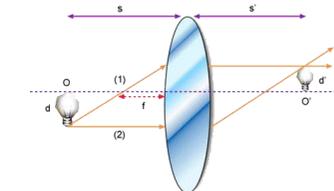
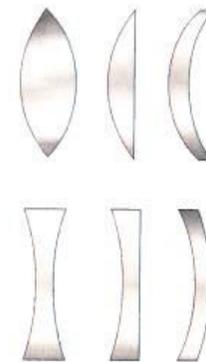
meist Brechungseffekt, aber ein komplexes Phänomen



<https://de.wikipedia.org/wiki/Regenbogen>

John A. Adam, Physics Reports
Volume 356, Issues 4-5, January 2002, Pages 229-365

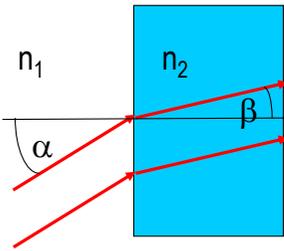
Optische Abbildung



Brechung an gekrümmten Flächen

Neben ebenen Flächen können bei festen Materialien nur sphärische Oberflächen hergestellt werden.

Brechung an ebener Fläche

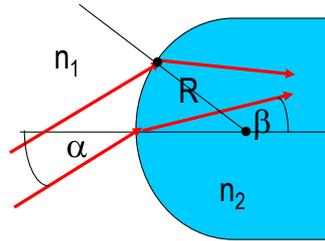


parallele Strahlen
bleiben parallel

Brechung an sphärischer Fläche

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 < n_2$$



konvexe Grenzfläche
parallele Strahlen \Rightarrow konvergente Strahlen

(konkave Grenzfläche
parallele Strahlen \Rightarrow divergente Strahlen)

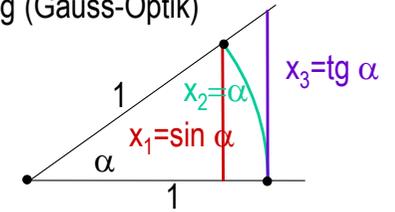
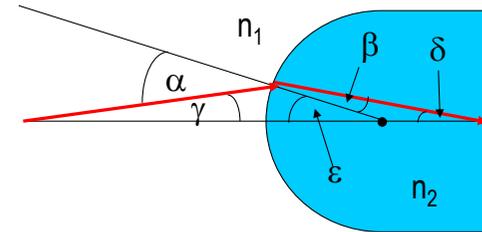
optische Abbildung?

25

Möglichkeit der Vereinfachung: **paraxiale Näherung**

achsennahe Strahlen, paraxiale Näherung (Gauss-Optik)

wenn $\alpha \ll 1$, dann $x_1 \cong x_2 \cong x_3 = x$
 $\sin \alpha \cong \alpha \cong \tan \alpha$

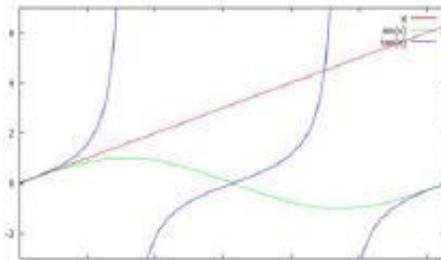


Die optische Achse ist eine Gerade durch den Mittelpunkt der sphärischen Fläche bzw. durch beide Mittelpunkte bei Linsen.

Die Strahlenverläufe sollen nur für achsennahe Strahlen betrachtet werden, deren Neigungswinkel gegen die optische Achse klein ist. Bei kleinen Neigungswinkeln ($\gamma, \delta \ll 1$) sind auch Ein- (α) und Ausfallwinkel (β) an den Grenzflächen klein, so dass Brechungsgesetz lautet: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cong \frac{\alpha}{\beta} = \frac{n_2}{n_1}$

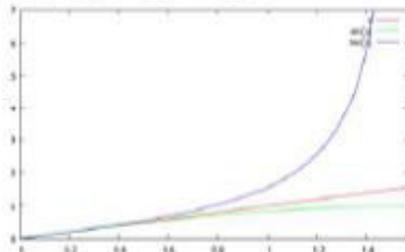
Paraxiale Näherung

$x, \sin(x)$ und $\text{Tg}(x)$
auf grosser Skala



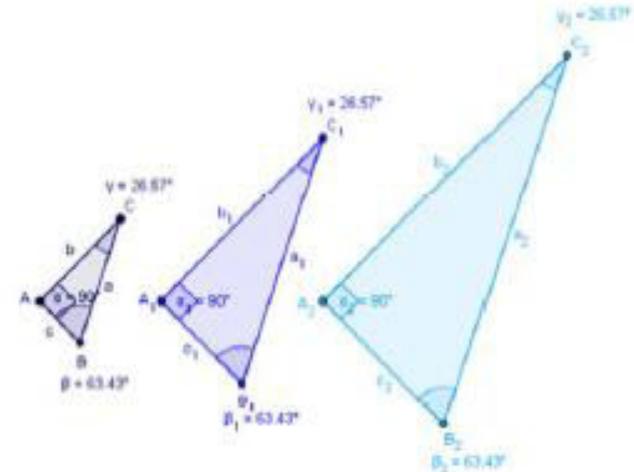
x-Achse in radian Einheiten $1 \approx 57.29^\circ$, $2\pi = 360^\circ \approx 6.28$

$0.2 \approx 11.4^\circ$



27

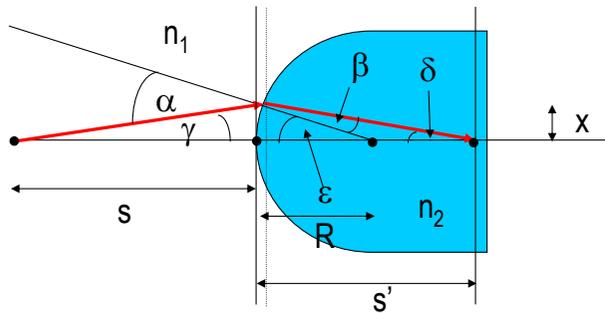
Verhältnis ähnliche Dreiecke



$$\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 \quad \beta = \beta_1 = \beta_2 \quad \gamma = \gamma_1 = \gamma_2$$

$$a/b = a_1/b_1 = a_2/b_2, \quad a/c = a_1/c_1 = a_2/c_2, \quad b/c = b_1/c_1 = b_2/c_2$$

Brechungsgesetz für paraxiale Strahlen: $n_1\alpha = n_2\beta$



$x/s = \gamma, x/R = \epsilon, x/s' = \delta$

$\gamma = \epsilon (R/s), \delta = \epsilon (R/s')$

ausserdem gilt:

$\alpha = \gamma + \epsilon, \epsilon = \beta + \delta$

$n_1(\gamma + \epsilon) = n_2(\epsilon - \delta) \Rightarrow$

$\frac{n_2}{s'} + \frac{n_1}{s} = \frac{n_2 - n_1}{R}$

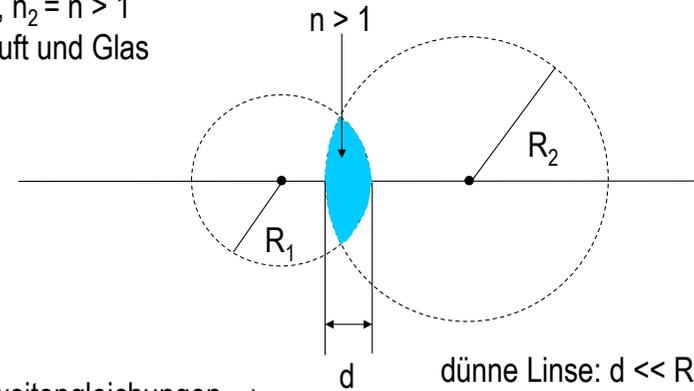
Schnittweitengleichung einer Fläche mit Krümmungsradius R

Herleitung: s. Praktikum

Linse

Vereinfachung:

$n_1 = 1, n_2 = n > 1$
z.B. Luft und Glas



Schnittweitengleichungen \Rightarrow

$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

dünne Linse: $d \ll R_1$ und R_2

rechte Seite: konstant \Rightarrow
linke Seite: konstant \Rightarrow
es gibt eine spezielle Weite

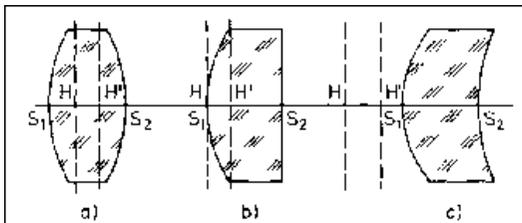
Linsentypen

konvexe Linsen

bikonvexe plankonvexe konkavkonvexe Linsen

für $n_2 > n_1$
(z.B. Glas
in Luft)

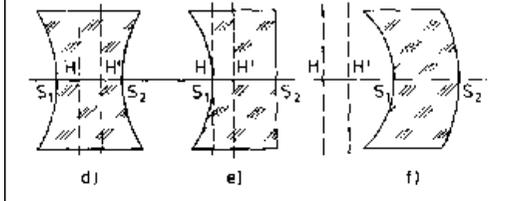
Sammellinsen



für $n_2 < n_1$
(z.B. Luftlinse
in Wasser)

Zerstreuungslinsen

Zerstreuungslinsen

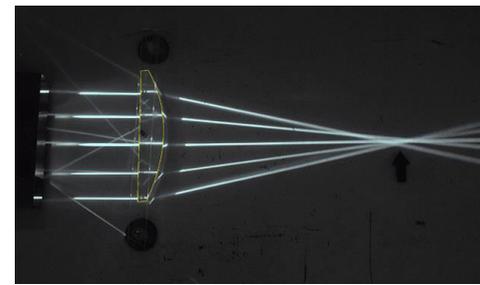


Sammellinsen

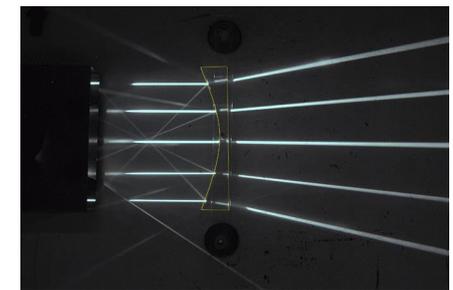
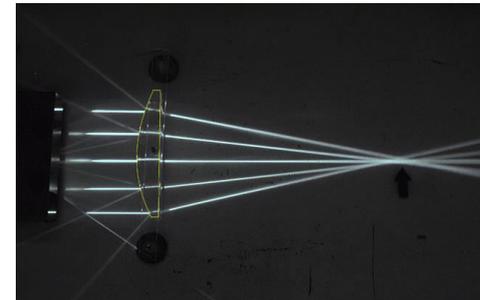
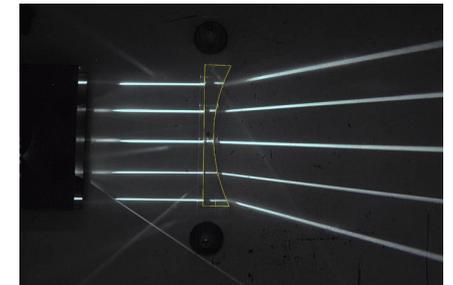
bikonkave plankonkave konvexkonkave Linsen

konkave Linsen

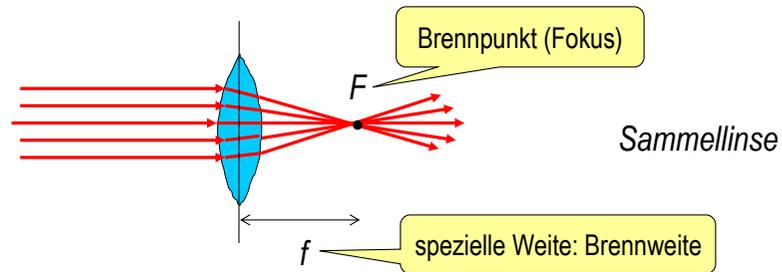
plankonvexe Linse



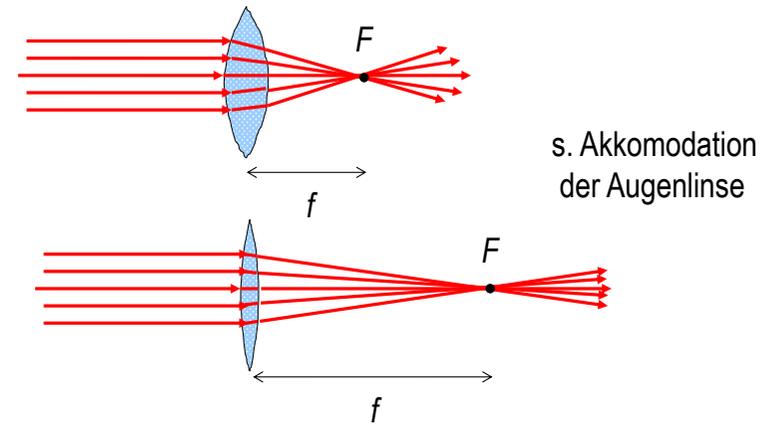
plankonkave Linse



konvexe Linse: parallele Strahlen schneiden sich im Brennpunkt F



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



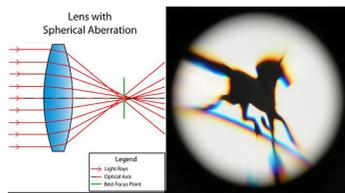
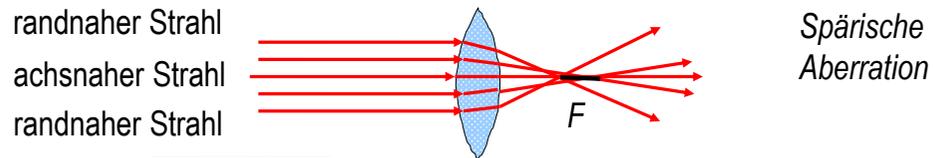
$$D = \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Linsenschleiferformel

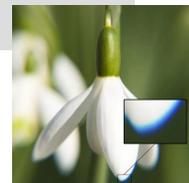
$$D = \frac{1}{f} = (n-1) \frac{2}{R}$$

symmetrische Linse

Linsenfehler

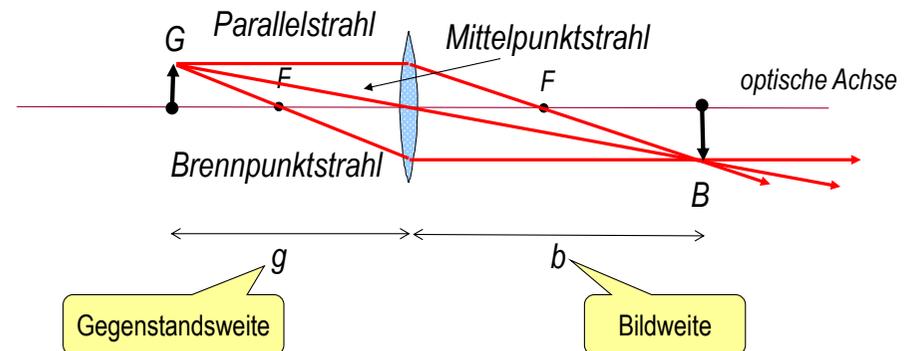


abweichende Brennpunkte

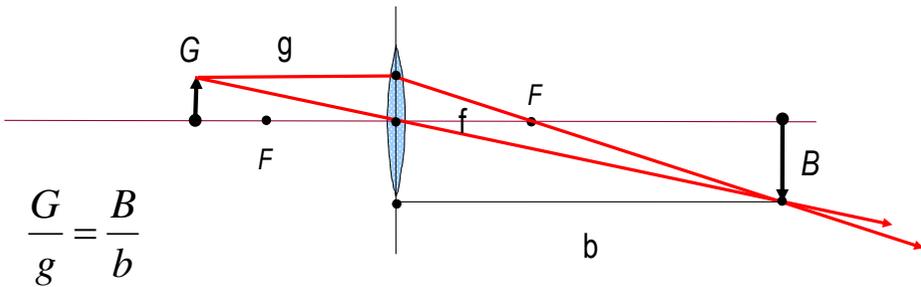
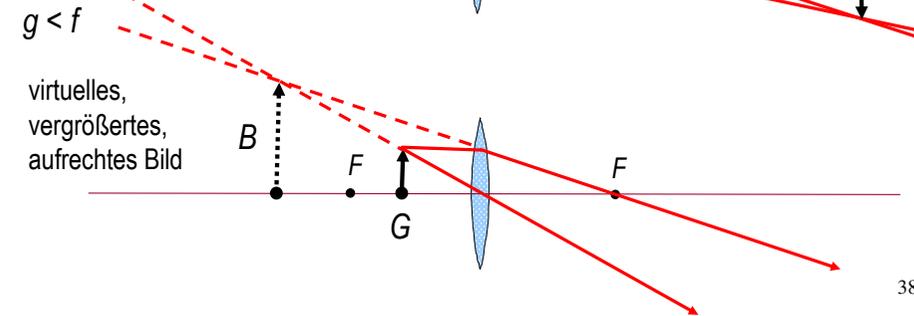
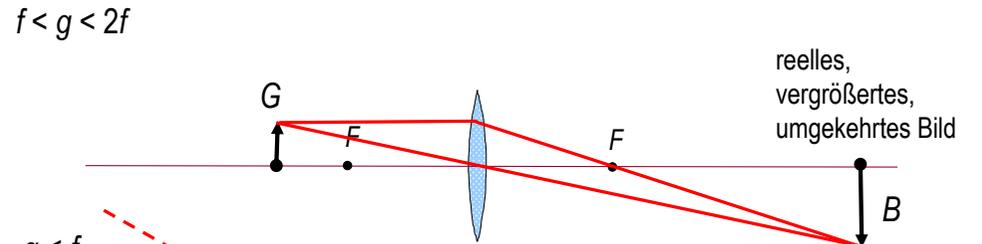
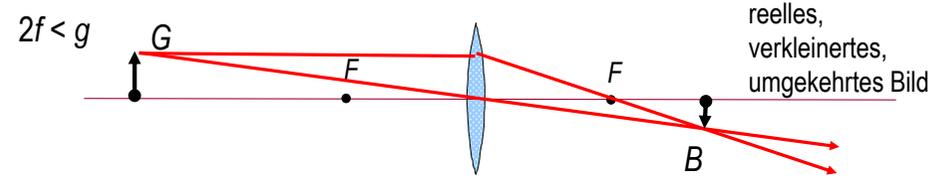
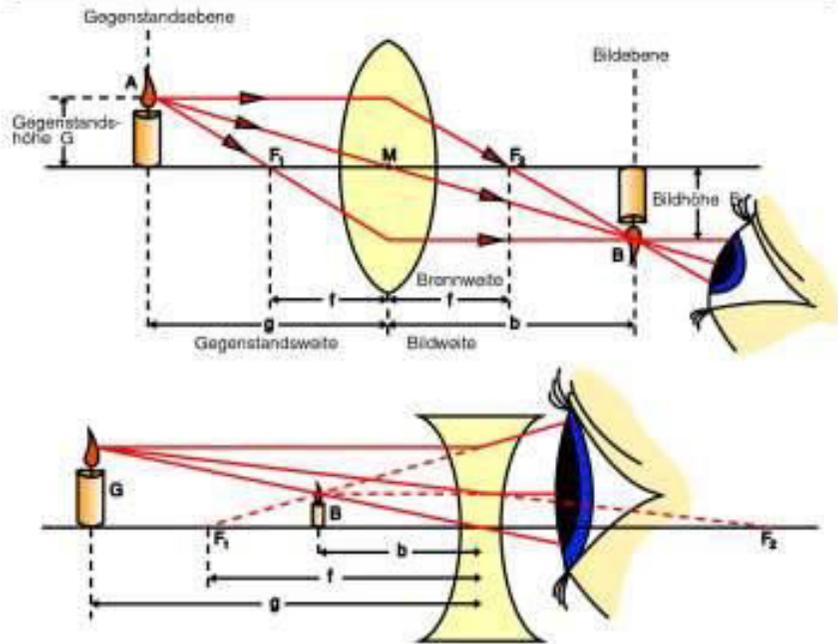


Optische Abbildung durch Linsen

3 ausgezeichnete Strahlen:



Strahlengang durch Sammel- und Zerstreuungslinse



$$\frac{G}{g} = \frac{B}{b}$$

$$\frac{G}{f} = \frac{G+B}{b}$$

$$\frac{G}{f} = \frac{G}{b} + \frac{B}{b} = \frac{G}{b} + \frac{G}{g}$$

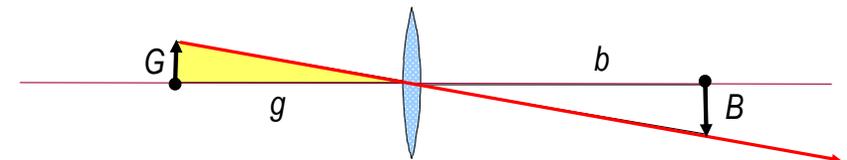
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Linsengleichung

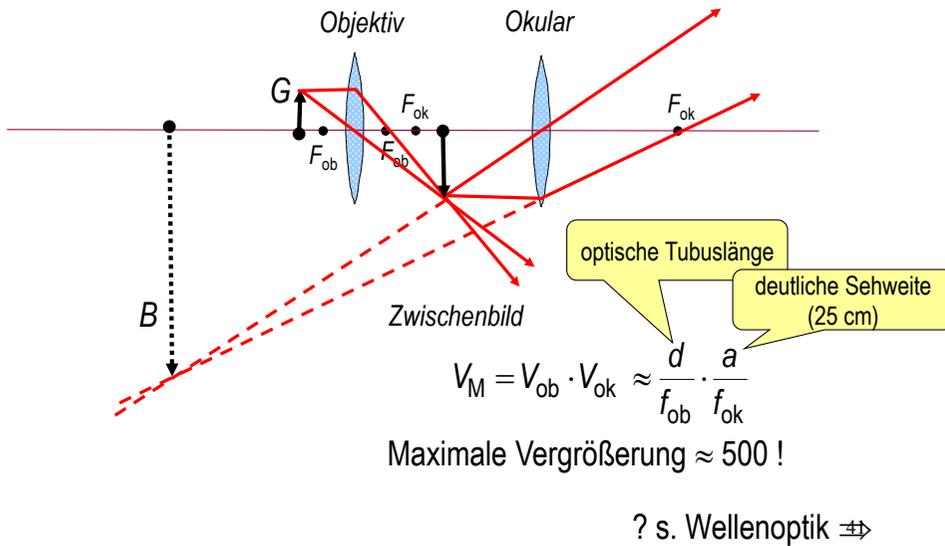
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

Vergrößerung (V):

$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$



Mikroskop



Mikroskop

Ein Mikroskop (von griechisch μικρός mikrós „klein“; σκοπεῖν skopeîn „betrachten“) ist ein Gerät, das es erlaubt, Objekte stark vergrößert anzusehen oder bildlich darzustellen.

Typen sind:

Lichtmikroskope, (Dunkelfeldmikroskopie, Phasenkontrastmikroskopie, Konfokalmikroskopie)

Elektronenmikroskope und Rastersondenmikroskopie.

Neutronenmikroskop

Röntgenmikroskop

Ultraschallmikroskop oder akustisches Mikroskop

Literatur:

Hermann Beyer und Horst Riesenberg Handbuch der Mikroskopie

Werner Pepperhoff, Hans-Heinrich Ertwig Interferenzschichten-Mikroskopie

<https://de.wikipedia.org/wiki/Mikroskop>

42

Zusammenfassung

*Elektromagnetisches Spektrum
Ionisierende und nicht- ionisierende Strahlungen
Strahlenoptik,
Reflexion, Brechung,
Anwendung: Endoskopie*

*Linsen, Brechung an gekrümmten Fläachen
Anwendungen: Lupe und Mikroskop*

Nützliche youtube videos:

Optik in 12 Minuten

<https://www.youtube.com/watch?v=qqEoVVPqXdA>

Reflexionsgesetz und Brechungsgesetz

<https://www.youtube.com/watch?v=rwWpC3tM13k>

Totalreflexion

https://www.youtube.com/watch?v=54zksX0af_o

43

Vielen Dank für ihre



Aufmerksamkeit!

44

Fragen, Bemerkungen, Kommentare?