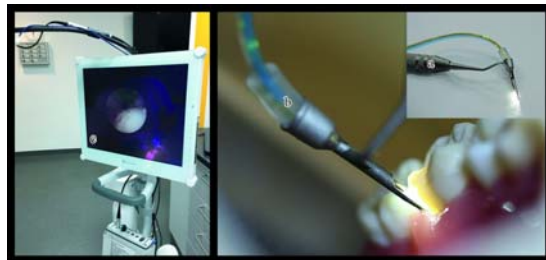
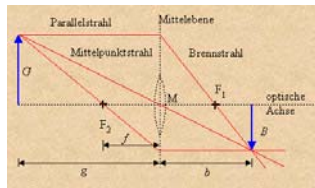
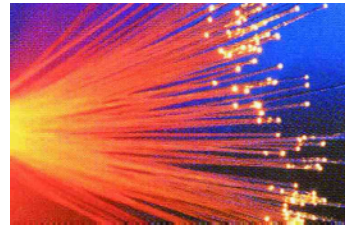


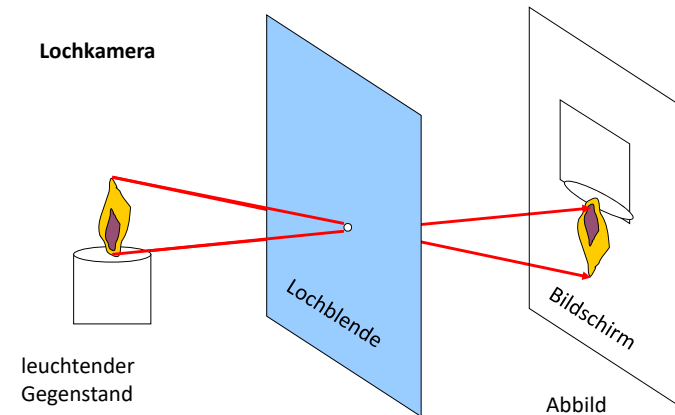
Licht in der Medizin. Brechung, Linsen, Mikroskop

Strahlenoptik



KAD 2021.09.21

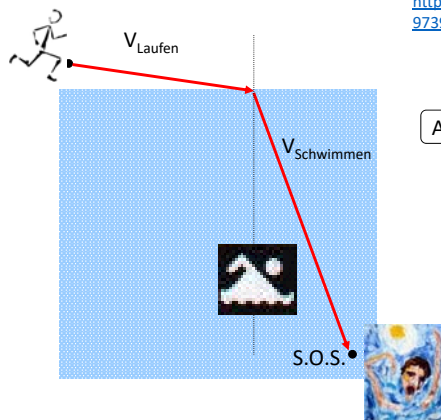
Geradlinige Ausbreitung



2

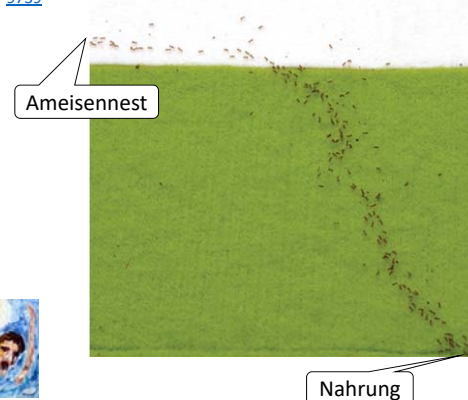
Fermatsches Prinzip: das Licht wählt zwischen zwei Punkten den schnellsten Weg (und nicht den geometrisch kürzesten Weg)

Das Rettungsschwimmer Problem



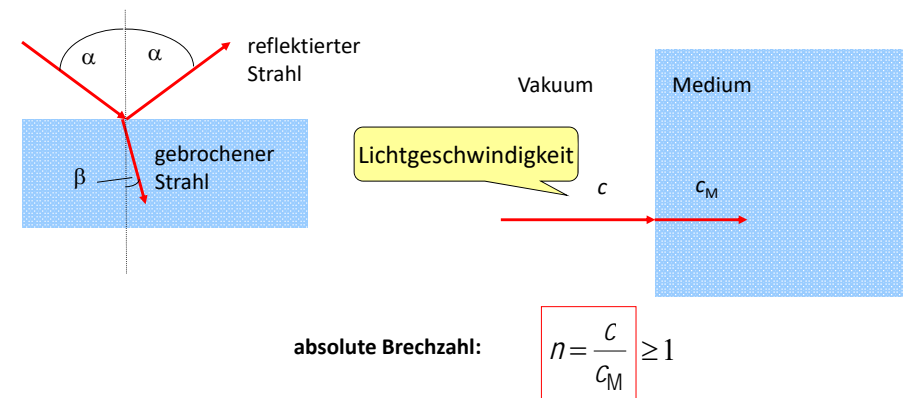
Das Prinzip gilt auch für Ameisen!

Oettler J et al. (2013) Fermat's Principle of Least Time Predicts Refraction of Ant Trails at Substrate Borders. PLOS ONE 8(3): e59739. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0059739>



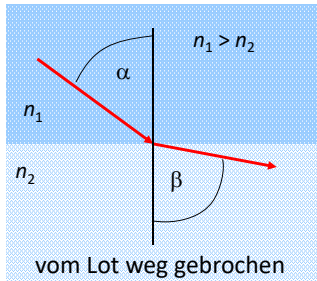
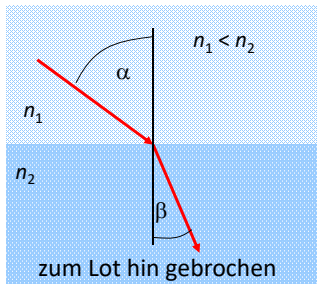
Lichtbrechung

aus dem Fermatschen Prinzip ergibt sich das **Gesetz von Snellius-Descartes (Brechungsgesetz)**



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

4



relative Brechzahl

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

Brechungsgesetz (Snellius, Descartes)

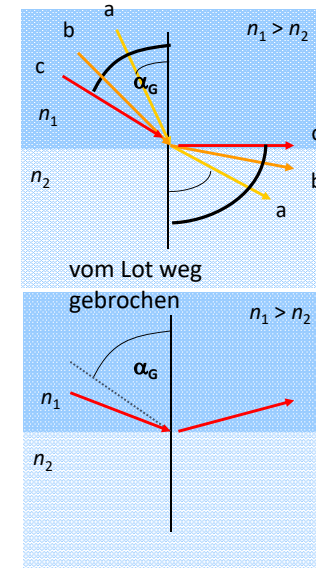
z.B.

Material	<i>n</i>
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

abs. Brechzahlen bei 20 °C und 589 nm

5

Totalreflexion



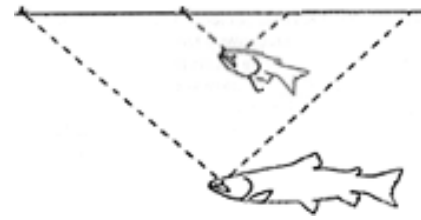
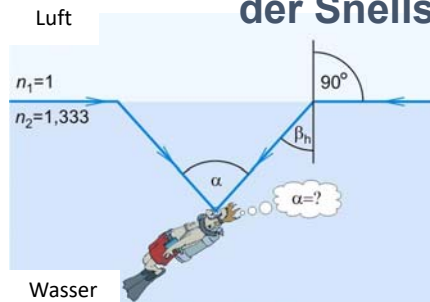
α_G — Grenzwinkel

(s. Refraktometer)

$\alpha > \alpha_G \rightarrow$ Totalreflexion

6

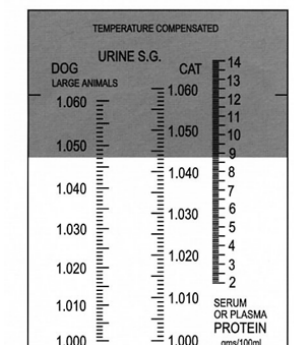
Folge der Existenz des Grenzwinkels: der Snellsche Kreis



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.

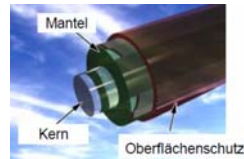
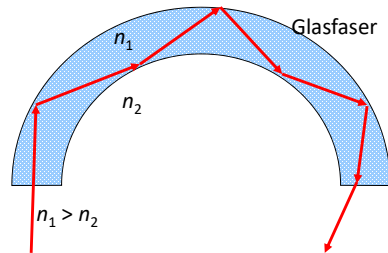
Anwendung: Eiweisskonz. des Blutplasmas, spezifische Dichte des Urins, Zuckerkonzentration, ...



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

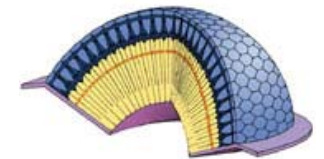
8

Ausnutzung der Totalreflexion: Lichtleiter



Beispiele:

- Facettenauge der Insekten
- Faseroptik
- Informationsübertragung
- Endoskopie



10

Faseroptik in der Medizintechnik



ungeordnete Faserbündel für Beleuchtungszwecke

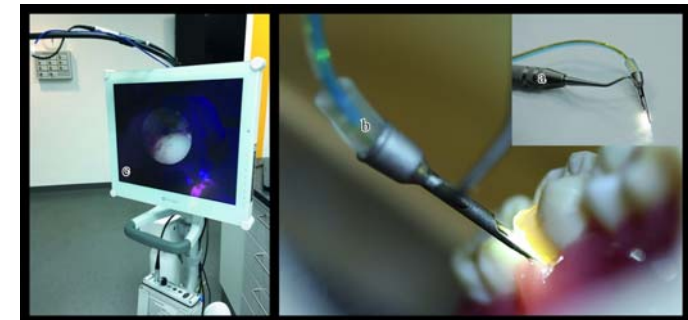
Einzelfaser zur Übertragung von Laserstrahlung
extrem hohe Leistungsdichten können verlustarm transportiert werden



geordnete Faserbündel für die Bildübertragung (eine Art der Endoskopie)



11



Perioscopy® der Firma Zest Dental Solutions. Mithilfe verschiedener Hand-Explorer (a), die den fiberoptischen Leiter (b) und eine Wasserleitung führen, wird auf einem Monitor (c) ein Echtzeitbild des inspizierten Gebietes dargestellt

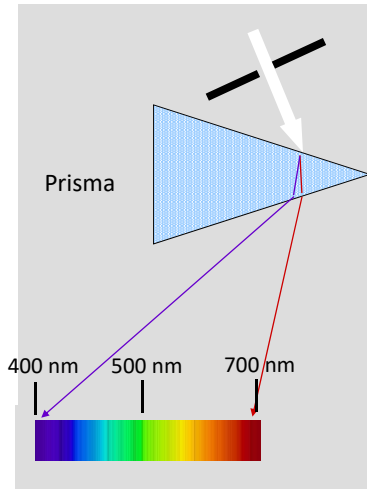
ARTIKEL: CHR. GRAETZ UND S. SCHORR
Das Endoskop für die Zahnfleischtasche – nur zur Diagnostik?

12

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.)

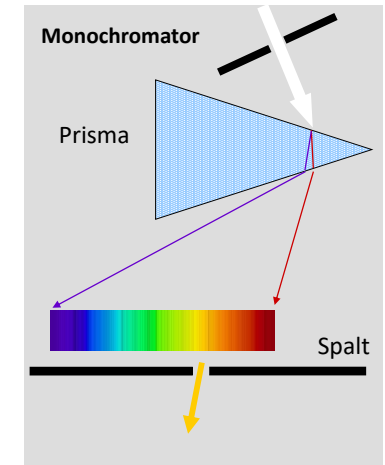


13

Anwendung der Dispersion: Monochromator

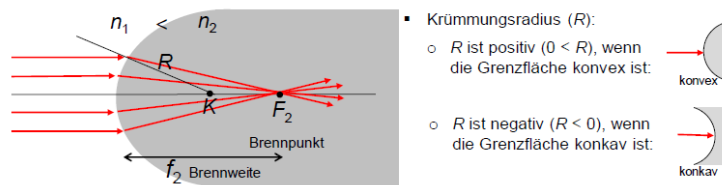
Monochromatisches Licht:
einfarbiges Licht

Anwendung: Lichtanalyse
(Spektralanalyse)



14

Brechung an einer sphärischen Grenzfläche



Brechkraft (D): $D = \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{R} \left(= \frac{n_1}{f_1} \right)$

Die Formel gilt nur für achsennahe Strahlen genau!

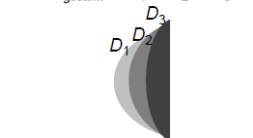
▪ Krümmungsradius (R):

- R ist positiv ($0 < R$), wenn die Grenzfläche konvex ist:
- R ist negativ ($R < 0$), wenn die Grenzfläche konkav ist:

D ist positiv ($0 < D$) \Rightarrow Fokussierung
D ist negativ ($D < 0$) \Rightarrow Zerstreuung

$n_2 - n_1$	R	D	
positiv	positiv	positiv	Fokussierung
negativ	positiv	negativ	Zerstreuung
positiv	negativ	negativ	Zerstreuung
negativ	negativ	positiv	Fokussierung

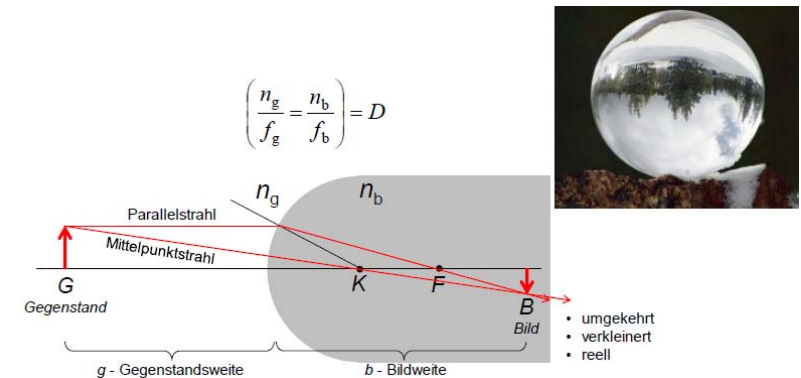
Für naheliegende Grenzflächen gilt:



→ siehe Linse und Auge

15

Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz



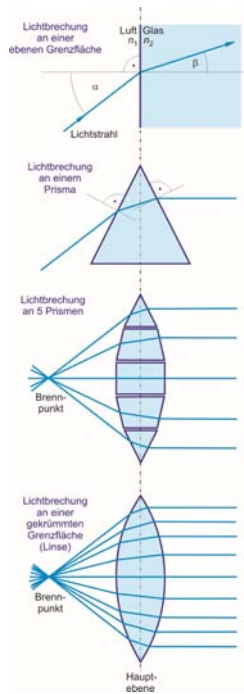
$$\left(\frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D$$

▪ **Abbildungsgesetz:** $\left(\frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$

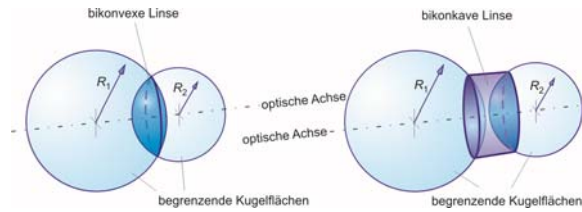
Gilt nur für achsennahe Strahlen!

- umgekehrt
- verkleinert
- reell

16



Brechkraft einer Linse, Linsenschleierformel



Ableitung optischer Linsen von Kugelflächen

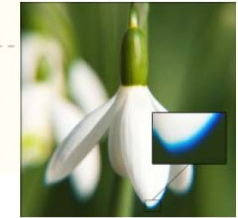
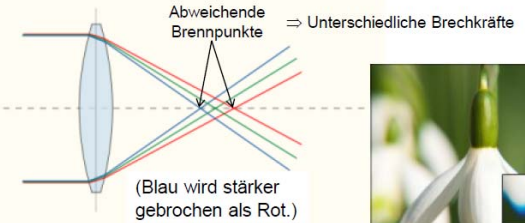
$$D = \frac{1}{f} = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

D : Brechkraft
 f : Brennweite
 R_1, R_2 : Krümmungsradien
 n : Brechzahl des Linsenmaterials

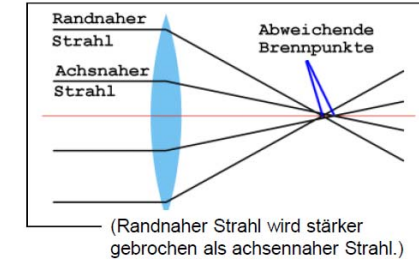
17

Linsenfehler

Chromatische Aberration



Sphärische Aberration

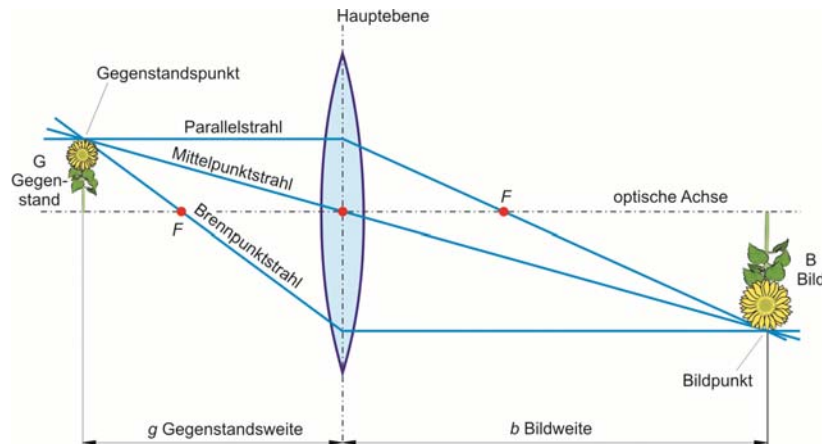


\Rightarrow Verallgemeinerung:

- \Rightarrow Positive sphärische Aberration, wenn randnahe Strahlen stärker gebrochen werden.
- \Rightarrow Negative sphärische Aberration, wenn achsnaher Strahlen stärker gebrochen werden.

18

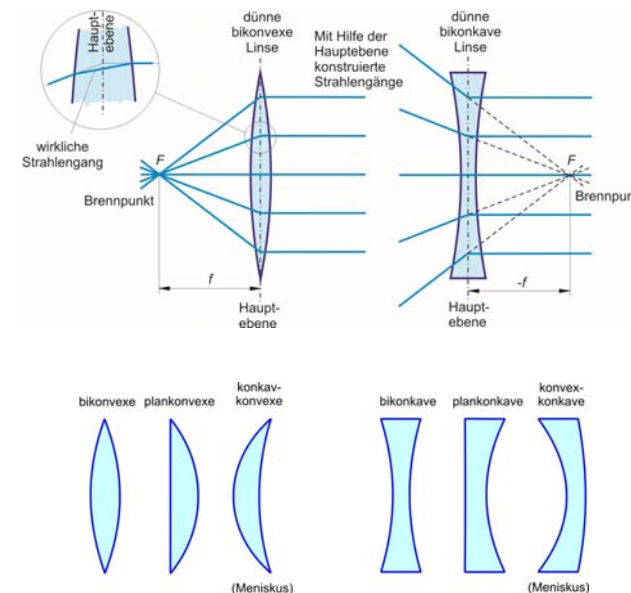
Dünne Linsen. Verlauf der ausgezeichneten Strahlen



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

f : Brennweite

19



Konstruktion der Brennweite bei „dünnen“ Sammell- und Zerstreuungslinsen mit Hilfe der Hauptebene

Linsenarten

20

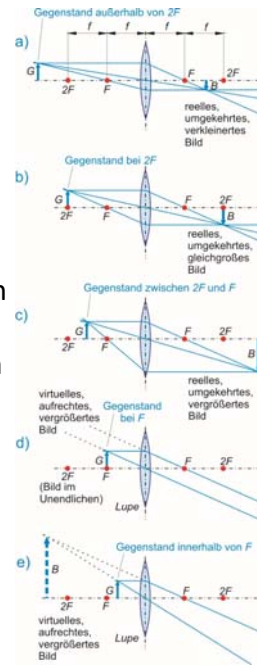
Abbildungsgleichung: $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$

f : Brennweite
 g : Gegenstandsweite
 b : Bildweite

Abbildung von Objekten
in verschiedenen
typischen Entfernungen

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

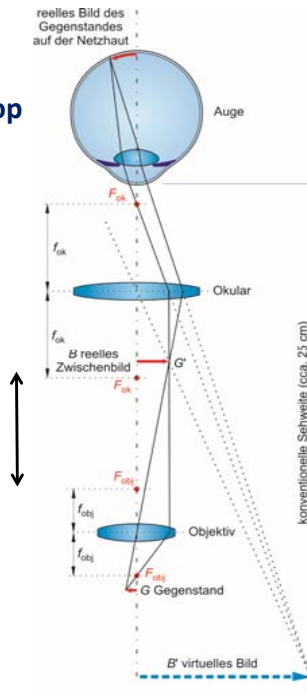
V : Vergrößerung
 B : Bildhöhe
 G : Gegenstandshöhe



21

Lichtmikroskop

d = optische
Tubuslänge



- Vergrößerung des Mikroskops:

$$V = V_{\text{Objektiv}} \cdot V_{\text{Okular}}$$

$$= \frac{b_{\text{Objektiv}}}{g_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{b_{\text{Okular}}}{g_{\text{Okular}}}$$

$$\approx \frac{d}{f_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{-a}{f_{\text{Okular}}}$$

Über $V \approx 500$ nur leere Vergrößerung!!

22