

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

4. Vorlesung
04. 10. 2017

I. Geometrische Optik

1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

- a) Reflexionsgesetz
- b) Abbildung durch Reflexion

2. Brechung

- a) Brechzahl (Brechungsindex)
- b) Brechung, Brechungsgesetz
- c) Grenzwinkel
- d) Totalreflexion
- e) Dispersion

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

- a) Brechkraft (D)
- b) Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz

4. Linsen

- a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleierformel
- b) Linsenfehler
- c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

5. Lichtmikroskop

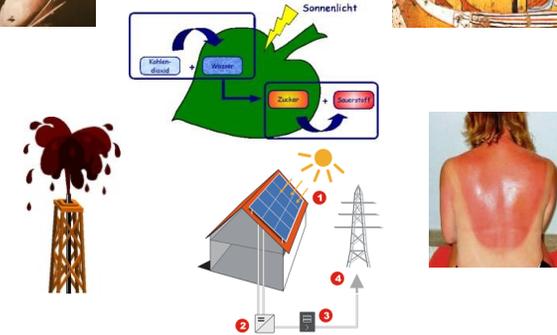
1



Bedeutung des Lichtes

„Schön erscheinst du im Horizonte des Himmels, du lebendige Sonne, die das Leben bestimmt!“

(Pharaoh Echnaton)



2

Eigenschaften des Lichtes

• Energietransport



• Geradlinige Ausbreitung



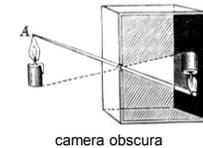
Geometrische Optik

- Wellennatur
- Teilchennatur

3

I. Geometrische Optik

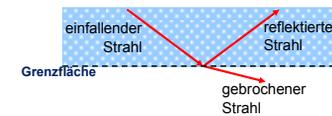
Geradlinige Ausbreitung



camera obscura



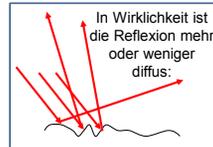
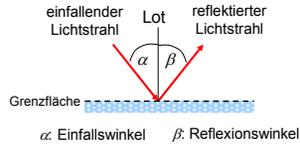
reelles umgekehrtes Bild



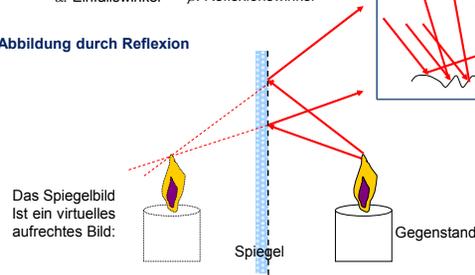
4

1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

a) Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$



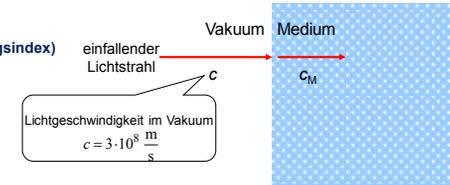
b) Abbildung durch Reflexion



5

2. Brechung

a) Brechzahl (Brechungsindex)



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

z.B.

Material	n (20 °C und 589 nm)
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

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

6

b) Brechung, Brechungsgesetz

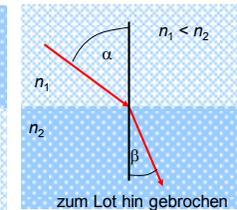
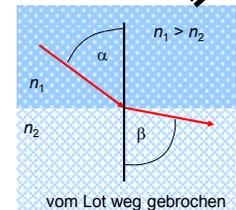
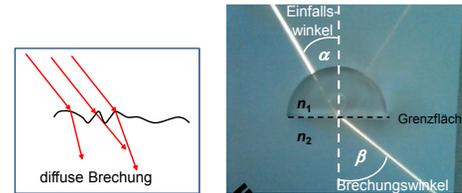
Fermatsches Prinzip: das Licht wählt zwischen zwei Punkten den schnellsten und nicht den geometrisch kürzesten Weg. Aus diesem Prinzip ergibt sich das bekannte **Gesetz von Snellius-Descartes (Brechungsgesetz).**

Das Prinzip gilt auch für Ameisen!



Fermat's Principle of Least Time Predicts Refraction of Ant Trails at Substrate Borders
 Jan Oelke^{1,2}, Volker S. Schmidt^{1,3}, Niko Zanker¹, Oliver Ray¹, Andreas Dresch^{1,4}, Jürgen Helber¹
 PLOS ONE | www.plosone.org
 March 2013 | Volume 8 | Issue 3 | e59739

7



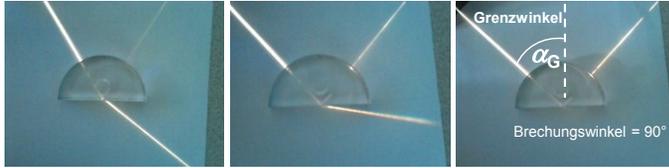
Brechungsgesetz (Snellius-Descartes-Gesetz):

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

relative Brechzahl

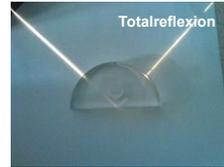
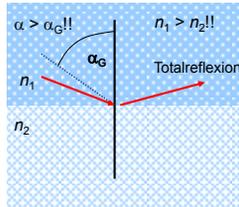
8

c) Grenzwinkel



→ siehe Refraktometer im Praktikum

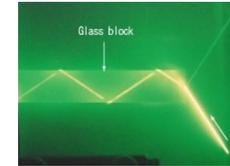
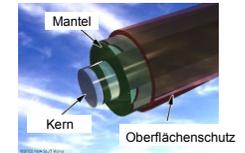
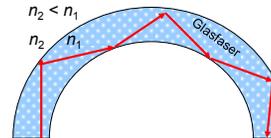
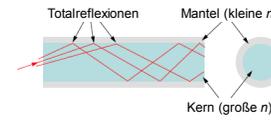
d) Totalreflexion



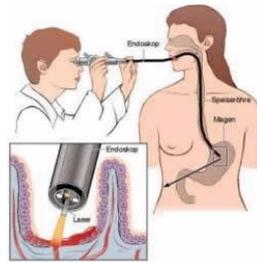
→ optisches Kabel, Endoskop

9

optisches Kabel, Endoskop



10

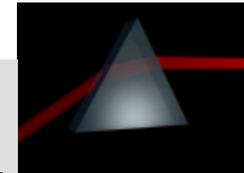
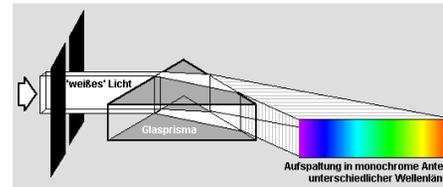


Endoskop, Fata Morgana

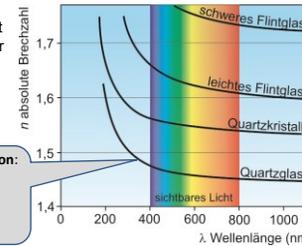


11

e) Dispersion



Die Brechzahl ist eine Funktion der Wellenlänge:
 $n = n(\lambda)$



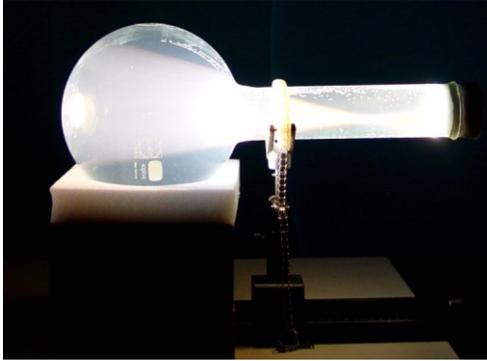
Normale Dispersion: wenn n mit wachsender Wellenlänge abnimmt.



→ siehe später Monochromator

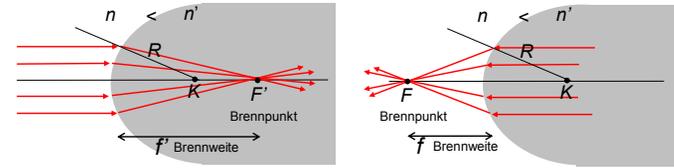
12

Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



(R. Keller, Universität Ulm)

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche



a) Brechkraft (D):
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n}{f} = \frac{n' - n}{R} \quad \left(\frac{1}{\text{m}} = \text{dpt (Dioptrie)} \right)$$

positive Brechkraft und positive Brennweite (Fokussierung)

Die Formel gilt genau nur für achsennahe Strahlen!

13

14

virtueller Brennpunkt

virtueller Brennpunkt

negative Brechkraft und negative Brennweite (Zerstreuung)

Algemein:

Brechzahl des zweiten Mediums	Brechzahl des ersten Mediums	$n_2 - n_1$	R	D	
positiv	positiv	positiv	positiv	positiv	Fokussierung
negativ	positiv	negativ	positiv	negativ	Zerstreuung
positiv	negativ	negativ	negativ	negativ	Zerstreuung
negativ	negativ	negativ	negativ	positiv	Fokussierung

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

Krümmungsradius (R)

○ R ist positiv ($0 < R$), wenn die Grenzfläche konvex ist:

○ R ist negativ ($R < 0$), wenn die Grenzfläche konkav ist:

Für mehrere naheliegenden Grenzflächen gilt:

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

→ siehe Linse und Auge

15

b) Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz

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

Parallelstrahl

Mittelpunktstrahl

Gegenstand

Bild

g - Gegenstandsweite

b - Bildweite

- umgekehrt
- verkleinert
- reell

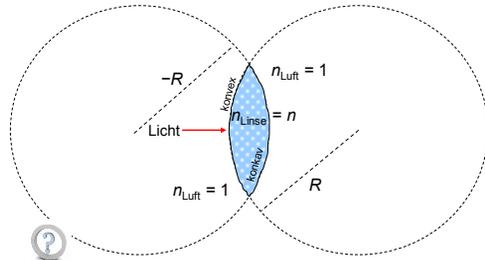
▪ **Abbildungsgesetz:**
$$\left(\frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$
 Gilt nur für achsennahe Strahlen!

16

4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleierformel

Symmetrische sphärische bikonvexe Linsen:



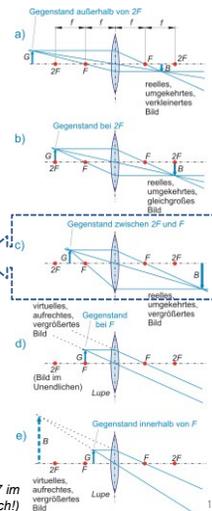
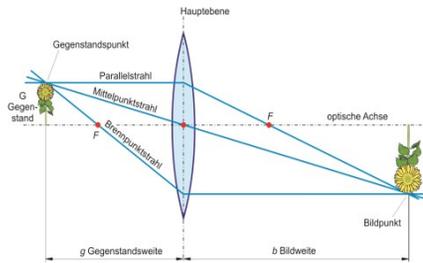
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

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

▪ Linsenschleierformel:

$$D_{\text{Linse}} =$$

c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

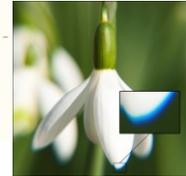
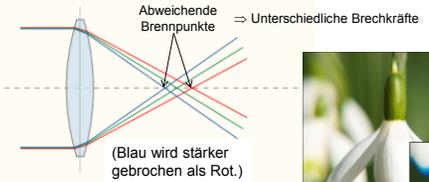


(s. Abbildung 3.7 im Praktikumsbuch)

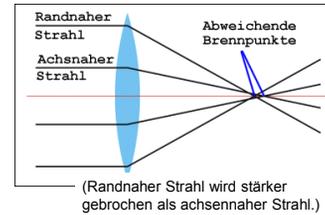
17

b) Linsenfehler

Chromatische Aberration



Sphärische Aberration



Verallgemeinerung:

- **Positive** sphärische Aberration, wenn randnahe Strahlen stärker gebrochen werden.
- **Negative** sphärische Aberration, wenn achsnennahe Strahlen stärker gebrochen werden.

18

▪ Linsengleichung (Abbildungsgesetz):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Luft:} \\ n_g = n_b = 1 \\ f_g = f_b = f \end{array} \right\} \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

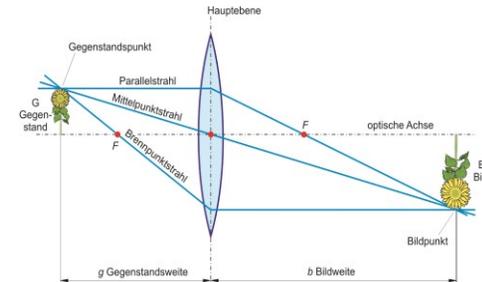
(Bei einem virtuellen Bild ist B negativ.)

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

▪ Vergrößerung (V):

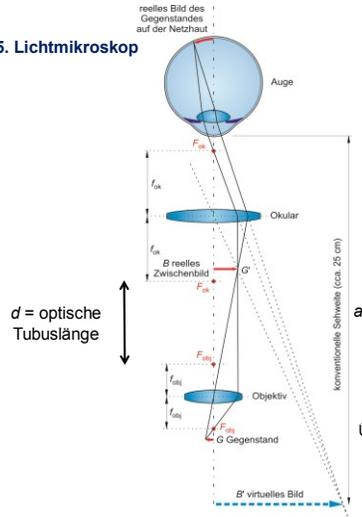
$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

(Bei einem virtuellen Bild ist B und b und dadurch auch V negativ.)



20

5. Lichtmikroskop



- 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!!

→ siehe Wellenoptik

21

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung
2. 10-17, 20, 22, 24, 27



22