

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

4. Vorlesung
26. 09. 2016

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

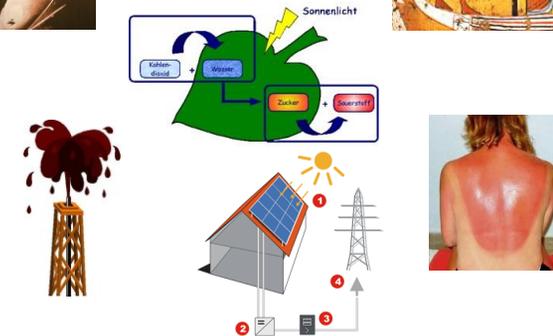
1



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



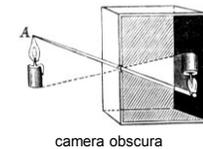
Geometrische Optik

- Wellennatur
- Teilchennatur

3

I. Geometrische Optik

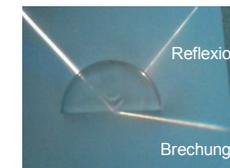
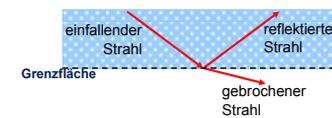
Geradlinige Ausbreitung



camera obscura



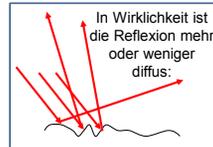
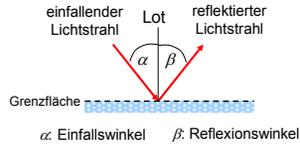
reelles umgekehrtes Bild



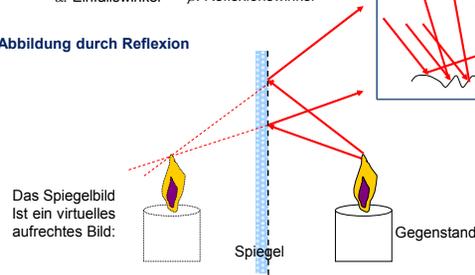
4

1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

a) Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$



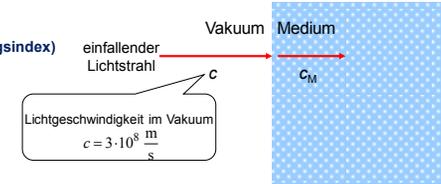
b) Abbildung durch Reflexion



5

2. Brechung

a) Brechzahl (Brechungsindex)



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

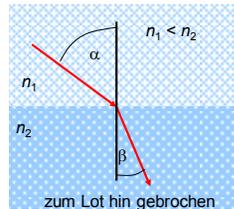
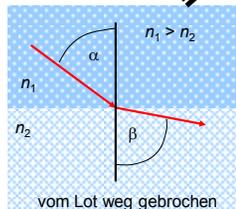
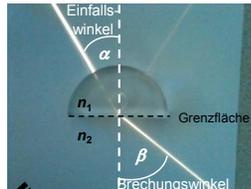
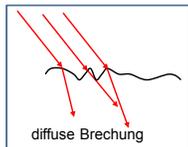
z.B.

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



Brechungsgesetz (Snellius-Descartes-Gesetz):

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

relative Brechzahl

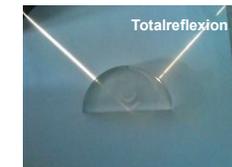
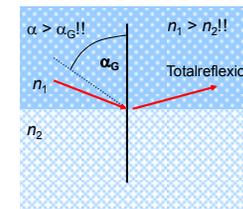
7

c) Grenzwinkel



→ siehe Refraktometer im Praktikum

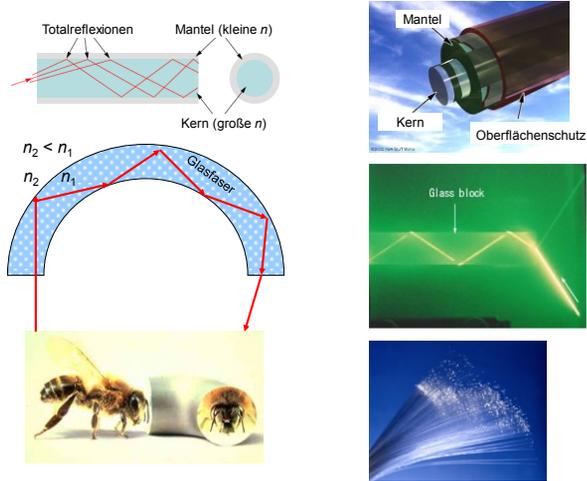
d) Totalreflexion



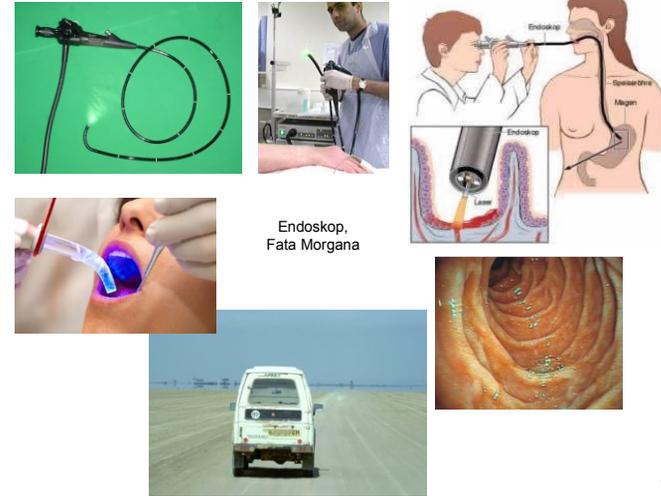
→ optisches Kabel, Endoskop

8

optisches Kabel, Endoskop

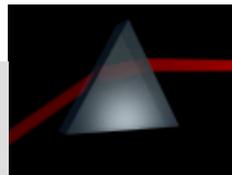
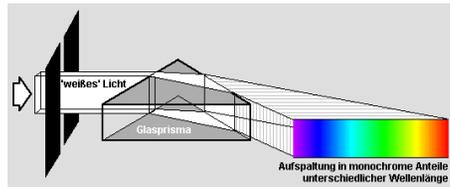


9



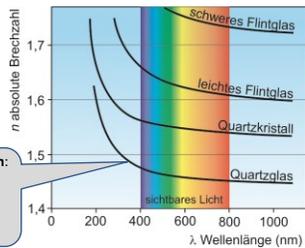
10

e) Dispersion



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

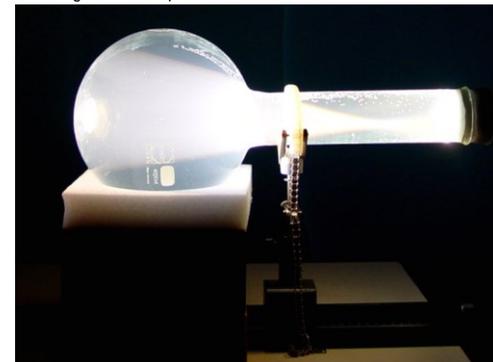
Normale Dispersion:
wenn n mit wachsender Wellenlänge abnimmt.



→ siehe später
Monochromator

11

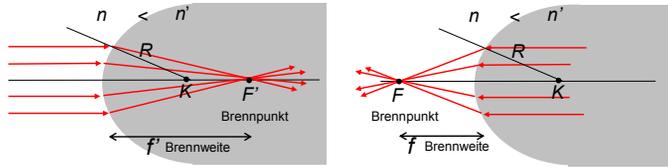
Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



(R. Keller, Universität Ulm)

12

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche



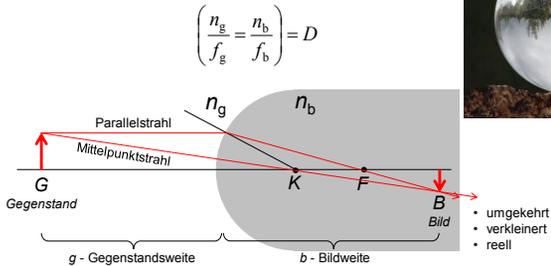
a) Brechkraft (D):
$$D = \frac{n'}{f'} = \frac{n}{f} = \frac{n' - n}{R} \quad \left(\frac{1}{m} = \text{dpt (Dioptrie)} \right)$$

positive Brechkraft und positive Brennweite (Fokussierung)

Die Formel gilt genau nur für achsennahe Strahlen!

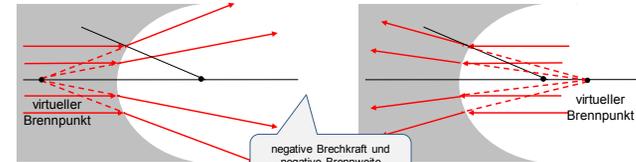
13

b) Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz



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!

15



Allgemein:

Brechzahl des zweiten Mediums
 Brechzahl des ersten Mediums

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

 Krümmungsradius (R)

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

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



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



Für mehrere nahegelegenen Grenzflächen gilt:

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

→ siehe Linse und Auge

14

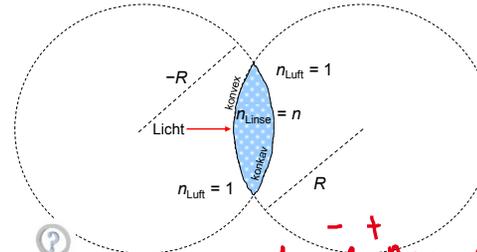
4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleierformel

Symmetrische sphärische bikonvexe Linsen:

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

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



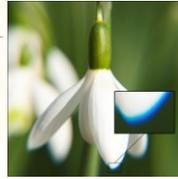
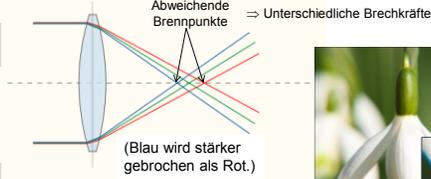
Linsenschleierformel:

$$\frac{1}{f} = D_{\text{Linse}} = D_1 + D_2 = \frac{n_{\text{Linse}} - 1}{R} + \frac{1 - n_{\text{Linse}}}{+R} = (n_{\text{Linse}} - 1) \cdot \frac{2}{R}$$

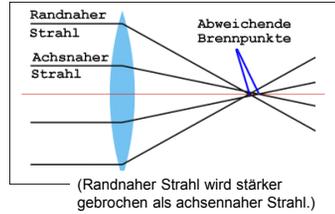
16

b) Linsenfehler

Chromatische Aberration



Sphaerische Aberration

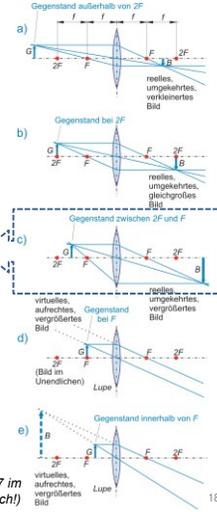
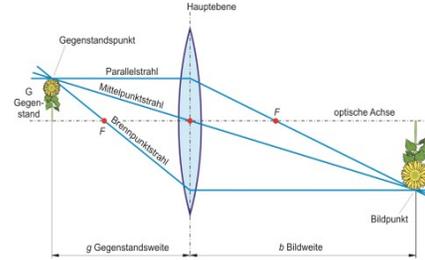


Verallgemeinerung:

- > **Positive** sphaerische Aberration, wenn randnaeher Strahlen staerker gebrochen werden.
- > **Negative** sphaerische Aberration, wenn achsenaeher Strahlen staerker gebrochen werden.

17

c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung



(s. Abbildung 3.7 im Praktikumsbuch!)

18

Linsengleichung (Abbildungsgesetz):

Luft: $n_g = n_b = 1$

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

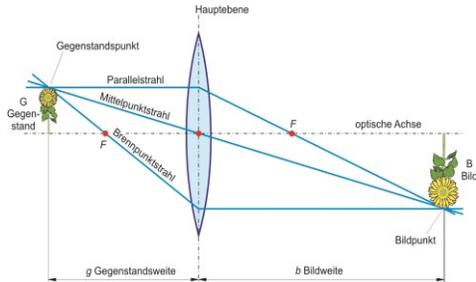
(Bei einem virtuellen Bild ist b negativ.)

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

Vergroerung (V):

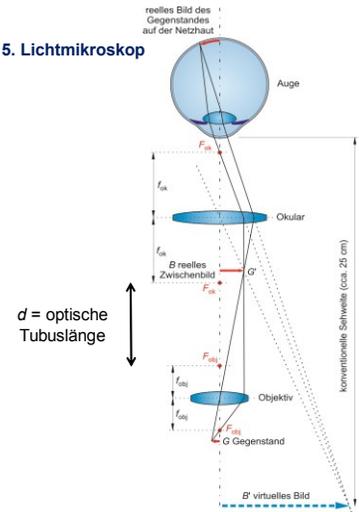
$$V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

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



19

5. Lichtmikroskop



Vergroerung 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

20

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

