

# Medizinische Biophysik

## Licht in der Medizin. Medizinische Optik

4. Vorlesung  
03. 10. 2018

### 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

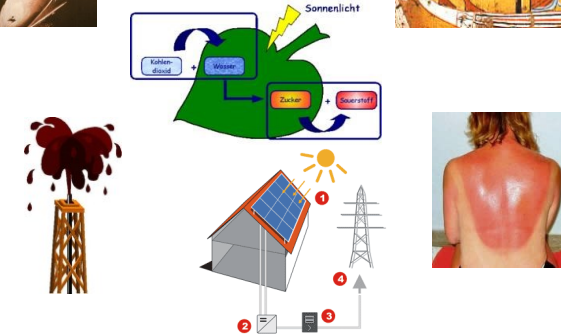
#### 5. Lichtmikroskop

1

## Bedeutung des Lichtes

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

(Pharaoh Echnaton)



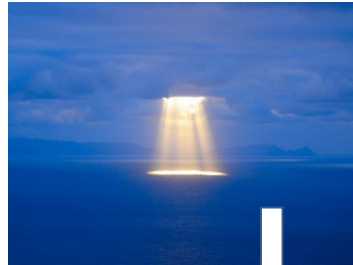
2

## Eigenschaften des Lichtes

### • Energietransport



### • Geradlinige Ausbreitung



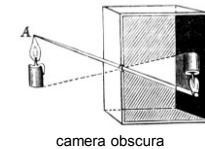
Geometrische Optik

- Wellennatur
- Teilchennatur

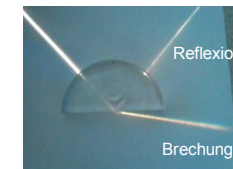
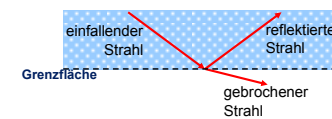
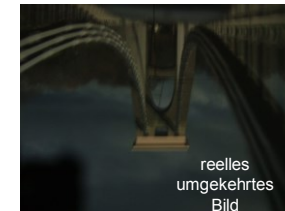
3

## I. Geometrische Optik

### Geradlinige Ausbreitung



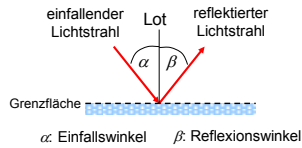
camera obscura



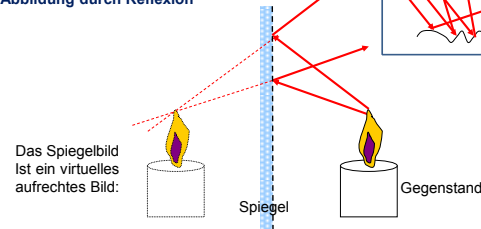
4

## 1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

a) Reflexionsgesetz:  $\alpha = \beta$



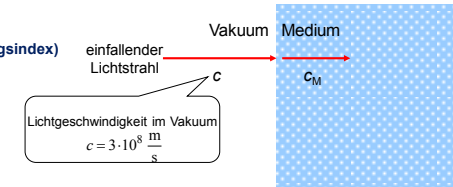
b) Abbildung durch Reflexion



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!

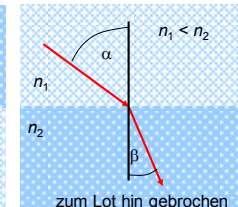
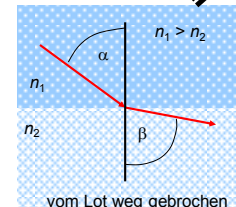
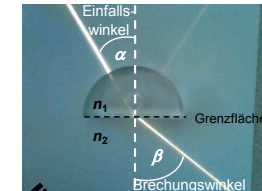
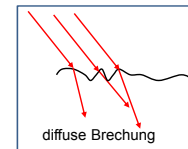
Fermat's Principle of Least Time Predicts Refraction of Ant Trails at Substrate Borders  
Jan Christen<sup>1,2</sup>, Volker S. Schmidt<sup>1,3</sup>, Niko Zanker<sup>1</sup>, Oliver Ray<sup>1</sup>, Andreas Drescher<sup>1,4</sup>, Jürgen Helber<sup>1</sup>  
PLOS ONE | www.plosone.org  
March 2013 | Volume 8 | Issue 3 | e59739

Ameisennest



Nahrung

7



**Brechungsgesetz**  
(Snellius-Descartes-Gesetz):

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

relative Brechzahl

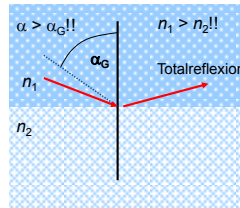
8

### c) Grenzwinkel

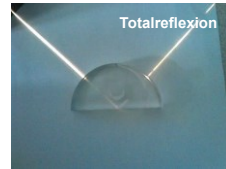


→ siehe Refraktometer  
im Praktikum

### d) Totalreflexion

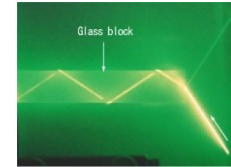
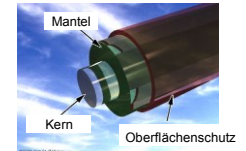
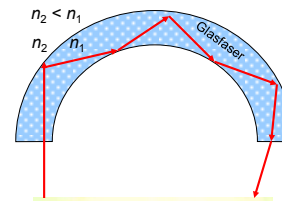
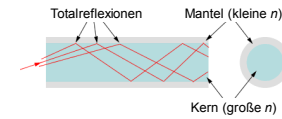


→ optisches Kabel, Endoskop

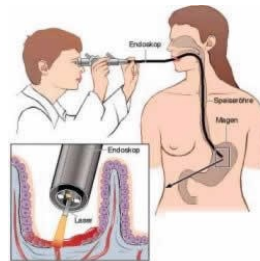


9

### optisches Kabel, Endoskop



10

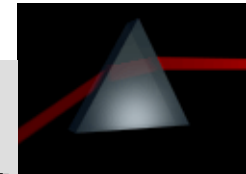
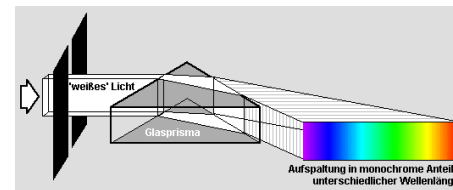


Endoskop,  
Fata Morgana

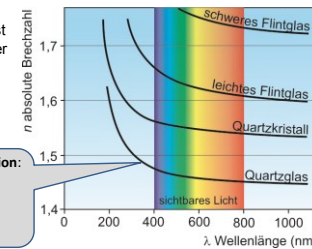


11

### e) Dispersion



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



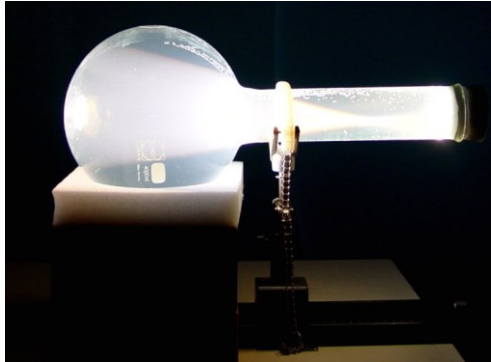
Normale Dispersion:  
wenn  $n$  mit  
wachsender  
Wellenlänge  
abnimmt.



→ siehe später  
Monochromator

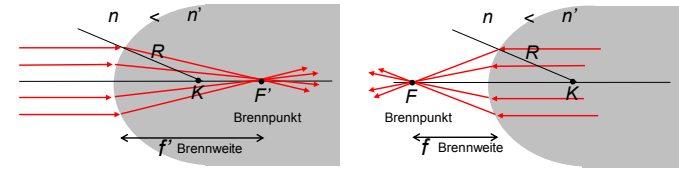
12

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

negative Brechkraft und negative Brennweite (Zerstreuung)

virtueller Brennpunkt

Allgemein:

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

Brechzahl des zweiten Mediums

Brechzahl des ersten Mediums

Krümmungsradius (R)

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

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

konvex

konkav

Für mehrere naheliegenden Grenzflächen gilt:

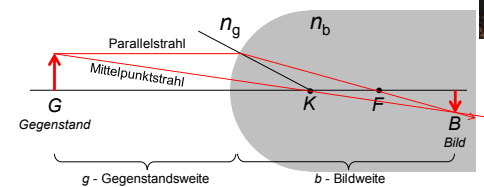
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

→ siehe Linse und Auge

15

### b) Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz

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



- umgekehrt
- verkleinert
- reell

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

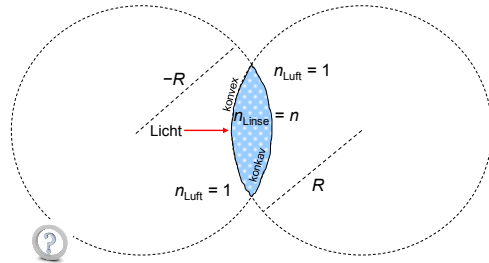
Gilt nur für achsennahe Strahlen!

16

#### 4. Linsen

##### a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleierformel

Symmetrische sphärische bikonvexe Linsen:



##### ▪ Linsenschleierformel:

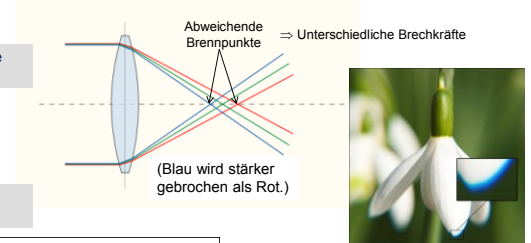
$$D_{\text{Linse}} =$$

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

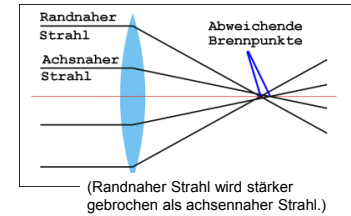
$$D = \frac{n_2}{f_2} \left( = \frac{n_1}{f_1} \right) = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

##### b) Linsenfehler

Chromatische  
Aberration



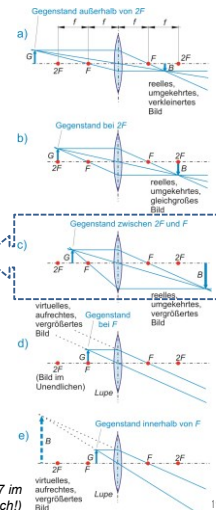
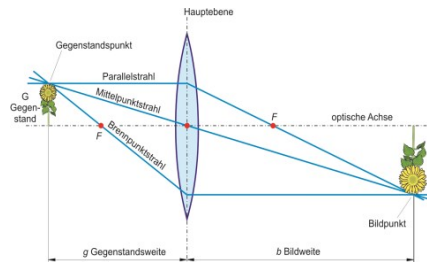
Sphärische  
Aberration



Verallgemeinerung:

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

##### c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung



(s. Abbildung 3.7 im Praktikumsbuch!)

##### ▪ Linsengleichung (Abbildungsgesetz):

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

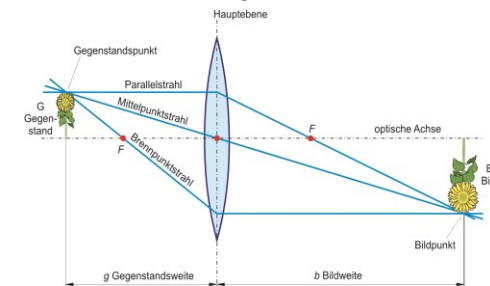
(Bei einem virtuellen Bild ist b negativ.)

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

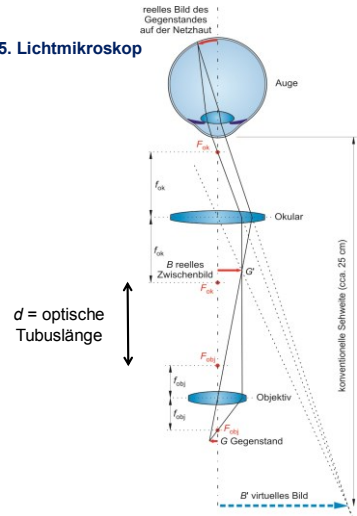
##### ▪ Vergrößerung (V):

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

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



## 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