

# Medizinische Biophysik

4. Vorlesung

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

## 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, Linsenscheitelformel
- b) Linsenfehler
- c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

### 5. Lichtmikroskop

## II. Wellenoptik

### 1. Grundkenntnisse der Wellenlehre

Vorkenntnisse  
(s. Eine kurze  
Rekapitulation  
... Lektion 8)

- a) Welle, Wellenlänge ( $\lambda$ ), Frequenz ( $f$ ), Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $c$ )  
Transversal- und Longitudinalwellen
- b) Lineare Polarisation
- c) Reflexion und Brechung an Grenzflächen
- d) Interferenz
- e) Beugung, Huygenssches Prinzip

### 2. Licht als Welle

- a) Beugung (Diffraktion) des Lichtes
- b) Wellenlängenbereiche des Lichtes
- c) Licht = elektromagnetische Welle
- d) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes – endliche Auflösung der optischen Instrumente

## Eigenschaften des Lichtes

### • Energietransport



### • Geradlinige Ausbreitung



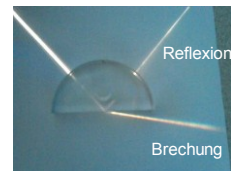
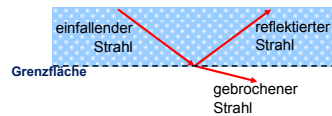
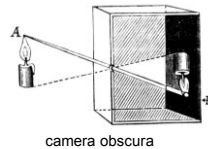
Geometrische Optik

### • Wellennatur

### • Teilchennatur

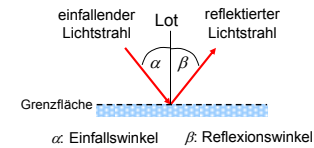
## I. Geometrische Optik

### Geradlinige Ausbreitung

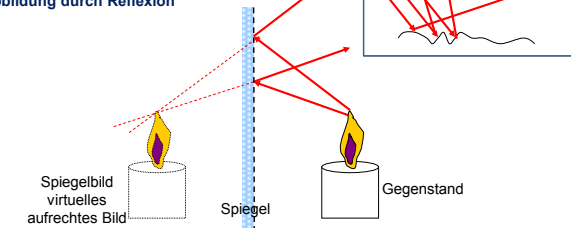


### 1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

#### a) Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$

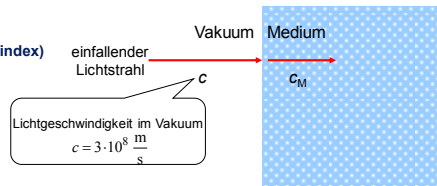


#### b) Abbildung durch Reflexion



## 2. Brechung

### a) Brechzahl (Brechungsindex)



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

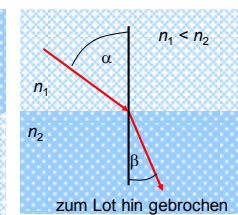
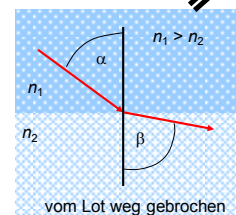
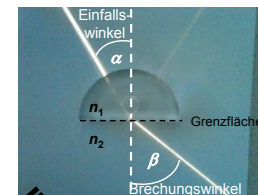
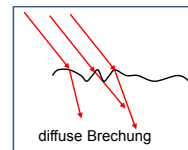
z.B.

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.)

5

### 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

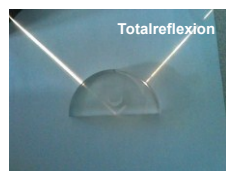
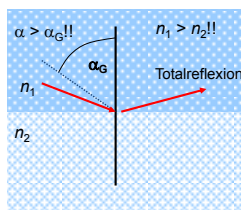
6

### c) Grenzwinkel



→ siehe Refraktometer im Praktikum

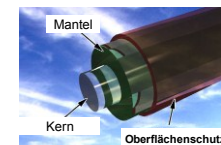
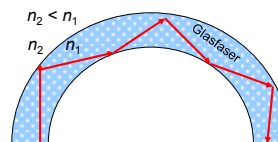
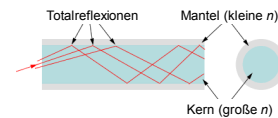
### d) Totalreflexion



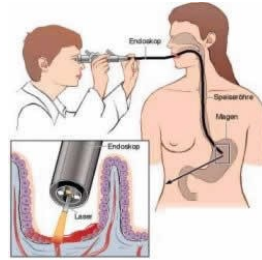
→ optisches Kabel, Endoskop

7

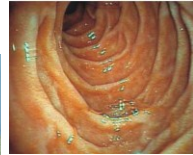
### optisches Kabel, Endoskop



8

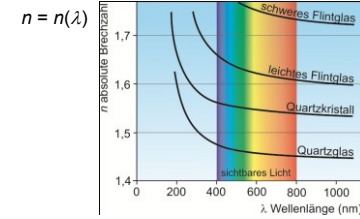
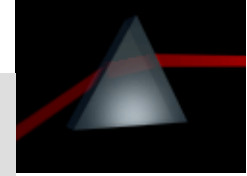
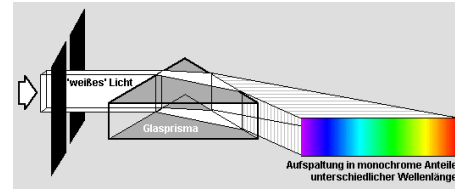


Endoskop, Fata Morgana



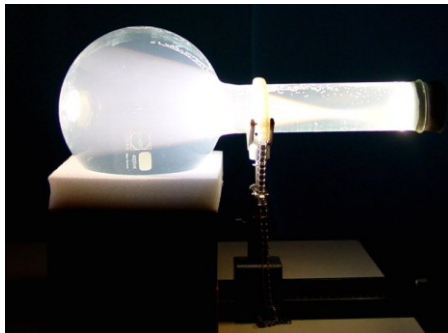
9

### e) Dispersion



→ siehe später Monochromator

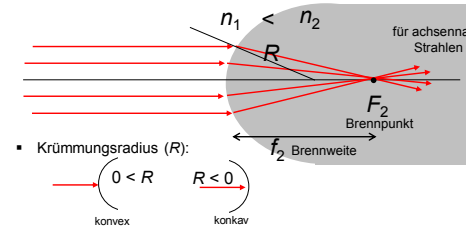
10



(R. Keller, Universität Ulm)

### 3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

#### a) Brechkraft (D):



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

für achsennahe Strahlen

Brennpunkt  $F_2$

Brennweite  $f_2$

• Krümmungsradius (R):

$0 < R$  konvex

$R < 0$  konkav

$D < 0$  Zerstreuung

$0 < D$  Fokussierung

Für naheliegende Grenzflächen gilt:

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

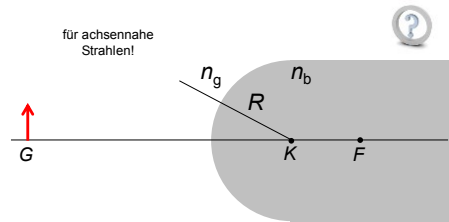


$n_2 - n_1$	R	D
$0 <$	$0 <$	$0 <$ Fokussierung
$< 0$	$0 <$	$< 0$ Zerstreuung
$0 <$	$< 0$	$< 0$ Zerstreuung
$< 0$	$< 0$	$0 <$ Fokussierung

→ siehe Linse und Auge

12

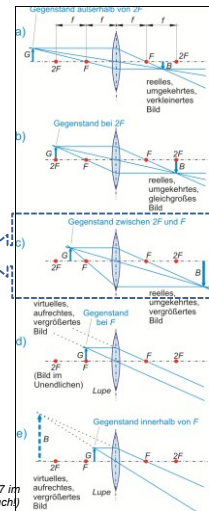
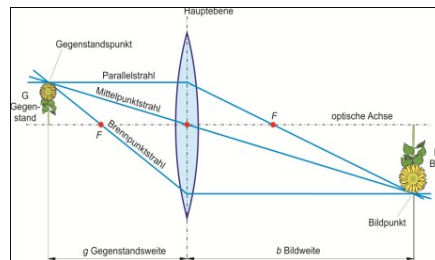
b) Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz



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

13

c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung



(s. Abbildung 3.7 im Praktikumbuch)

15

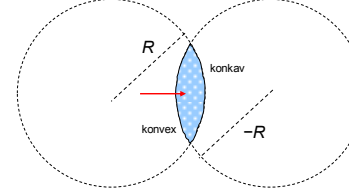
4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel

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

$$D = \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_1}{f_1} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

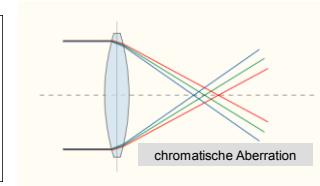
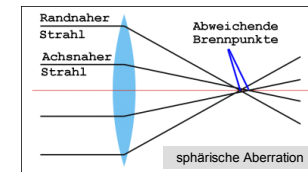
Symmetrische sphärische bikonvexe Linsen:



Linsenschleiferformel: ?

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

b) Linsenfehler



14

Linsengleichung (Abbildungsgesetz):

Luft:  $n_g = n_b = 1$

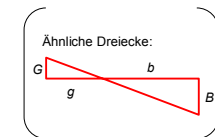
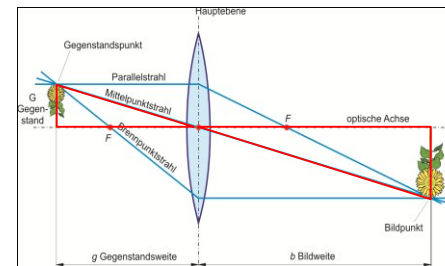
$$f_g = f_b = f \quad \left\} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

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

(Bei einem virtuellen Bild ist b negativ.)

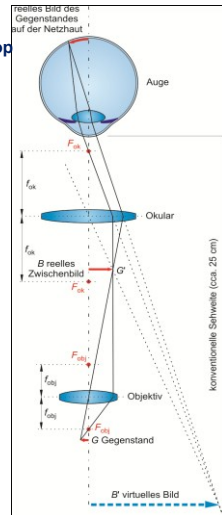
Vergrößerung (V):  $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$

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



16

## 5. Lichtmikroskop



Vergrößerung des Mikroskops: ?

$$V =$$

Über  $V = 500$  leere Vergrößerung!!

→ siehe Wellenoptik

17

## II. Wellenoptik

### 1. Grundkenntnisse der Wellenlehre

a) Welle, Wellenlänge ( $\lambda$ ), Frequenz ( $f$ ), Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $c$ )  $c = \lambda \cdot f$   
Transversal- und Longitudinalwellen

b) Lineare Polarisation

[c) Reflexion und Brechung an Grenzflächen]

d) Interferenz

e) Beugung, Huygenssches Prinzip

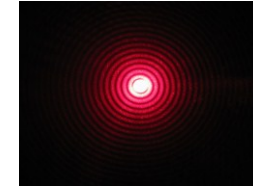
Vorkenntnisse (s. „Eine kurze Rekapitulation...“  
Lektion 8)

### 2. Licht als Welle

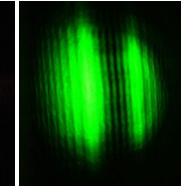
a) Beugung (Diffraktion) des Lichtes

Beweis für den  
Wellencharakter des  
Lichtes

Beugung eines Laserstrahls  
an einem Loch

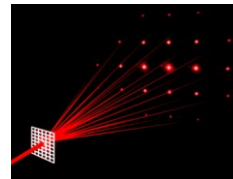
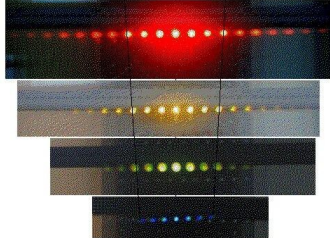


Beugung eines Laserstrahls  
an einem Haar



18

Beugung von Laserstrahlen unterschiedlicher  
Wellenlänge an einem optischen Gitter



Beugung eines Laserstrahls an einem  
zweidimensionalen optischen Gitter

Beugung von weißem Licht an einem optischen Gitter



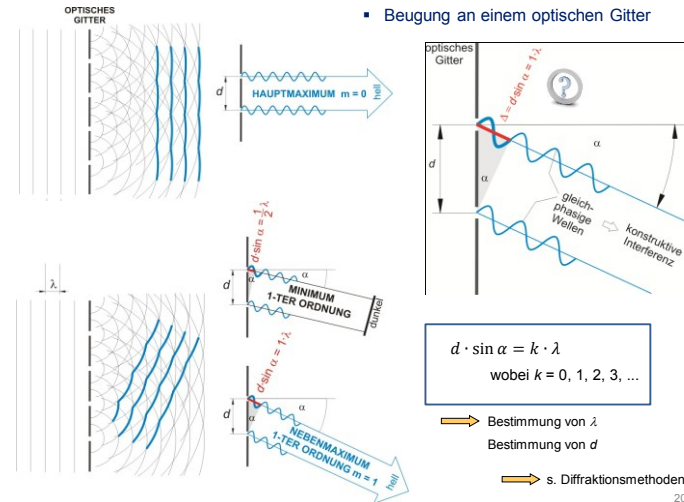
Hauptmaximum

Nebenmaximum  
1-ter Ordnung

Nebenmaximum  
2-ter Ordnung

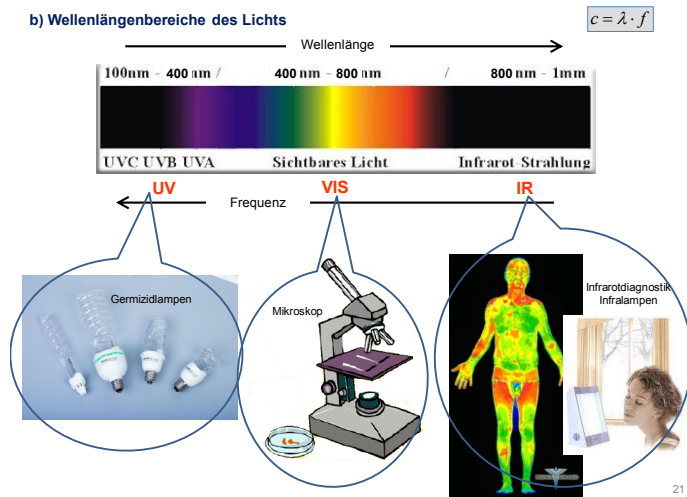
19

Beugung an einem optischen Gitter



20

## b) Wellenlängenbereiche des Lichts



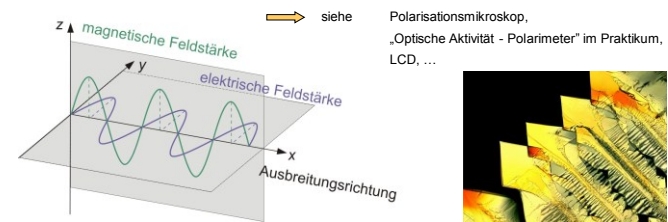
21

## c) Licht = elektromagnetische Welle

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  
 $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen  
Diese Geschwindigkeit stimmt so gut mit der Lichtgeschwindigkeit überein, daß wir anscheinend allen Grund zur Annahme haben, das Licht (sowie die Wärmestrahlung, aber auch andere Strahlungen, wenn es solche gibt) sei eine elektromagnetische Störung, die sich in Form von Wellen durch das elektromagnetische Feld, den Gesetzen des Elektromagnetismus entsprechend, fortpflanzt.  
Maxwell: A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1869)

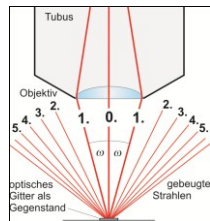
Transversalwelle ⇒ Polarisierbarkeit



22

## d) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes – endliche Auflösung der optischen Instrumenten

- Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops (o)



„So präzise eine Linse auch geschliffen sei, infolge der Wellennatur des Lichtes tritt an der Eintrittsöffnung der Linse Diffraction auf: demzufolge erhält man von einer punktförmigen Lichtquelle statt eines punktförmigen Bildes eine kleine leuchtende Scheibe. Dieses Phänomen verhindert das Studium beliebig feiner Strukturen, weil diese Scheiben einander überlappen.“



23

- Hausaufgaben: ■ Neue Aufgabensammlung 2. Teil  
(siehe unter den Dokumenten auf der Webseite)  
2. 10-18, 20, 23, 27 und 28



24