

Medizinische Biophysik 4. Vorlesung

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

I. Geometrische Optik

1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

- Reflexionsgesetz:
- Abbildung durch Reflexion

2. Brechung

- Brechzahl (Brechungsindex)
- Brechung, Brechungsgesetz
- Grenzwinkel
- Totalreflexion
- Dispersion

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

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

4. Linsen

- Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel
- Linienfehler
- Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung

5. Lichtmikroskop

II. Wellenoptik

1. Grundkenntnisse der Wellenlehre

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

- Welle, Wellenlänge (λ), Frequenz (f), Ausbreitungsgeschwindigkeit (c)
Transversal- und Longitudinalwellen
- Lineare Polarisation
- Reflexion und Brechung an Grenzflächen
- Interferenz
- Beugung, Huygensches Prinzip

2. Licht als Welle

- Beugung (Diffraktion) des Lichtes
- Wellenlängenbereiche des Lichtes
- Licht = elektromagnetische Welle
- Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes – endliche Auflösung der optischen Instrumenten

Eigenschaften des Lichtes

• Energietransport



• Geradlinige Ausbreitung



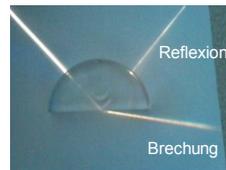
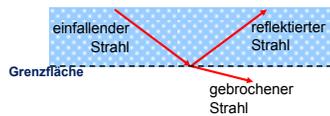
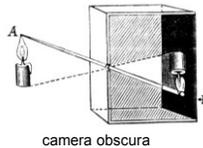
Geometrische Optik

• Wellennatur

• Teilchennatur

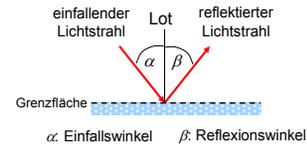
I. Geometrische Optik

Geradlinige Ausbreitung

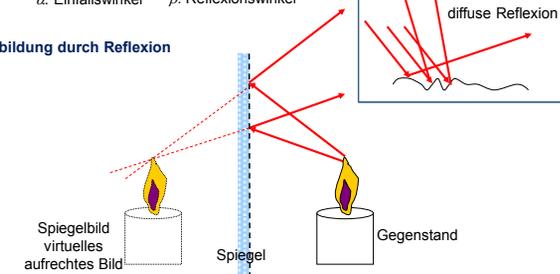


1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

a) Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$

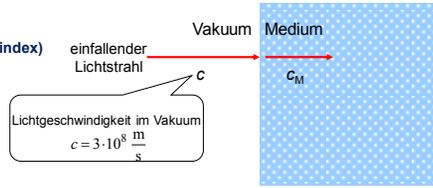


b) Abbildung durch Reflexion



2. Brechung

a) Brechzahl (Brechungsindex)



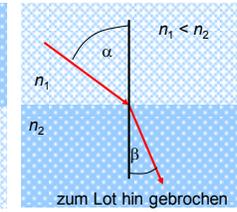
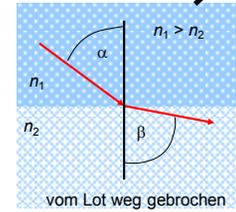
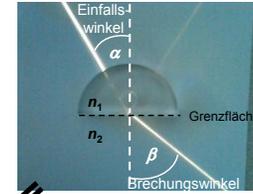
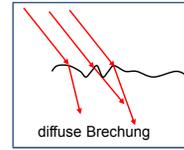
absolute Brechzahl (n): $n = \frac{c}{c_M} \geq 1$ z.B.

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

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

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

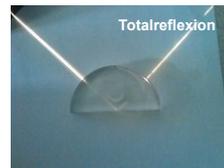
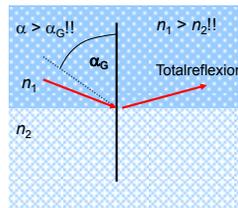
6

c) Grenzwinkel



→ siehe Refraktometer im Praktikum

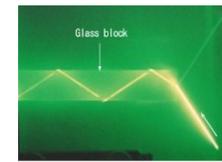
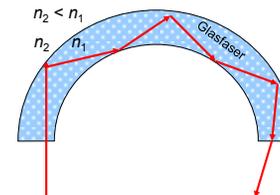
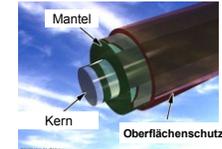
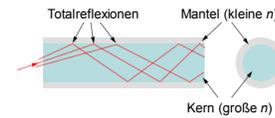
d) Totalreflexion



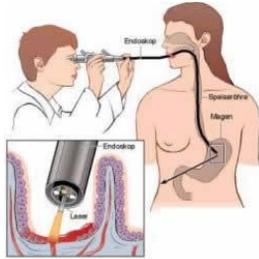
→ optisches Kabel, Endoskop

7

optisches Kabel, Endoskop



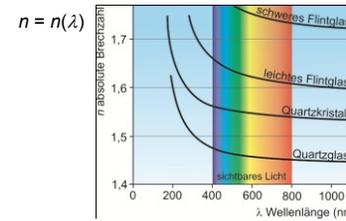
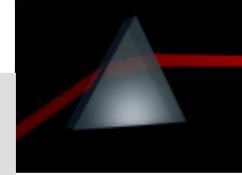
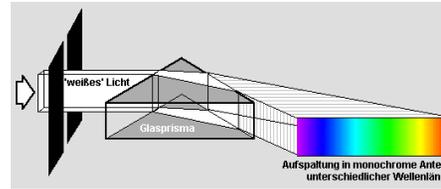
8



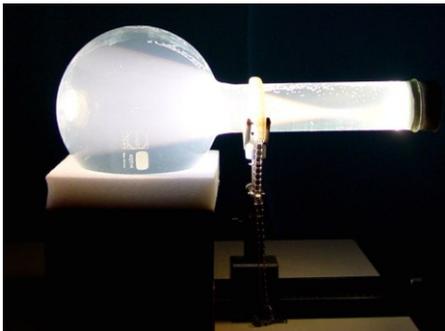
Endoskop, Fata Morgana



e) Dispersion

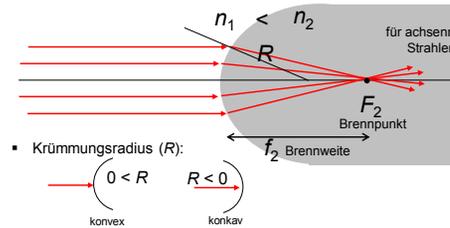


→ siehe später Monochromator



(R. Keller, Universität Ulm)

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche



a) Brechkraft (D):

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

$D < 0$ Zerstreung
 $0 < D$ Fokussierung

- Krümmungsradius (R):



Für naheliegende Grenzflächen gilt:

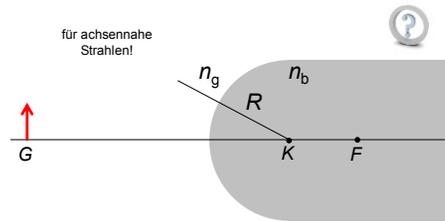
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$



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

→ siehe Linse und Auge

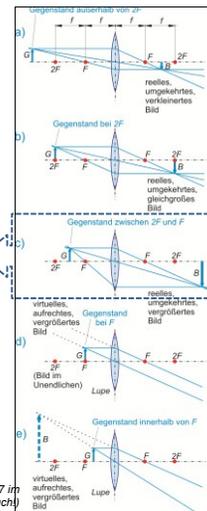
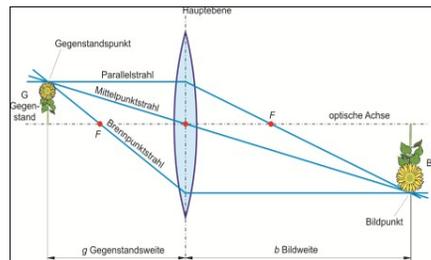
b) Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche, Abbildungsgesetz



▪ **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 Praktikumsbuch)

15

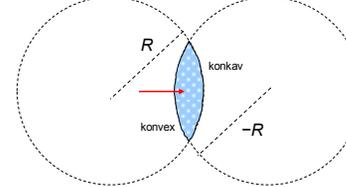
4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleiferformel

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

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

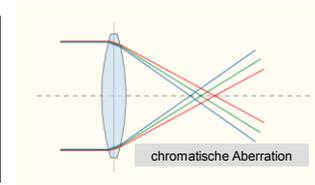
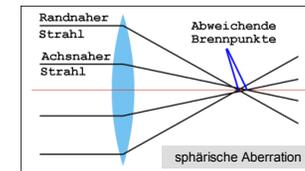
Symmetrische sphärische bikonvexe Linsen:



▪ **Linsenschleiferformel:** ?

$D_{\text{Linse}} =$

b) Linsenfehler



14

▪ **Linsengleichung (Abbildungsgesetz):**

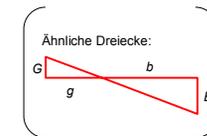
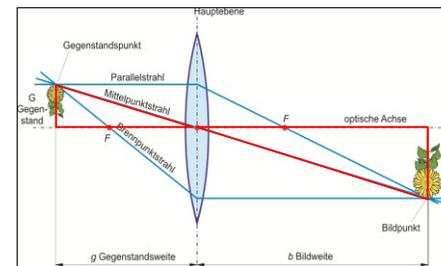
Luft: $n_g = n_b = 1$ } $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$

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

(Bei einem virtuellen Bild ist b negativ.)

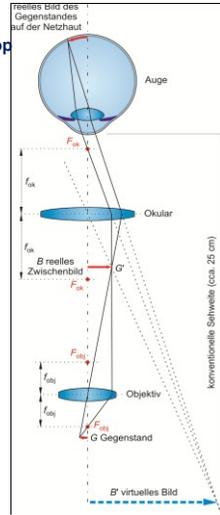
▪ **Vergrößerung (V):** $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$

(Bei einem virtuellen Bild ist B und dadurch auch V 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 (λ), Frequenz (f), Ausbreitungsgeschwindigkeit (c) $c = \lambda \cdot f$
 Transversal- und Longitudinalwellen

b) Lineare Polarisation

c) Reflexion und Brechung an Grenzflächen

d) Interferenz

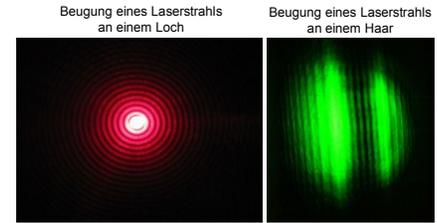
e) Beugung, Huygensches Prinzip

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

2. Licht als Welle

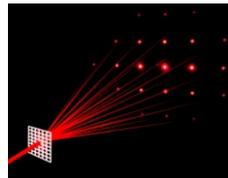
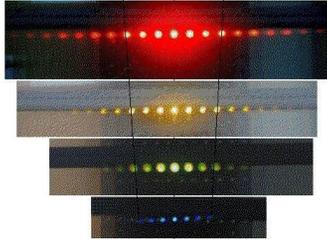
a) Beugung (Diffraction) des Lichtes

Beweis für den Wellencharakter des Lichtes



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



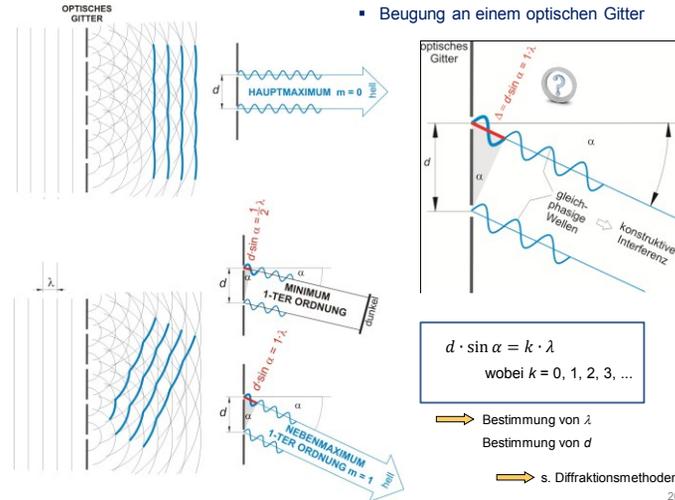
Hauptmaximum

Nebenmaximum
1-ter Ordnung

Nebenmaximum
2-ter Ordnung

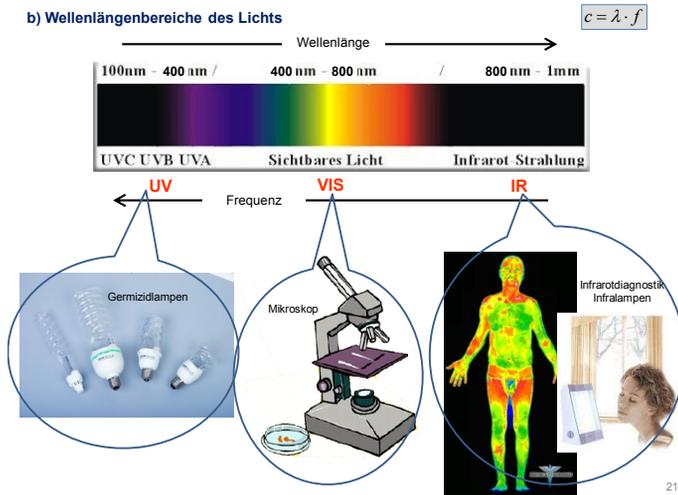
19

Beugung an einem optischen Gitter



20

b) Wellenlängenbereiche des Lichts



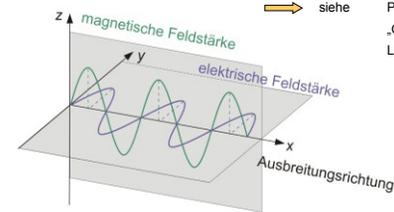
21

c) Licht = elektromagnetische Welle

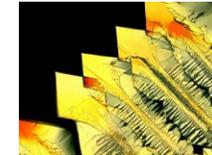
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
 $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

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 (1865)

Transversalwelle \Rightarrow Polarisierbarkeit



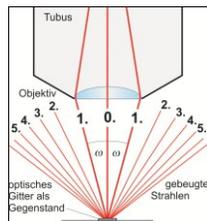
\Rightarrow siehe Polarisationsmikroskop, „Optische Aktivität - Polarimeter“ im Praktikum, LCD, ...



22

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

- Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops (δ)



„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