

Medizinische Biophysik

Licht in der Medizin. Medizinische Optik

2014/15
4. Vorlesung

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

II. Wellenoptik

1. Grundkenntnisse der Wellenlehre

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

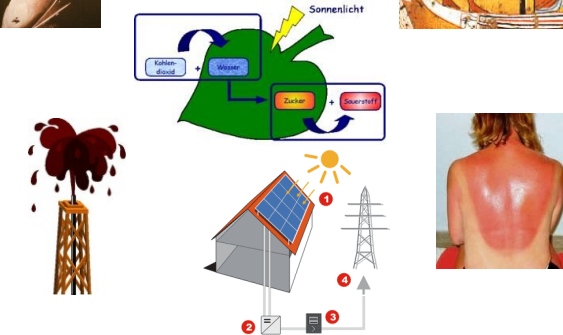
2. Licht als Welle

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

Bedeutung des Lichtes

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

(Pharaoh Echnaton)



Eigenschaften des Lichtes

• Energietransport



• Geradlinige Ausbreitung

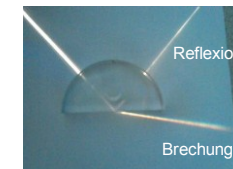
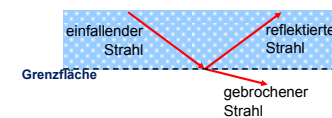
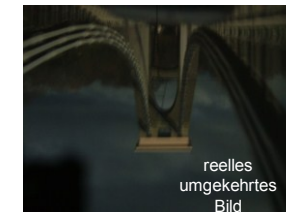
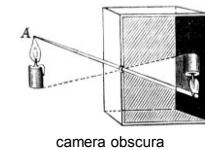


Geometrische Optik

- Wellennatur
- Teilchennatur

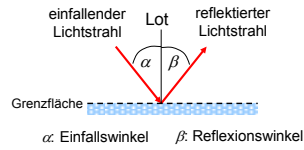
I. Geometrische Optik

Geradlinige Ausbreitung

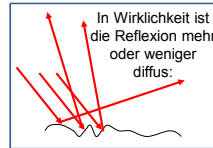
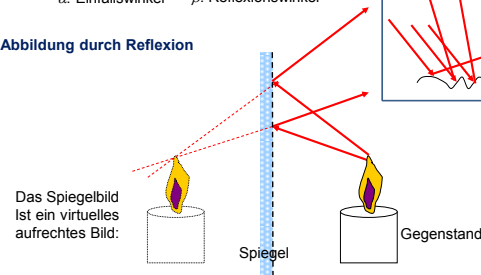


1. Reflexion (im Rahmen der geometrischen Optik)

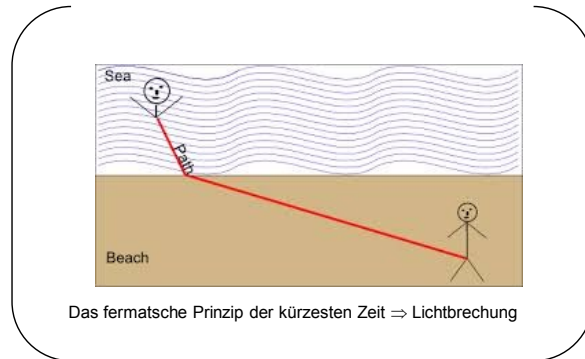
a) Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$



b) Abbildung durch Reflexion



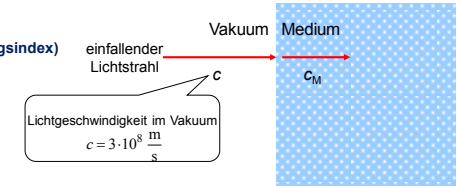
5



7

2. Brechung

a) Brechzahl (Brechungsindex)



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

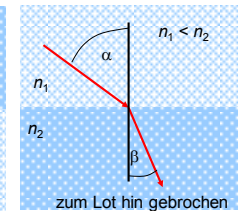
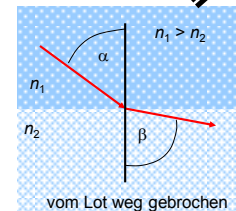
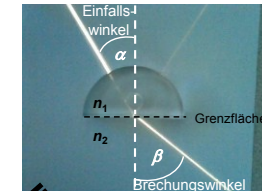
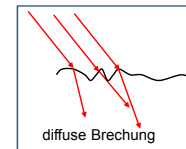
z.B.

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



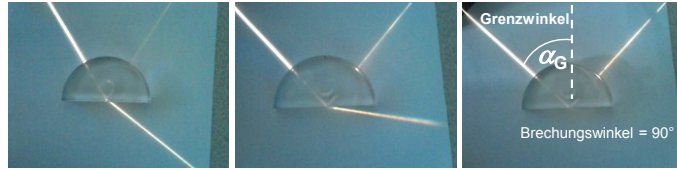
Brechungsgesetz
(Snellius-Descartes-Gesetz):

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

relative Brechzahl

8

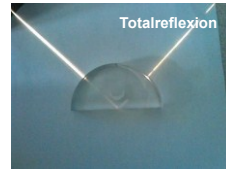
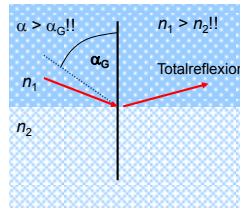
c) Grenzwinkel



Grenzwinkel
 α_G
 Brechungswinkel = 90°

→ siehe Refraktometer im Praktikum

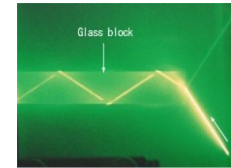
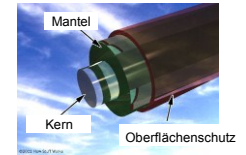
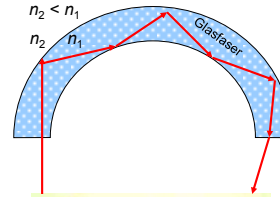
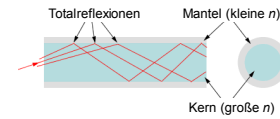
d) Totalreflexion



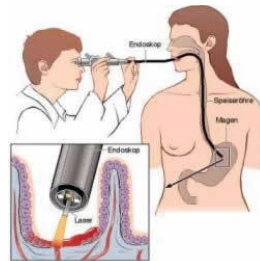
→ optisches Kabel, Endoskop

9

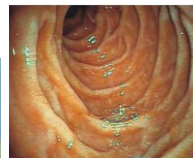
optisches Kabel, Endoskop



10

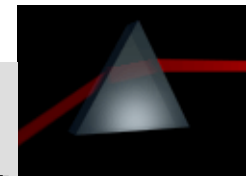
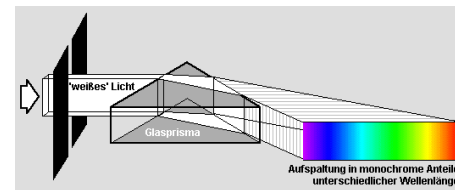


Endoskop,
Fata Morgana



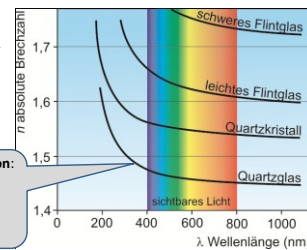
11

e) Dispersion



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

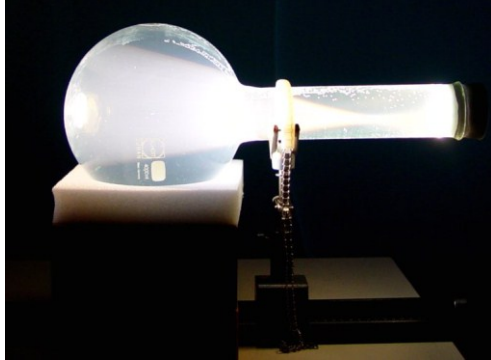
Normale Dispersion:
wenn n mit wachsender Wellenlänge abnimmt.



→ siehe später Monochromator

12

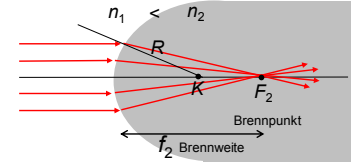
Brechung durch eine sphärische Grenzfläche:



(R. Keller, Universität Ulm)

13

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche



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

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

Die Formel gilt nur für achsennahe Strahlen genau!

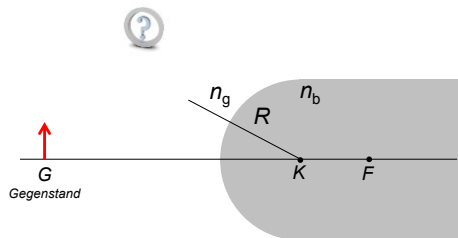
D ist positiv ($0 < D$) \Rightarrow Fokussierung
 D ist negativ ($D < 0$) \Rightarrow Zerstreuung

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

Für naheliegende Grenzflächen gilt:
 $D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$



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

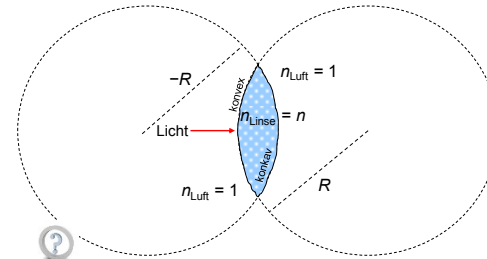
4. Linsen

a) Brechkraft einer Linse, Linsenschleierformel

Symmetrische sphärische bikonvexe Linsen:

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

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



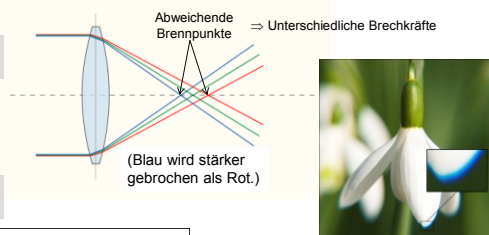
▪ Linsenschleierformel:

$D_{\text{Linse}} =$

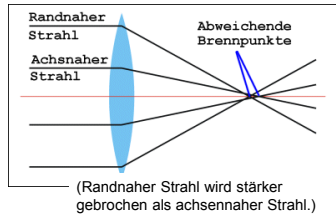
16

b) Linsenfehler

Chromatische
Aberration



Sphärische
Aberration

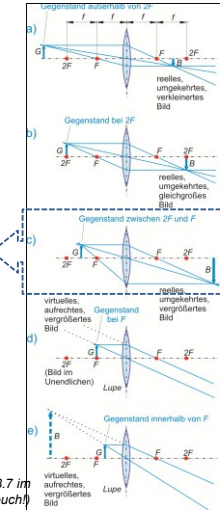
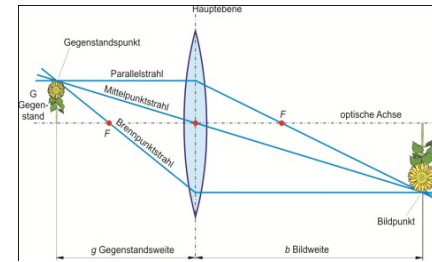


\Rightarrow Verallgemeinerung:

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

17

c) Abbildung durch eine Linse, Linsengleichung



(s. Abbildung 3.7 im Praktikumbuch)

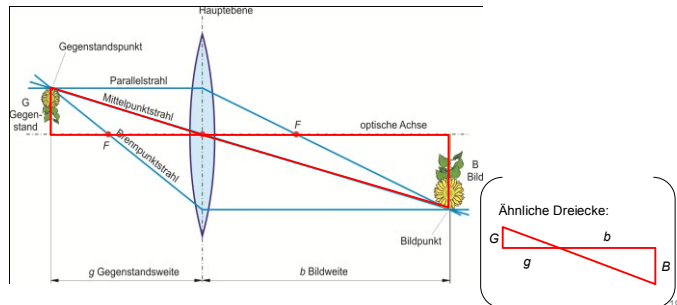
18

• Linsengleichung (Abbildungsgesetz):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Luft:} \\ n_g = n_b = 1 \\ f_g = f_b = f \end{array} \right\} \frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (\text{Bei einem virtuellen Bild ist } b \text{ negativ.})$$

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

• Vergrößerung (V): $V = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$ (Bei einem virtuellen Bild ist B und b negativ.)

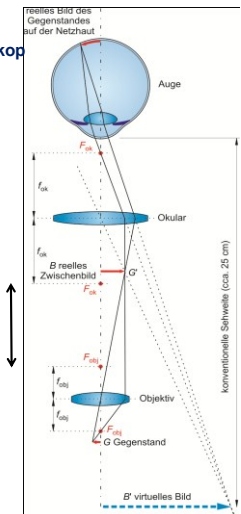


5. Lichtmikroskop

• Vergrößerung des Mikroskops: ?

$$V =$$

d = optische
Tubuslänge



Über $V \approx 500$ leere Vergrößerung!!

\Rightarrow siehe Wellenoptik

20

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, Huygenssches Prinzip

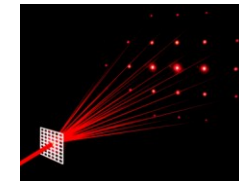
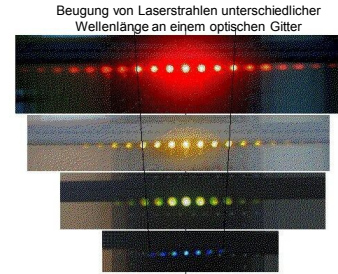
2. Licht als Welle

a) Beugung (Diffraktion) des Lichtes

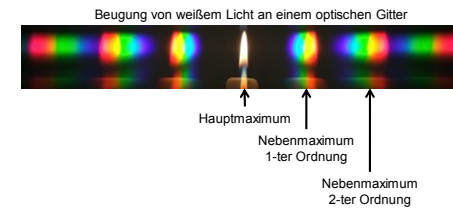
Beweis für den Wellencharakter des Lichtes



21



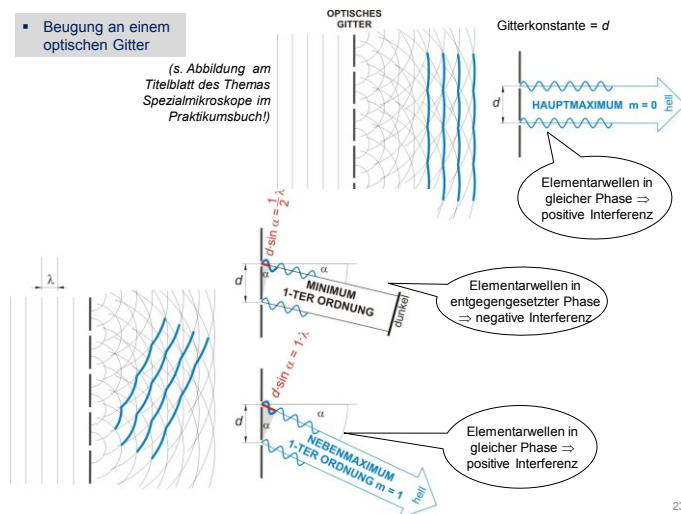
Beugung eines Laserstrahls an einem zweidimensionalen optischen Gitter



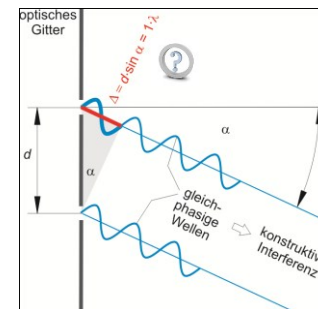
22

Beugung an einem optischen Gitter

(s. Abbildung am Titelblatt des Themas Spezialmikroskope im Praktikumsbuch!)



23



$$d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda$$

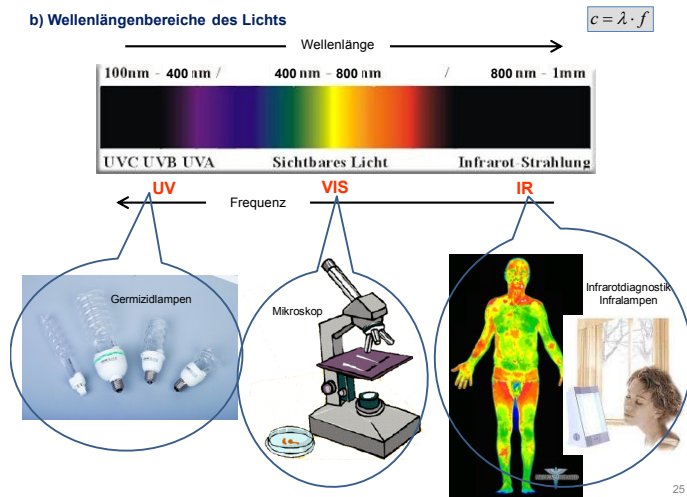
wobei $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Bestimmung von λ

Bestimmung von d , s. Diffraktionsmethoden

24

b) Wellenlängenbereiche des Lichts



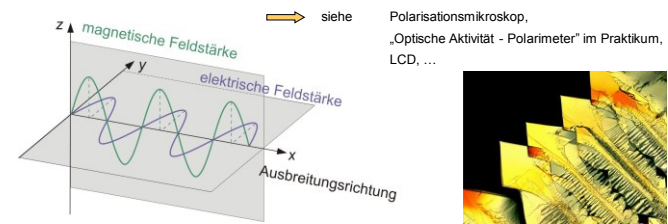
25

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)

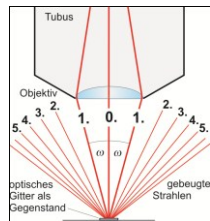
Transversalwelle ⇒ Polarisierbarkeit



26

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.“



27

Hausaufgaben: ■ Neue Aufgabensammlung
2. 10-17, 20, 23-26 und 28-29



28