

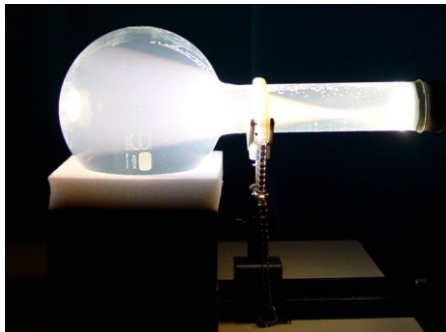
Medizinische Biophysik

1

Licht in der Medizin



1

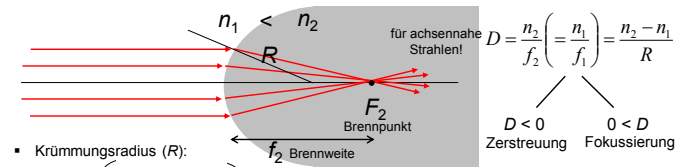


(R. Keller, Universität Ulm)

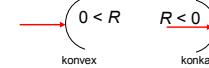
3

3. Brechung an einer sphärischen Grenzfläche

▪ Brechkraft (D):



▪ Krümmungsradius (R):



Für naheliegende Grenzflächen gilt:

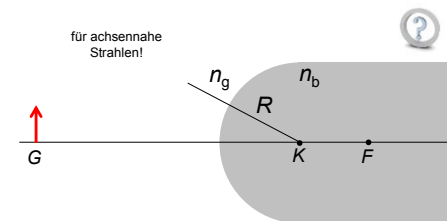
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$



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

2

4. Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche

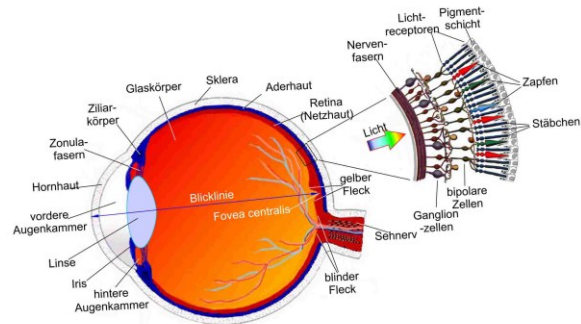


▪ Abbildungsgesetz: $\left(\frac{n_g}{f_g} = \frac{n_b}{f_b} \right) = D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$

4

5. Optik des Auges

a) Aufbau des Auges



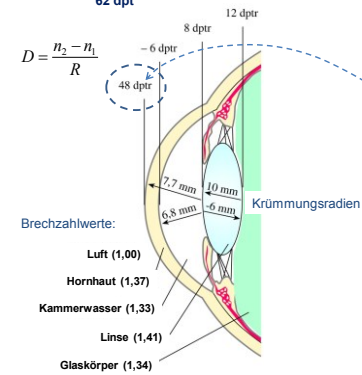
5

b) Brechkraft des Auges

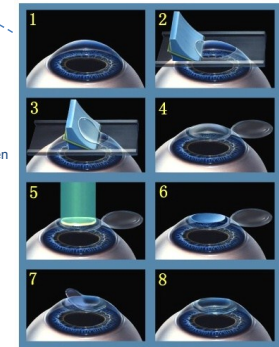
diffuse Brechung

Gesamtbrechkraft:
62 dpt

ohne Akkomodation



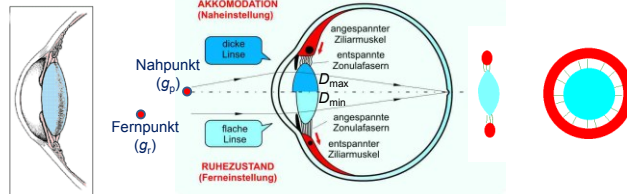
LASIK:



Rechenaufgabe: die Brechkraftwerte zu überprüfen.

6

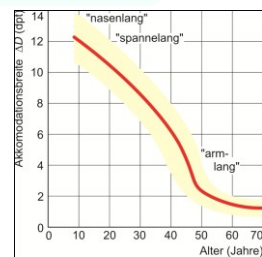
c) Akkomodation



Akkommodationsbreite (ΔD):

$$\Delta D = D_{\max} - D_{\min}$$

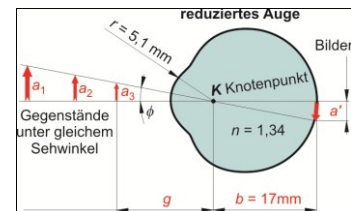
Bestimmung? Siehe später!



7

d) Bildentstehung im Auge

Reduziertes Auge



Brechkraft des reduzierten Auges:

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

Sehwinkel ϕ :

$$\phi \text{ (rad)} =$$

8

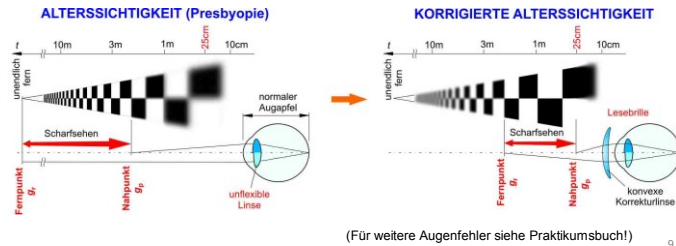
Akkommodationsbreite (ΔD): ?

$$D = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

$$D_{\max} = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b} =$$

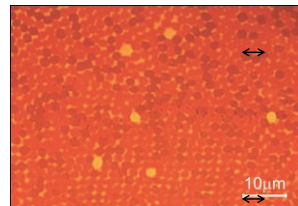
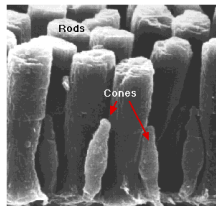
$$D_{\min} = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b} =$$

- Augenfehler (Beispiel):



9

Erklärung:
➤ biologisch



Gegenstandspunkte	Bildpunkte	Empfindung
• •	• •	•
• •	• •	•
• •	• •	• •

Sehwinkelgrenze infolge
Rezeptordichte:

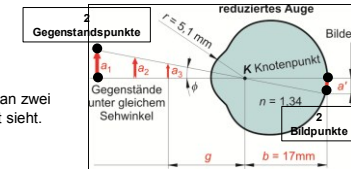
$$\alpha =$$



11

e) (räumliche) Auflösung des Auges

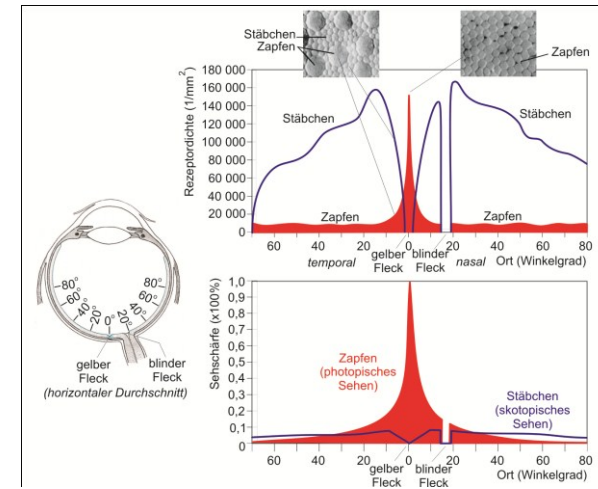
- Sehwinkelgrenze (α):
Der minimale Sehwinkel unter welchem man zwei Gegenstandspunkte noch gerade getrennt sieht.
- Auflösungsvermögen:



- Sehschärfe (Visus):

Erklärung:
➤ biologisch
➤ physikalisch

10

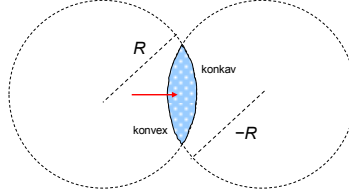


12

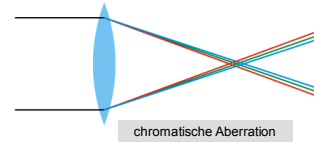
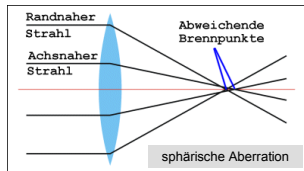
6. Linsen

Brechkraft einer Linse

Symmetrische sphärische bikonvexe Linsen:



Linsenfehler



13

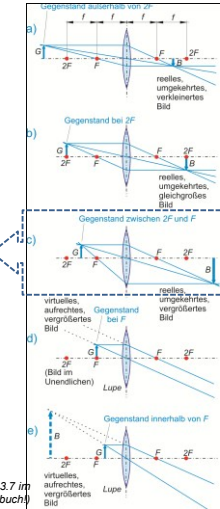
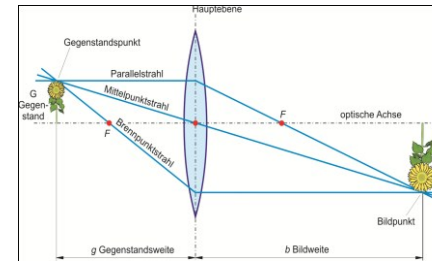
$$D_{\text{gesamt}} = D_1 + D_2 + D_3 + \dots$$

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

Linsenscheielformel:

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

Abbildung durch eine Linse



(s. Abbildung 3.7 im Praktikumsbuch)

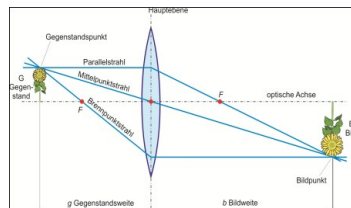
14

Abbildungsgesetz (Linsengleichung)

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

Vergrößerung (V):

$$V =$$

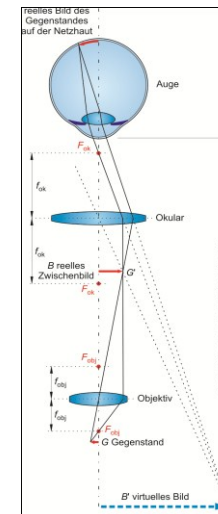


15

6. Mikroskop

Vergrößerung des Mikroskops:

$$V =$$



Über $V \approx 500$ leere Vergrößerung!!

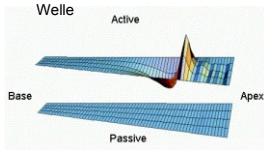
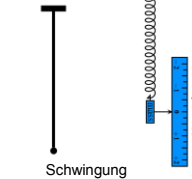
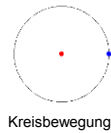
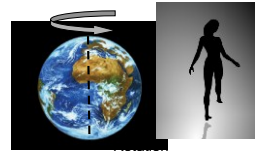
→ siehe Wellenoptik

16

II. Wellenoptik

1. Im Allgemeinen über Schwingungen und Wellen

a) Periodische Vorgänge



- Periodenzeit (T)
- Frequenz (f): $f = \frac{1}{T}$ ($\frac{1}{s} = \text{Hz (Hertz)}$)
- Kreisfrequenz (ω): $\omega = 2\pi \cdot f$

17

b) Mechanische Schwingungen

- Eigenschwingung
Schwingung eines sich selbst überlassenen Systems.

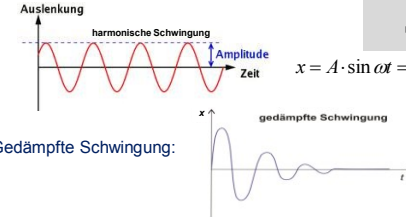


- Amplitude (A): maximale Auslenkung

- Eigenfrequenz Die Frequenz einer Eigenschwingung

z.B.
beim Fadenpendel: $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$
beim Federpendel: $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{m}}$
→ s. „Resonanzmessung“ im Praktikum

- Harmonische Schwingung:



- Gedämpfte Schwingung:

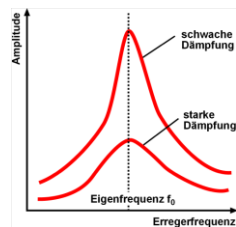
18

- Erzwungene Schwingung Schwingung unter dem Einfluss einer äußeren periodischen Erregungskraft.

Resonanz

Besonders starke erzwungene Schwingung, wenn die Erregerfrequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt.

Resonanzkurve



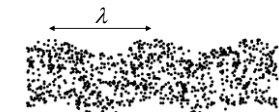
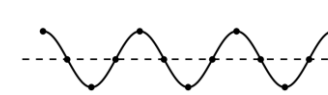
→ s. „Resonanzmessung“ im Praktikum, Außenohr, Rasterkraftmikroskop (AFM), Magnetische Resonanz Imaging (MRI), ...

19

c) Mechanische Wellen Ausbreitung eines Schwingungszustandes in einem schwingungsfähigen Medium

- Wellenlänge (λ):

- Transversalwelle



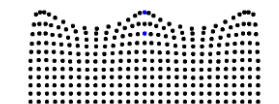
- Longitudinalwelle



- Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz:

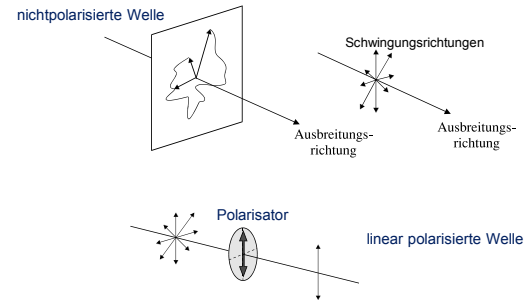
$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle



20

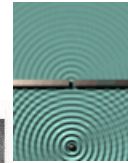
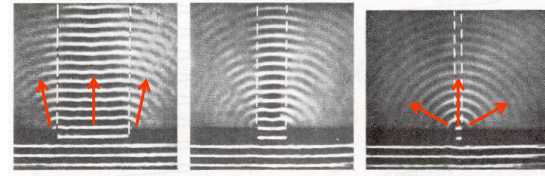
- **Polarisation (lineare Polarisation)** Nur bei Transversalwellen(!): eine Schwingungsrichtung wird festgelegt



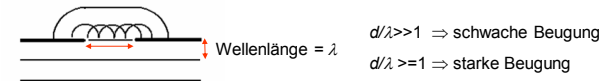
21

- **Beugung (Diffraktion)** Abweichung von der ursprünglichen Ausbreitungsrichtung am Rand einer Öffnung oder eines Hindernisses

Beugung an einer Öffnung:



- **Huygensches Prinzip:** Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Welle, der sog. Elementarwelle betrachtet werden. Durch die Überlagerung dieser Elementarwellen ergibt sich die beobachtbare Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.



22

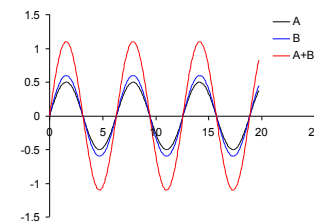
- **Interferenz** Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge

- Wenn
- Gleiche Wellenlänge
 - Feste Phasenbeziehung

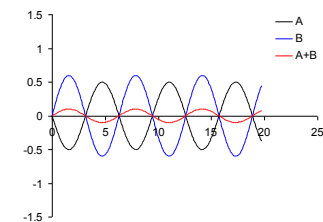


23

positive (konstruktive) Interferenz
Verstärkung



negative (destruktive) Interferenz
"Auslöschen"



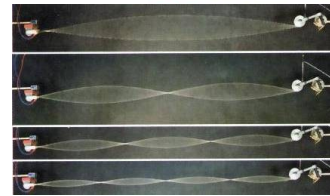
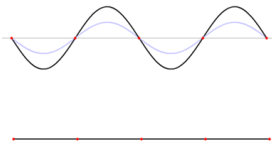
$$\Delta s = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots = n \cdot \lambda, \\ \text{wo } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

24

Stehende Wellen

Reflexion einer Welle
am freien Ende am festen Ende

Interferenz der einfallenden
und reflektierten Wellen



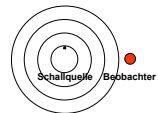
Schwingungsbäuche

Schwingungsknoten

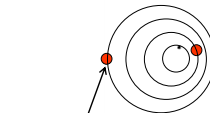


25

Doppler-Effekt Frequenzverschiebung der ausgesendeten Welle bei relativer Bewegung von Quelle und Beobachter



$$f_{\text{ausgesendet}} = f_{\text{beobachtet}}$$



$$f_{\text{ausgesendet}} > f_{\text{beobachtet}}$$

$$f_{\text{ausgesendet}} < f_{\text{beobachtet}}$$

Doppler-Verschiebung: Δf

Ultraschall-Doppler-Technik
Laser-Doppler-Technik



27

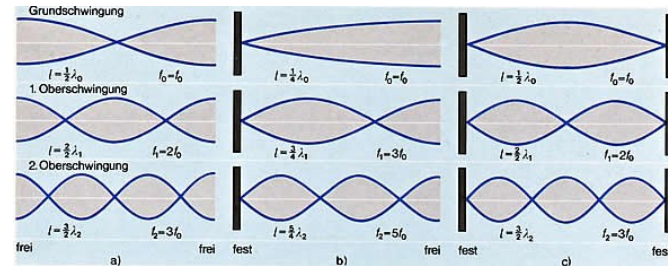
$$c = \lambda \cdot f$$

Grundschwingung $\lambda_0 = 2 \cdot l \Rightarrow f_0 = \frac{c}{2l}$ Grundfrequenz

1. Oberschwingung $\lambda_1 = l \Rightarrow f_1 = \frac{c}{l} = 2 \cdot f_0$

2. Oberschwingung $\lambda_2 = \frac{2}{3} \cdot l \Rightarrow f_2 = \frac{3c}{2l} = 3 \cdot f_0$

Fourier-Analyse



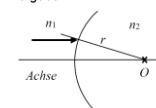
Außenrohr

26

Rechenaufgaben: Praktikumsbuch 16.

- Ein Lichtstrahl fällt parallel zur optischen Achse, 10 mm weit von ihr, auf eine gekrümmte Grenzfläche ($n_1 = 1$, und $n_2 = 1.4$). Der Krümmungsradius r beträgt 25 mm. Berechnen Sie a) den Einfallswinkel, b) den Brechungswinkel, c) den Abstand des Schnittpunktes des gebrochenen Strahls und der Achse (Fokus) vom Punkt O!
- Eine Brillenlinse ist 5 dptr "stark". Geben Sie die Brennweite der Linse in cm-Einheit an!
- Eine symmetrische Konvexlinse besitzt einen Krümmungsradius von 25 cm. Der Brechungsindex des Linsenstoffes beträgt 1.4. Berechnen Sie a) Brechkraft, b) und Brennweite!
- Die Brechkraft einer bikonvexen Glaslinse ($n_{\text{Glas}} = 1.5$) hat in Luft den Wert von 12 dpt. Welchen Wert nimmt die Brechkraft an, wenn die Linse in Wasser ($n_{\text{Wasser}} = 1.333$) getaucht ist?
- Eine Konvexlinse mit einer Brechkraft von 3,33 dpt entwirft von einem 70 cm entfernten und 10 cm großen Gegenstand ein Bild. a) Berechnen Sie die Brennweite; b) ermitteln Sie die Bildweite und -größe durch Rechnung; c) desgleichen durch maßstäbliche Konstruktion; d) berechnen Sie die Vergrößerung!
- Die Daten eines Mikroskops: $f_{\text{Objektiv}} = 5$ mm, $f_{\text{Okular}} = 12$ mm, $d = 12$ cm. a) Berechnen Sie die Vergrößerung des Mikroskops! b) Wie groß ist das Bild eines Erythrozyten des Durchmessers $8 \mu\text{m}$?

Zur Aufgabe 1.



Lösungen:

- a) 23,6° b) 16,6° c) 58,5 mm
- 20 cm
- a) 3,2 dpt b) 31,3 cm
- 3 dpt
- a) 30cm b) $b = 52,5$ cm, $B = 7,5$ cm c) 0,75
- a) 500 b) 4 mm

28