

# Medizinische Biophysik

3

Licht in der Medizin  
(Fortsetzung)



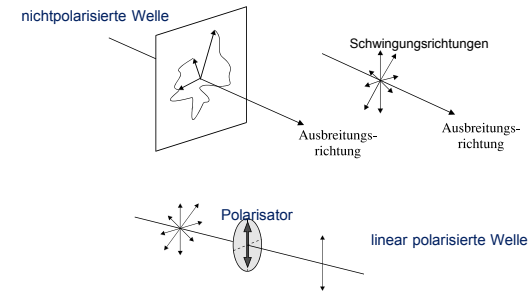
1

## II. Wellenoptik

### 1. Im Allgemeinen über Schwingungen und Wellen

#### c) Mechanische Wellen

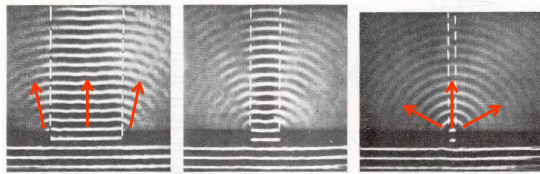
- Polarisation (lineare Polarisation) Nur bei Transversalwellen(!): eine Schwingungsrichtung wird festgelegt



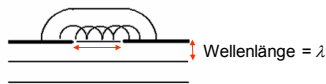
2

- 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.



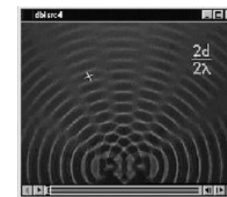
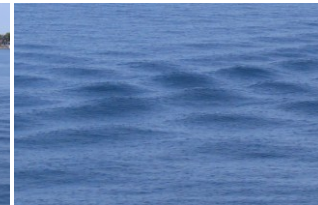
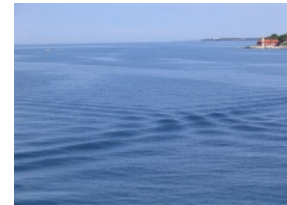
$d/\lambda \gg 1 \Rightarrow$  schwache Beugung

$d/\lambda \approx 1 \Rightarrow$  starke Beugung

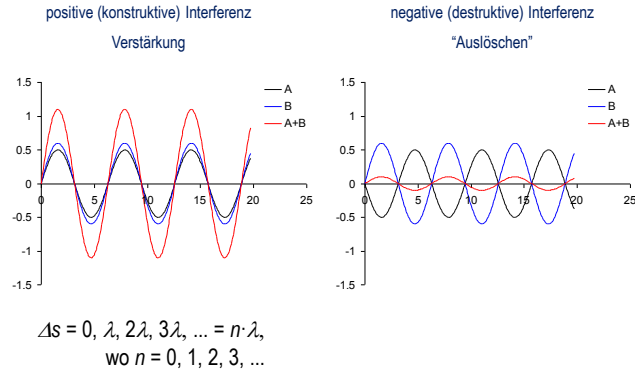
3

- Interferenz Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge

Wenn  
○ Gleiche Wellenlänge  
○ Feste Phasenbeziehung

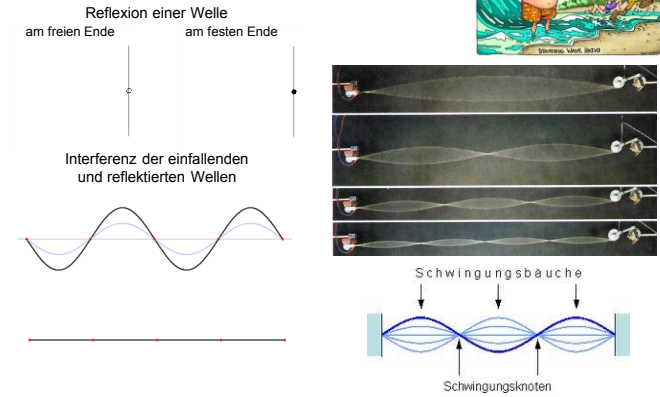


4

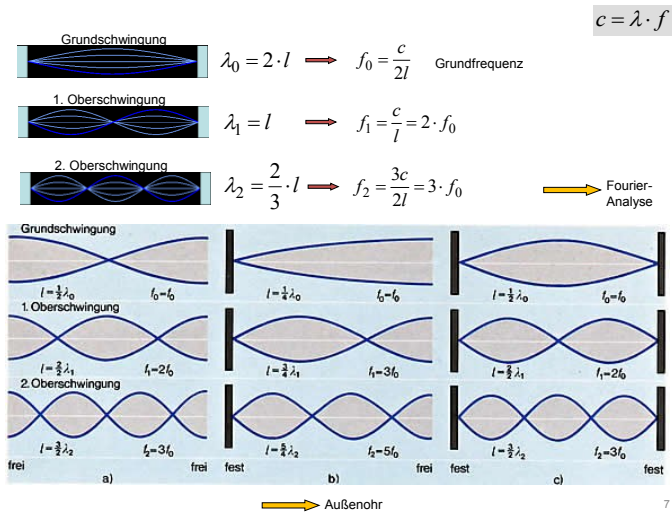


5

## Stehende Wellen



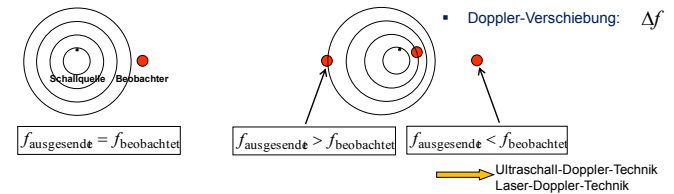
6



7

## Doppler-Effekt

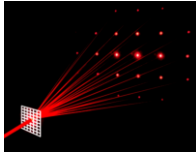
Frequenzverschiebung der ausgesendeten Welle bei relativer Bewegung von Quelle und Beobachter



8

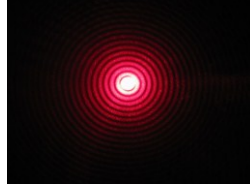
## 2. Licht als Welle

### a) Beugung (Diffraktion) des Lichtes

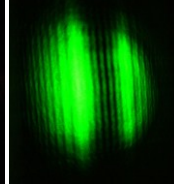


Beugung eines Laserstrahls an einem zweidimensionalen optischen Gitter

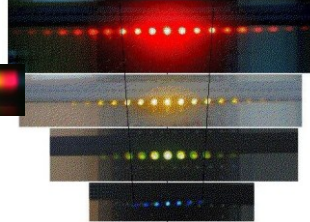
Beugung eines Laserstrahls an einem Loch



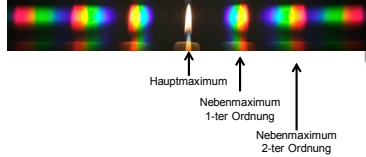
Beugung eines Laserstrahls an einem Haar



Beugung von Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge an einem optischen Gitter



Beugung von weißem Licht an einem optischen Gitter



Hauptmaximum  
Nebenmaximum 1-ter Ordnung  
Nebenmaximum 2-ter Ordnung

9

Beugung an einem optischen Gitter

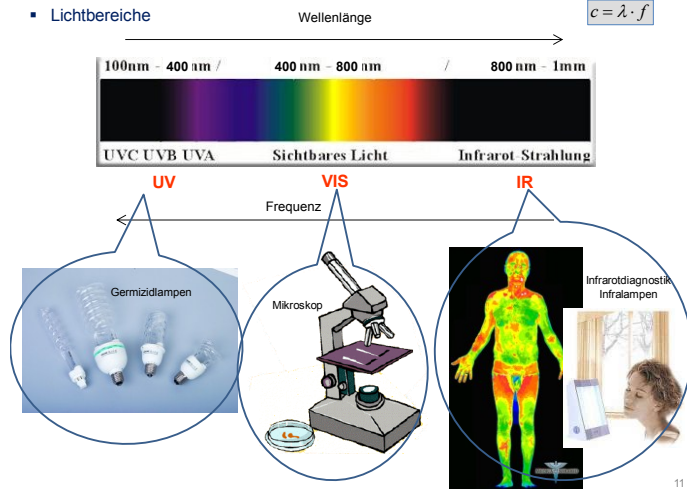
$d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda$   
 wobei  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Bestimmung von  $\lambda$   
 Bestimmung von  $d$

s. Diffraktionsmethoden

10

### Lichtbereiche



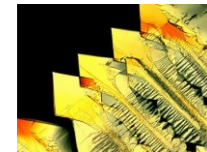
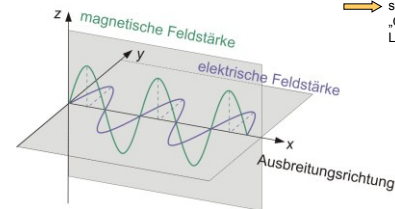
### b) Licht = elektromagnetische Welle

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, dass Licht (sowie die Wärmestrahlung, aber auch andere Strahlungen, wenn es sich nicht um 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 (1859)

Transversalwelle  $\Rightarrow$  Polarisierbarkeit

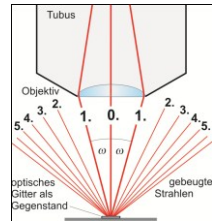
s. Polarisationsmikroskop, „Optische Aktivität“ im Praktikum, LCD, ...



12

### c) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes

#### ■ Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops ( $\delta$ )

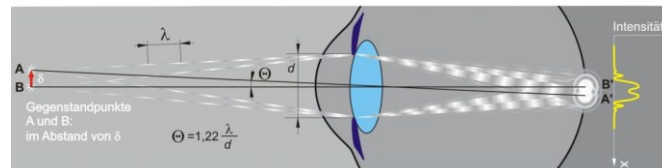


„So präzise eine Linse auch geschliffen sei, infolge der Wellennatur des Lichtes tritt an der Eintrittsöffnung der Linse Diffraction auf: demzufolge erhält man von einer punktförmigen Lichtquelle statt eines punktförmigen Bildes eine kleine leuchtende Scheibe. Dieses Phänomen verhindert das Studium beliebig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



ERNST KARL ABBE  
(1840-1905)  
Mitbegründer der Zeiss-Werke

13

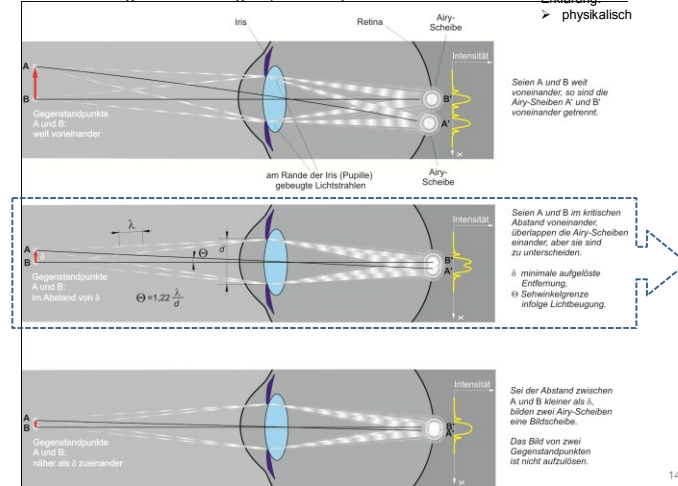


Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung: ?

15

#### ■ Sehwinkelgrenze des Auges ( $\alpha$ oder $\theta$ )

Erklärung:  
➤ physikalisch



14

Struktur der Materie

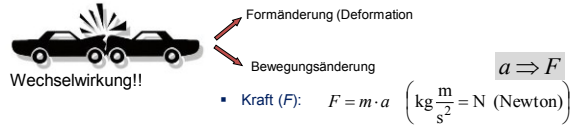


16

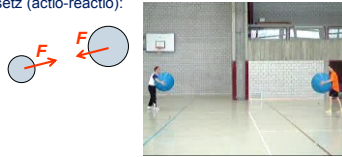
# I. Atomare, molekulare Wechselwirkungen

## 1. Im Allgemeinen über Wechselwirkungen

### a) Kraft



- 2. newtonsches Gesetz (Grundgleichung der Mechanik):  $\sum F_i = m \cdot a$   $F \Rightarrow a$
- 1. newtonsches Gesetz (Trägheitsprinzip):  $\sum F_i = 0 \Rightarrow a = 0 \Rightarrow v = \text{konstant}$  (Z.B.:  $v = 0$ )
- 3. newtonsches Gesetz (actio-reactio): „Gleichgewicht“



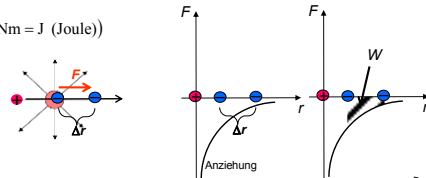
17

### b) Arbeit und Energie

- Arbeit(W):  $W = F \cdot \Delta r$  (Nm = J (Joule))

Zum Beispiel:

Weitere Maßeinheiten:  
1 cal = 4,19 J  
1 eV = 1,6 · 10<sup>-19</sup> J



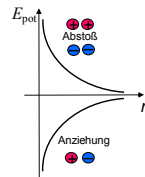
Da hier  $F$  nicht konstant ist:

$$W_{r \rightarrow \infty} = \int_r^\infty F dr = \int_r^\infty k \frac{q_1 q_2}{r^2} dr = -k q_1 q_2 \left[ \frac{1}{r} \right]_r^\infty = -k q_1 q_2 \left( \frac{1}{\infty} - \frac{1}{r} \right) = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

- Energie(E): die im System gespeicherte Arbeit( J)

- elektrische potenzielle Energie ( $E_{\text{pot}}$ ):

$$E_{\text{pot}} = W_{r \rightarrow \infty} \quad E_{\text{pot}} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$



19

- Kraftgesetze (Beispiele):

- Gravitationsgesetz  $F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$  ( $\gamma$ : Gravitationskonstante)

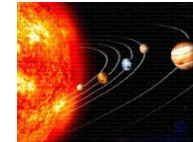
Anwendung:



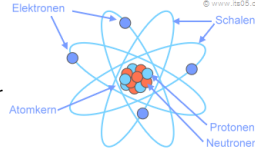
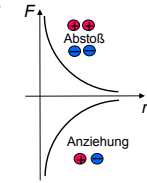
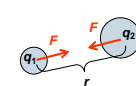
Schwerkraft oder Gewichtskraft (G):

$$G = F = \gamma \frac{m_{\text{Erde}} \cdot m}{r^2} = mg$$

= Beschleunigung des freien Falles (9,81 m/s<sup>2</sup>)



- Coulomb-Gesetz  $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$



- Starke Wechselwirkung (Kernkraft):

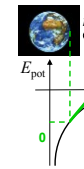
anziehende Wechselwirkung zwischen den Nukleonen im Kern; stark; kurze Reichweite

18

- Lage- (potenzielle) Energie( $E_{\text{pot}}$ ):  $E_{\text{pot}} = -\gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$

Potenzielle Energie im Gravitationsfeld der Erde:

$$E_{\text{pot}} = -\gamma \frac{m_{\text{Erde}} \cdot m}{r}$$



- Bewegungs- (kinetische) Energie ( $E_{\text{kin}}$ ):  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$

- c) Energieerhaltung  $\sum E_i = \text{konstant}$



- d) Leistung

- Leistung (P):  $P = \frac{W}{t}$  ( $\frac{J}{s} = W$  (Watt))

Weitere Maßeinheit: 1 PS = 750 W

20

### e) Druck

Druck ( $p$ ):  $p = \frac{F}{A} \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal)} \right)$

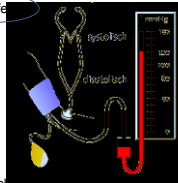
Weitere Maßeinheiten:  
1 bar = 100 kPa  
1 mmHg = 133 Pa

Normaldruck = 101 kPa

#### o hydrostatischer Druck (Schweredruck)

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

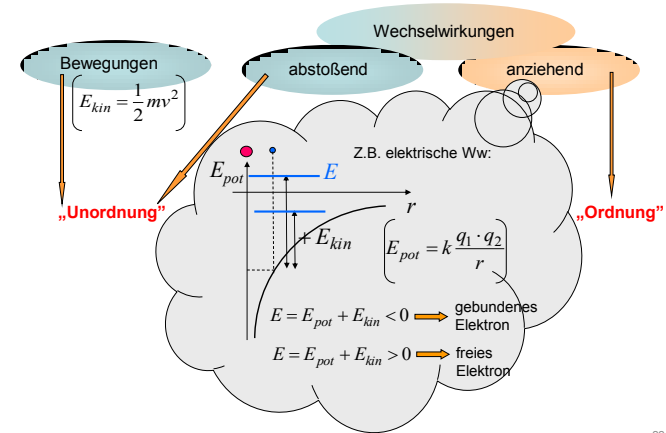
Dichte  $\rho$   $9,81 \text{ m/s}^2$  Tiefe  $h$



pascalsches Gesetz:  
in einem Punkt des Mediums wirkt dergleiche Druck in jeder Richtung

21

## Entstehung von stabilen Körpersystemen - allgemeine Prinzipien



22

### Rechenaufgaben: ■ Praktikumsbuch 17.

- Berechnen Sie die Wellenlänge des Kammertones „a“ (440 Hz) in der Luft (Schallgeschwindigkeit: 330 m/s) und im Wasser (Schallgeschwindigkeit: 1500 m/s) ?
- Berechnen Sie die Frequenz und die Wellenlänge für die Grundschiwingung und für die ersten zwei Oberschwingungen bei einem Hohlresonator mit einem festen und einem freien Ende. Die Länge des Hohlresonators beträgt 50 cm und die Schallgeschwindigkeit ist 300 m/s.
- Berechnen Sie die Frequenzgrenzen des sichtbaren Bereiches in THz-Einheit!
- Ein optisches Gitter wird mit einem Laserstrahl der Wellenlänge von 514 nm durchgeleuchtet. Das Beugungsbild wird an einem 2 m entfernten Schirm beobachtet. Der Abstand zwischen dem Hauptmaximum und dem Nebenmaximum 1-ter Ordnung beträgt 10,3 cm. Berechnen Sie die Gitterkonstante.
- Peter zieht einen mit Wasser aufgefüllten Eimer ( $m = 12 \text{ kg}$ ) aus einem 12 m tiefen Brunnen gleichmäßig mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0,5 m/s auf. Wie groß sind a) die Arbeit; b) die Leistung von Peter?
- Die durchschnittliche Leistung des menschlichen Herzens ist 6 W. Welche Arbeit verrichtet das Herz im Laufe eines Lebens?
- Bei Zimmertemperatur fliegen die  $\text{O}_2$ -Moleküle in der Luft mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 400 m/s. Wie groß sind a) die durchschnittliche kinetische Energie; b) die Lageenergie eines  $\text{O}_2$ -Moleküls bei einer Höhe von 8000 m in eV-Einheit?

#### Lösungen:

- Luft: 0,75 m; Wasser: 3,5 m
- Grundschiwingung: 150 Hz und 2 m; 1. Oberschwingung: 450 Hz und 66,7 cm;  
2. Oberschwingung: 750 Hz und 40 cm
- 375 THz und 750 THz
- 10  $\mu\text{m}$
- a) 1410 J; b) 58,9 W
- 15,1 GJ (mit 80 Jahren berechnet)
- a) 26,7 meV; b) 26,2 meV

23