

Medizinische Biophysik

3

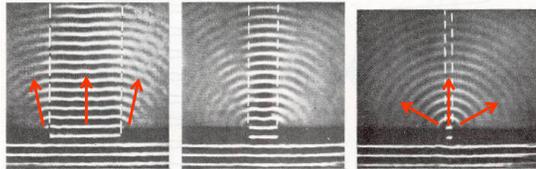
Licht in der Medizin
(Fortsetzung)



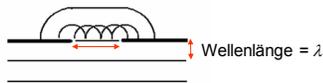
1

- **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

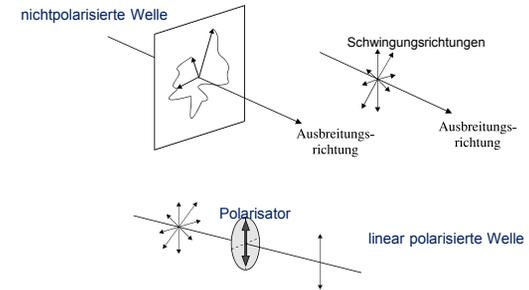
3

II. Wellenoptik

1. Im Allgemeinen über Schwingungen und Wellen

c) Mechanische Wellen

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

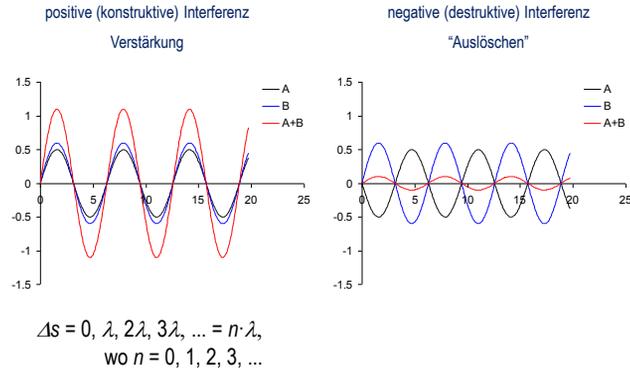


2

- **Interferenz** Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge
Wenn
○ Gleiche Wellenlänge
○ Feste Phasenbeziehung

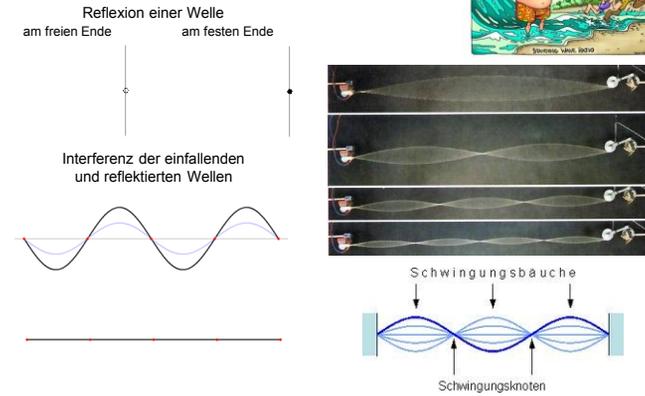


4

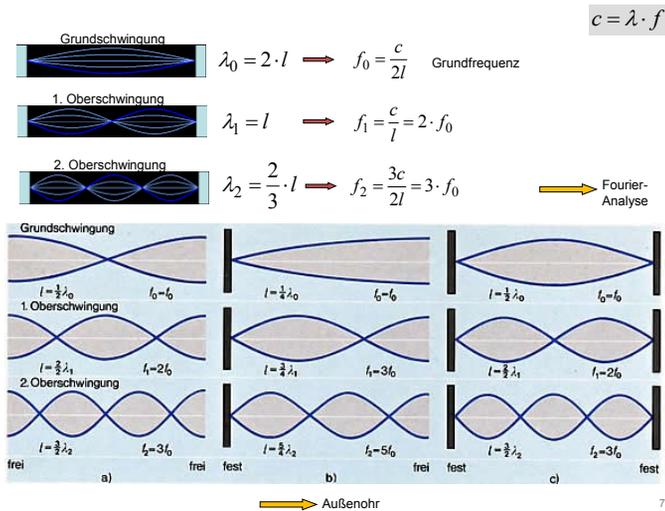


5

Stehende Wellen

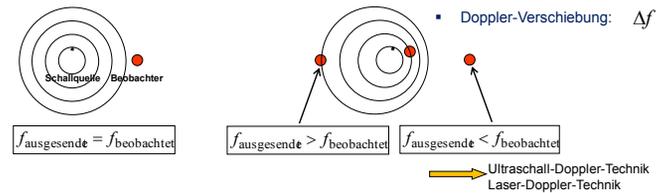


6



7

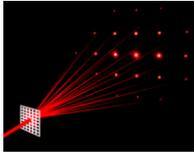
Doppler-Effekt Frequenzverschiebung der ausgesendeten Welle bei relativer Bewegung von Quelle und Beobachter



8

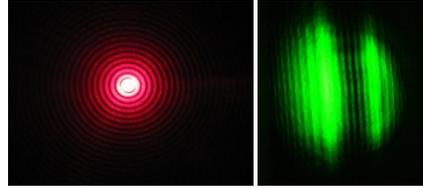
2. Licht als Welle

a) Beugung (Diffraktion) des Lichtes

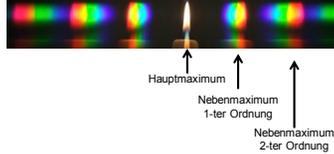


Beugung eines Laserstrahls an einem zweidimensionalen optischen Gitter

Beugung eines Laserstrahls an einem Loch Beugung eines Laserstrahls an einem Haar

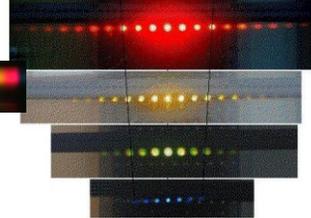


Beugung von weißem Licht an einem optischen Gitter



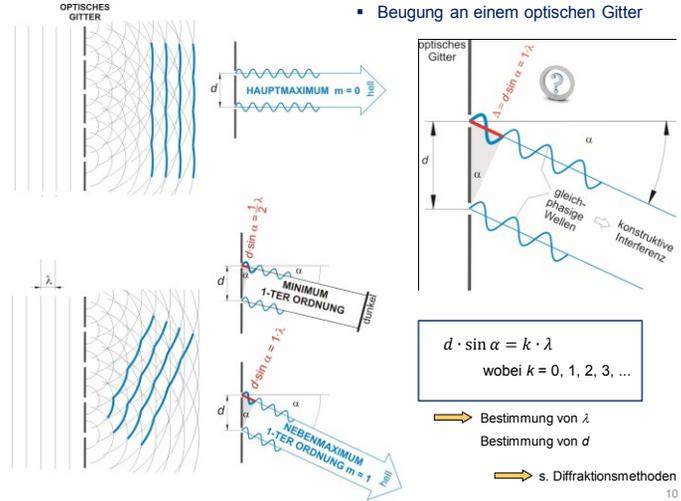
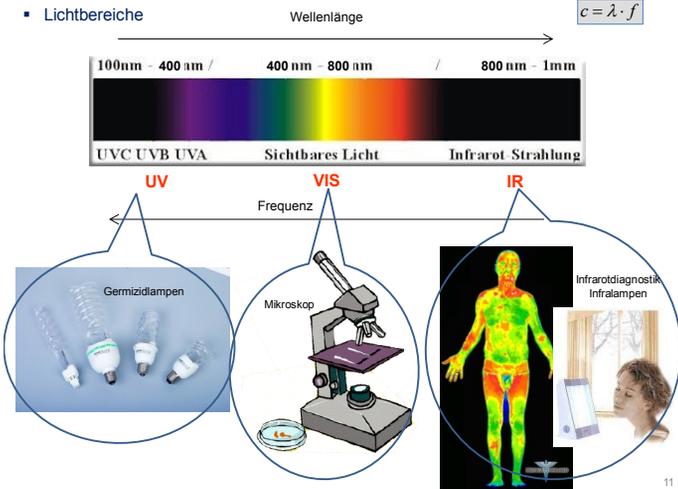
Hauptmaximum
Nebenmaximum 1-ter Ordnung
Nebenmaximum 2-ter Ordnung

Beugung von Laserstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge an einem optischen Gitter



9

▪ Lichtbereiche



b) Licht = elektromagnetische Welle

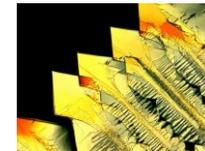
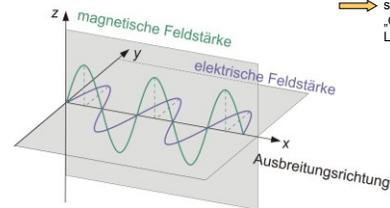
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
 $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen
Diese Geschwindigkeit stimmt so gut mit der Lichtgeschwindigkeit überein, daß wir anscheinend allen Grund zur Annahme haben, das 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, die sich Gesetzen des Elektromagnetismus entsprechend, fortpflanzen.

Maxwell: A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1859)

Transversalwelle ⇒ Polarisierbarkeit

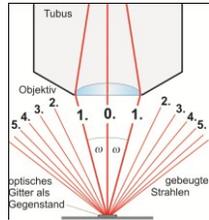
→ s. Polarisationsmikroskop, „Optische Aktivität“ im Praktikum, LCD, ...



12

c) Konsequenzen des Wellencharakters des Lichtes

Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops (δ)

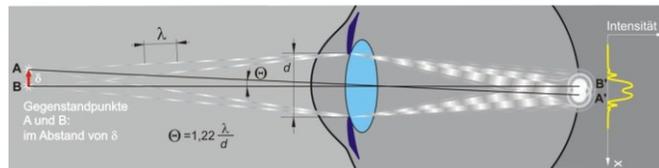


„So präzise eine Linse auch geschliffen sei, infolge der Wellennatur des Lichtes tritt an der Eintrittsöffnung der Linse Diffraction auf: demzufolge erhält man von einer punktförmigen Lichtquelle statt eines punktförmigen Bildes eine kleine leuchtende Scheibe. Dieses Phänomen verhindert das Studium beliebig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



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

13



Sehwinkelgrenze infolge Lichtbeugung:



Sehwinkelgrenze des Auges (α oder θ)

Erklärung:
> physikalisch

14

Struktur der Materie



15

16

I. Atomare, molekulare Wechselwirkungen

1. Im Allgemeinen über Wechselwirkungen

a) Kraft

Wechselwirkung!!

 Formänderung (Deformation)

 Bewegungsänderung

 $a \Rightarrow F$

- Kraft (F): $F = m \cdot a$ ($\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$ (Newton))

- 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“



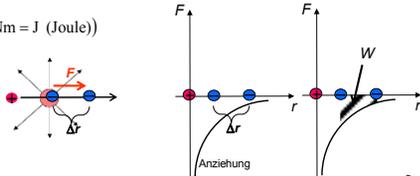
17

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 · 10⁻¹⁹ J



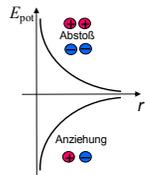
Da hier F nicht konstant ist:

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

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

- elektrische potenzielle Energie (E_{pot}):

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



19

- Kraftgesetze (Beispiele):

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

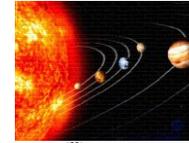
Anwendung:



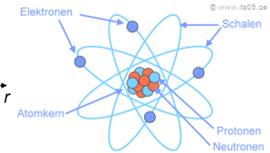
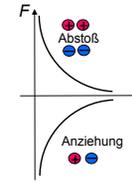
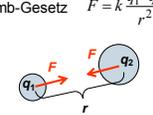
Schwerkraft oder Gewichtskraft (G):

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

= Beschleunigung des freien Falles (9,81 m/s²)



- 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_{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_{kin}): $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$

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



d) Leistung

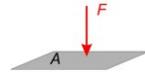
- Leistung (P): $P = \frac{W}{t}$ ($\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$ (Watt))

Weitere Maßeinheit: 1 PS = 750 W

20

e) Druck

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

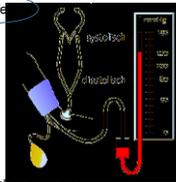


Weitere Maßeinheiten:
1 bar = 100 kPa
1 mmHg = 133 Pa

Normaldruck = 101 kPa

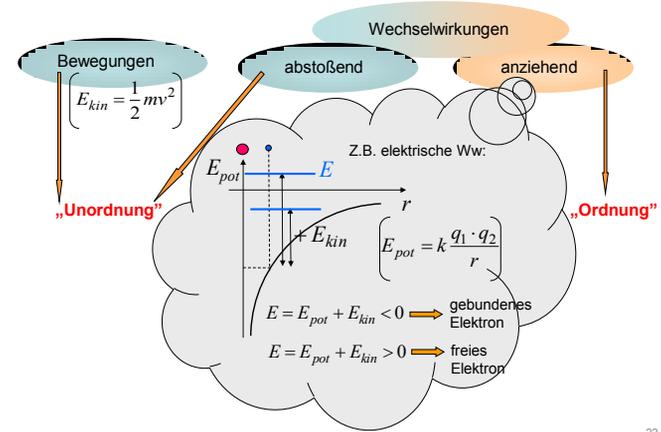
o hydrostatischer Druck (Schweredruck)

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



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

Entstehung von stabilen Körpersystemen - allgemeine Prinzipien



Rechenaufgaben: ■ Praktikumsbuch 17.

- Berechnen Sie die Wellenlänge des Kammertones „a¹“ (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 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 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. Oberschiwingung: 450 Hz und 66,7 cm; 2. Oberschiwingung: 750 Hz und 40 cm
- 375 THz und 750 THz
- 10 μm
- a) 1410 J; b) 58,9 W
- 15,1 GJ (mit 80 Jahren berechnet)
- a) 26,7 meV; b) 26,2 meV