

Biophysik für Pharmazeuten

2

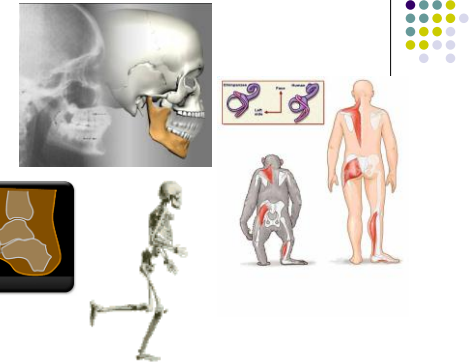
Mechanik

<http://biofiz.sote.hu>

1

Mechanik

→ Biomechanik



→ Grundlegende Begriffe der Physik, wie Kraft, Energie, ...

2

Mechanik — Kinematik (Bewegungslehre)

- Translation

Verschiebung



- Rotation

Drehung



Allgemeine Bewegung = Translation + Rotation



- Bezugssystem

Körper, in Bezug auf welche die Bewegung beschrieben wird



3

Translation

- Geschwindigkeit (v): $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$

Wie schnell bewegt sich ein Körper?

Weitere Maßeinheit:
1 km/h = 1/3,6 m/s

- Beschleunigung (a): $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$

Wie schnell ändert sich die Geschwindigkeit?

Beim freien Fall:

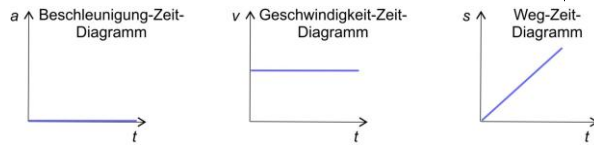


Fallbeschleunigung (g): $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

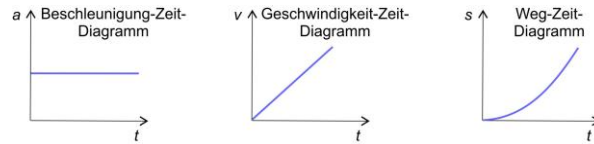
- Impuls oder Bewegungsgröße (p): $p = m \cdot v$

4

Geradlinige gleichförmige Bewegung:



Geradlinige gleichförmig beschleunigte Bewegung:



5

$F \Rightarrow a$ Dazu braucht man aber Kraftgesetz!

- 2. newtonsches Gesetz: $\sum F_i = m \cdot a$



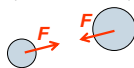
Vektorielle Summe

- 1. newtonsches Gesetz (Trägheitsprinzip):

$$\sum F_i = 0 \Rightarrow a = 0 \Rightarrow v = \text{konstant} \quad (\text{Z.B.: } v = 0)$$

➡ „Gleichgewicht“

- 3. newtonsches Gesetz (actio-reactio):



Laplacescher Dämon:

„Eine Intelligenz, die in einem gegebenen Augenblick alle Kräfte kennt, mit denen die Welt begabt ist, und die gegenwärtige Lage der Gebilde, die sie zusammensetzen, und die überdies umfassend genug wäre, diese Kenntnisse der Analyse zu unterwerfen, würde in der gleichen Formel die Bewegungen der größten Himmelskörper und die des leichtesten Atoms einbegreifen. Nichts wäre für sie ungewiss, Zukunft und Vergangenheit lägen klar vor ihren Augen.“



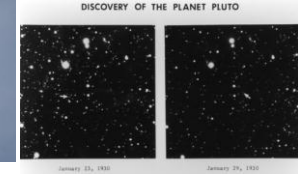
7

Mechanik — Dynamik (Warum?)



Wechselwirkung!!

Bewegungs-
änderung Formänderung
(Deformation)



Zur Charakterisierung der Stärke einer Wechselwirkung: Kraft

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

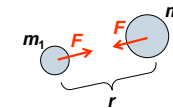
$a \Rightarrow F$
Z.B. beim freien Fall:
 $g \Rightarrow F = mg$

Alternativweg: $F = -D\Delta l$

6

Kraftgesetze

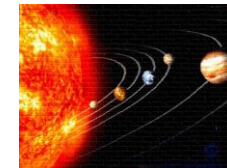
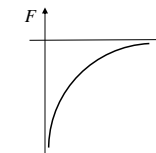
- Gravitation:



Gravitationsgesetz:

$$F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

γ : Gravitationskonstante



Anwendung:

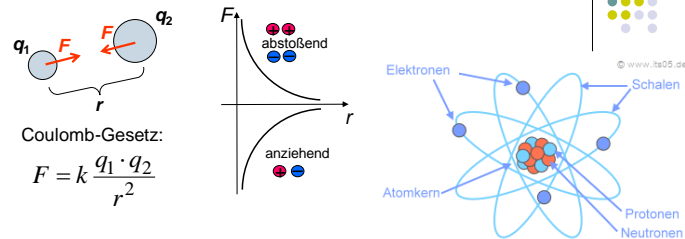


Schwerkraft oder Gewichtskraft (G):

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

8

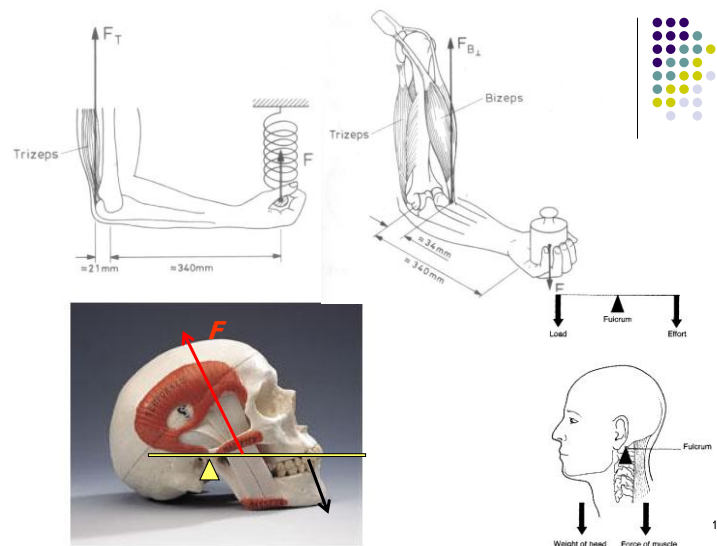
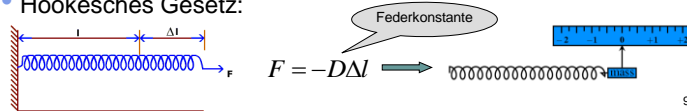
- Elektrische Wechselwirkung (Coulomb-Kraft):



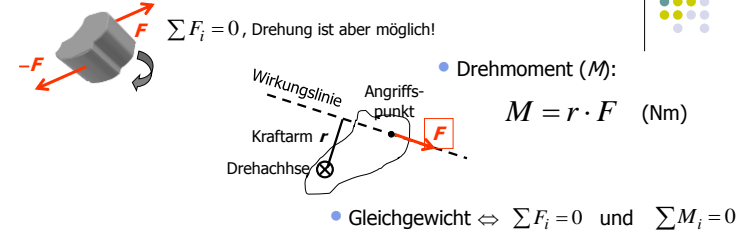
- Starke Wechselwirkung (Kernkraft):

Z.B. zwischen Protonen und Neutronen im Kern; stark und hat kurze Reichweite

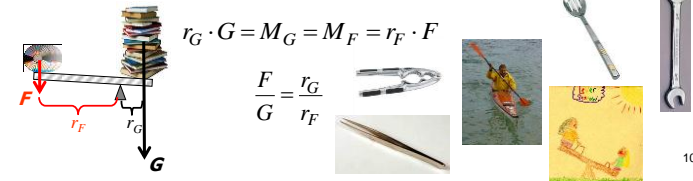
- Hookesches Gesetz:



Drehung und Drehmoment



Hebel:



Arbeit und Leistung

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

Weitere Maßeinheiten:
 1 cal = 4,19 J
 1 eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J

Allgemeiner: $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$
 Z.B.: $W = 0$

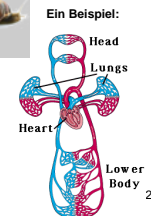
- Hubarbeit: $W_{\text{Hub}} = mgh$

- Beschleunigungsarbeit: $W_{\text{Beschleunigung}} = \frac{1}{2}mv^2$

- Spannarbeit: $W_{\text{Spann}} = \frac{1}{2}D(\Delta l)^2$

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

Weitere Maßeinheit: 1 PS = 750 W



Energie

Arbeit \equiv „Energieübertragung“

Energie \equiv „gespeicherte Arbeit“

- Energie (E): Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten
- Potenzielle Energie oder Lageenergie (E_{pot}): $E_{\text{pot}} = mgh$
- Kinetische Energie oder Bewegungsenergie (E_{kin}): $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$
- Elastische Energie oder Spannenergie (E_{el}): $E_{\text{el}} = \frac{1}{2}D(\Delta l)^2$

- Energieerhaltungssatz:

$$\sum E_i = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + E_{\text{el}} = \text{konstant}$$

, falls Reibung ausgeschlossen ist.



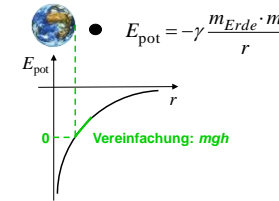
Die wichtigsten Gesetze der Physik: die Erhaltungssätze?

Weitere Energieformen: elektrische Energie, magnetische Energie, thermische Energie, ...

13

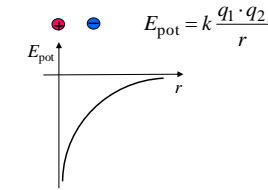
Allgemeiner:

Potenzielle Energie im Gravitationsfeld (E_{pot}):



Analogie

Elektrische Energie oder potenzielle Energie im elektrostatischen Feld (E_{pot}):



14

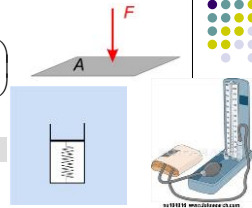
Druck

„Verteilung der Kraftwirkung auf eine Fläche“

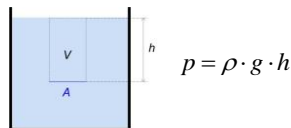
- Druck (p): $p = \frac{F}{A} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal)} \right)$

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

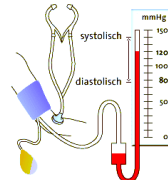
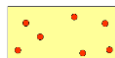
Normaldruck = 101 kPa



- Hydrostatischer Druck (Schweredruck)

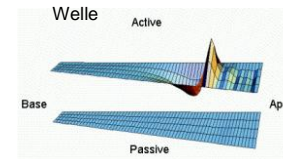
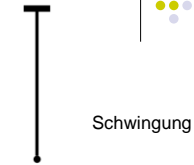
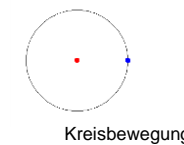
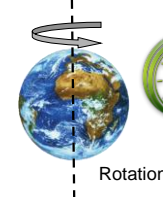


Interpretation des Gasdrucks:



15

Periodische Vorgänge



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

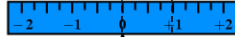
16

Mechanische Schwingungen

Eigenschwingung

Schwingung eines sich selbst überlassenen Systems.

Auslenkung (x)



Eigenfrequenz

Die Frequenz einer Eigenschwingung, z.B. beim Fadenpendel:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

beim Federpendel:

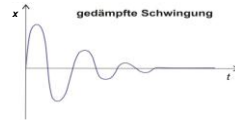
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{m}}$$

Harmonische Schwingung:

Amplitude (A): maximale Auslenkung



Gedämpfte Schwingung:



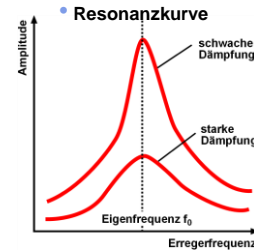
17

Erzwungene Schwingung

Schwingung unter dem Einfluss einer äußeren periodischen Erregungskraft.

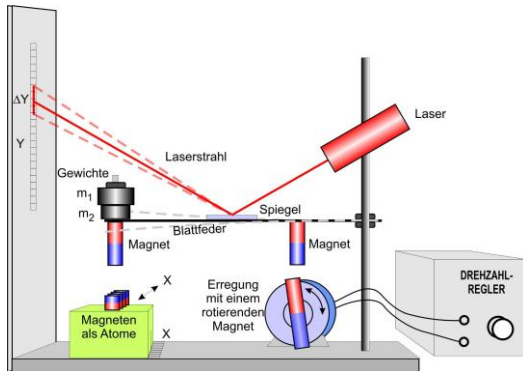
Resonanz

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



MRI 18

Resonanzmessung im Praktikum:



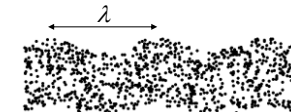
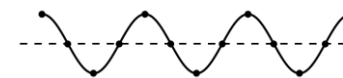
Modell des Atomkraftmikroskops (AFM) 19

Wellen

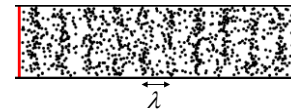
Ausbreitung eines Schwingungszustandes

Wellenlänge (λ):

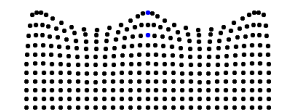
Transversalwelle



Longitudinalwelle



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



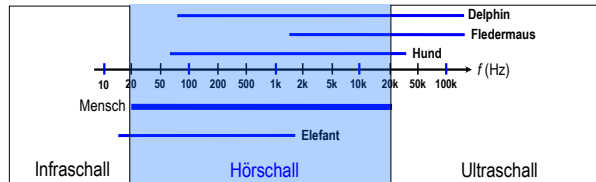
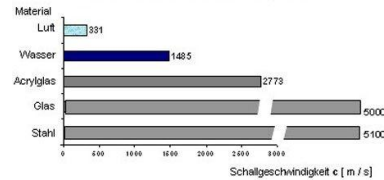
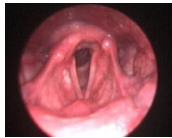
0139, David A. Sauerbrey

20

Schallwellen

Mechanische Welle; ist unbedingt an Materie gebunden!

Schallgeschwindigkeit (c) diverser Materialien

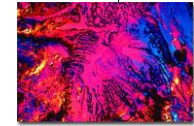
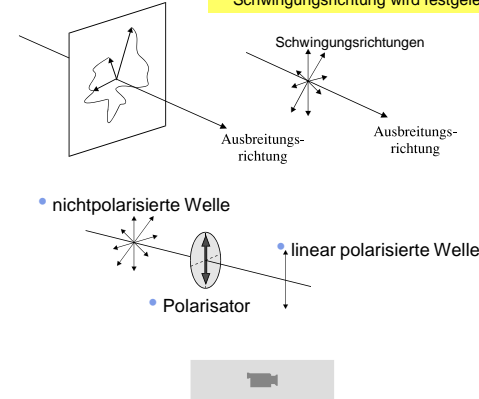


→ Sonographie

21

Polarisation (lineare Polarisation)

Bei Transversalwellen: eine Schwingungsrichtung wird festgelegt

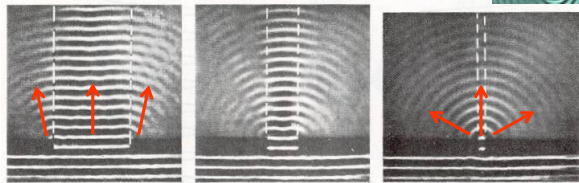


22

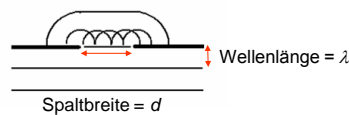
Beugung (Diffraction)

Abweichung von der ursprünglichen Ausbreitungsrichtung am Rand einer Öffnung oder eines Hindernisses

Beugung an einer Öffnung:



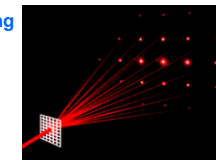
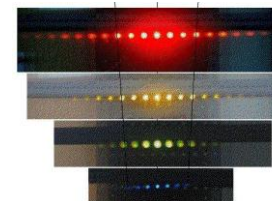
Huygensches Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Welle, der sog. Elementarwelle betrachtet werden. Durch die Überlagerung dieser Elementarwellen ergibt sich die beobachtbare Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.



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

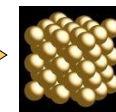
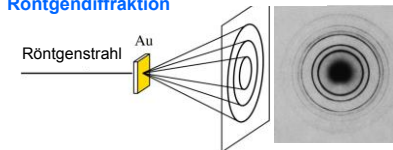
23

Lichtbeugung

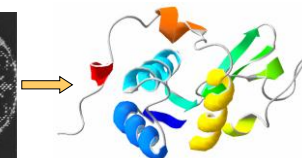
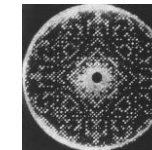
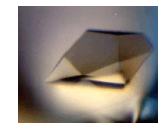


Röntgendiffraktion

Diffractionsbild



Lysozyme



24

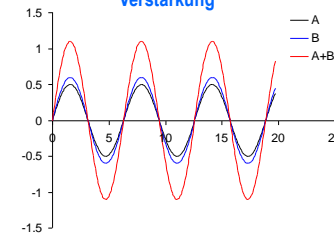
Interferenz

Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge



25

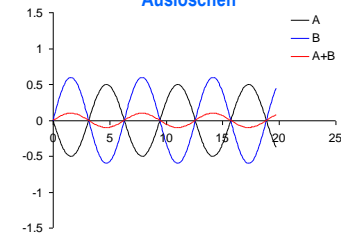
positive (konstruktive)
Interferenz
Verstärkung



$$\Delta s = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots = n \cdot \lambda,$$

wo $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

negative (destruktive)
Interferenz
"Auslöschen"



26