

# Biophysik für Pharmazeuten

2

Mechanik

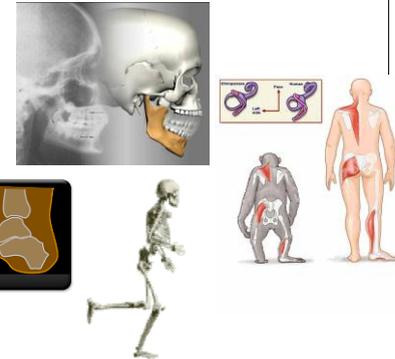


<http://biofiz.sote.hu>

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:

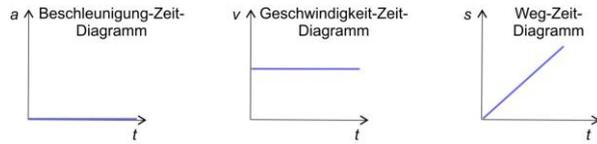


Fallbeschleunigung ( $g$ ):  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

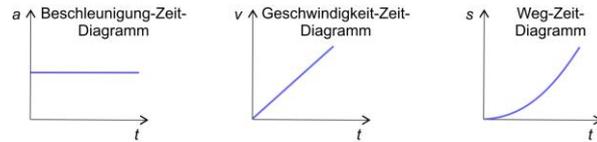
• Impuls oder Bewegungsgröße ( $p$ ):  $p = m \cdot v$

4

Geradlinige gleichförmige Bewegung:



Geradlinige gleichförmig beschleunigte Bewegung:



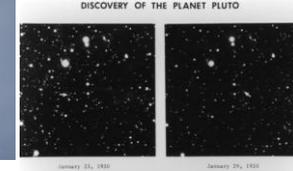
5

## Mechanik — Dynamik (Warum?)



Wechselwirkung!!

Bewegungs-  
änderung      Formänderung  
(Deformation)



Zur Charakterisierung der Stärke einer Wechselwirkung: Kraft

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

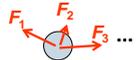
$a \Rightarrow F$   
Z.B. beim freien Fall:  
 $g \Rightarrow F = mg$

Alternativweg:  $F = -D\Delta l$

6

$F \Rightarrow a$  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.“

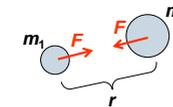


7

## Kraftgesetze

$F \Rightarrow a$

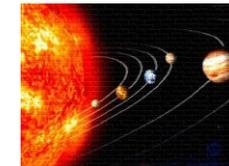
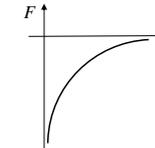
- Gravitation:



Gravitationsgesetz:

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

$\gamma$ : Gravitationskonstante



Anwendung:

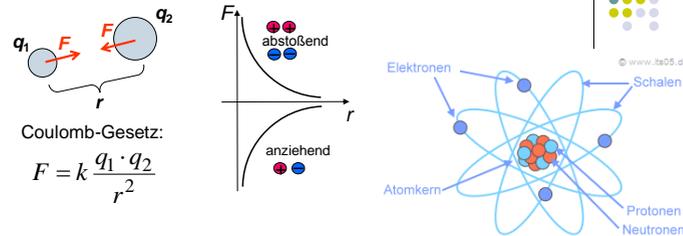


Schwerkraft oder Gewichtskraft ( $G$ ):

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

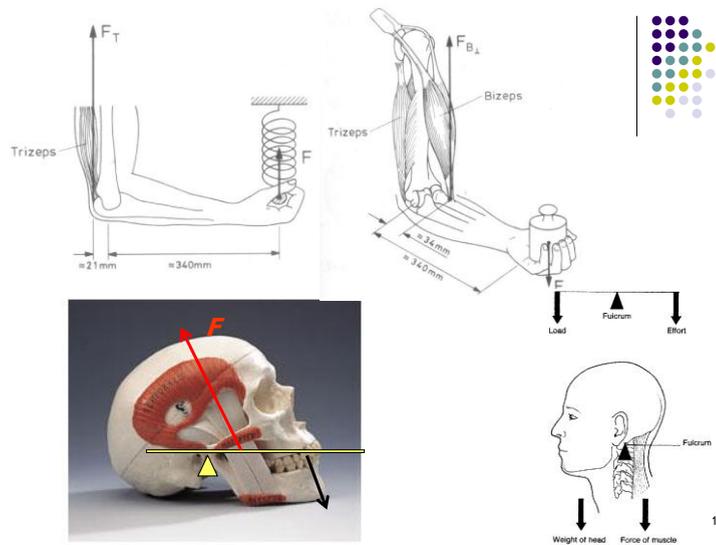
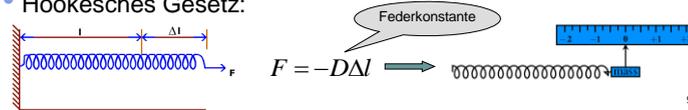
8

- Elektrische Wechselwirkung (Coulomb-Kraft):

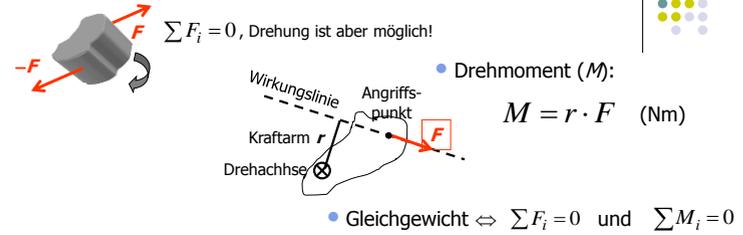


- Starke Wechselwirkung (Kernkraft):  
 Z.B. zwischen Protonen und Neutronen im Kern; stark und hat kurze Reichweite

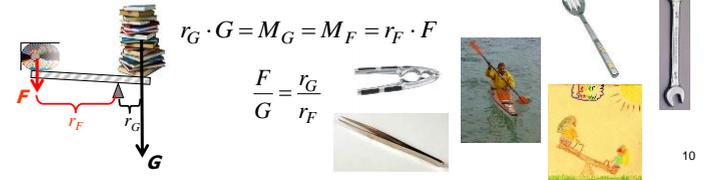
- Hookesches Gesetz:



## 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 · 10<sup>-19</sup> 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

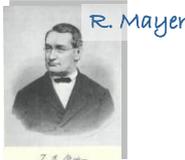
Arbeit ≙ „Energieübertragung“

Energie ≙ „gespeicherte Arbeit“

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

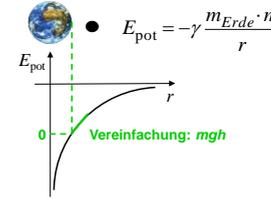
Weitere Energieformen: elektrische Energie, magnetische Energie, thermische Energie, ...

13

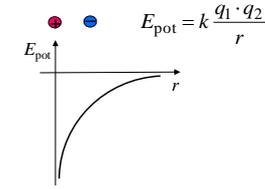
# Allgemeiner:

Analogie

Potenzielle Energie im Gravitationsfeld ( $E_{\text{pot}}$ ):



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



14

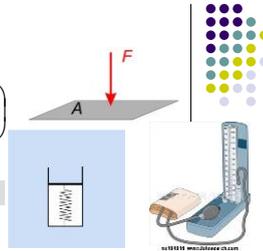
# Druck

„Verteilung der Kraftwirkung auf eine Fläche“

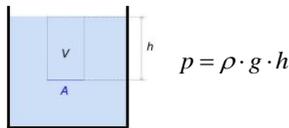
• Druck ( $p$ ):  $p = \frac{F}{A}$   $\left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal)} \right)$

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

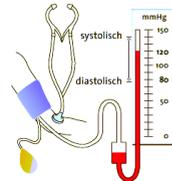
Normaldruck = 101 kPa



- Hydrostatischer Druck (Schweredruck)

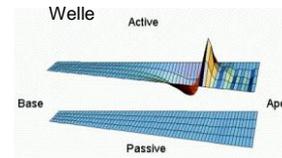
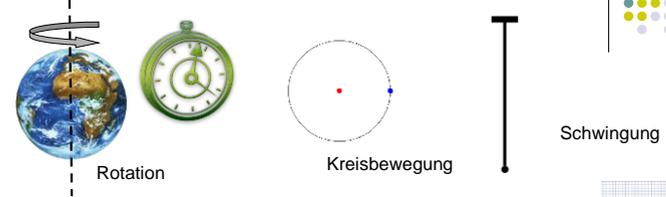


Interpretation des Gasdruckes:



15

# Periodische Vorgänge



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

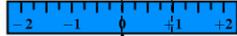
16

# Mechanische Schwingungen

- Eigenschwingung

Schwingung eines sich selbst überlassenen Systems.

- Auslenkung (x)



- Eigenfrequenz

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

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

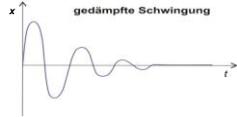
beim Federpendel:

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

- Amplitude (A): maximale Auslenkung



- Harmonische Schwingung:  $x = A \cdot \sin \omega t = A \cdot \sin 2\pi f t$



- Gedämpfte Schwingung:

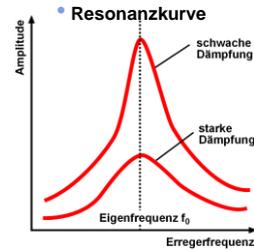
17

- Erzwungene Schwingung

Schwingung unter dem Einfluss einer äußeren periodischen Erregungskraft.

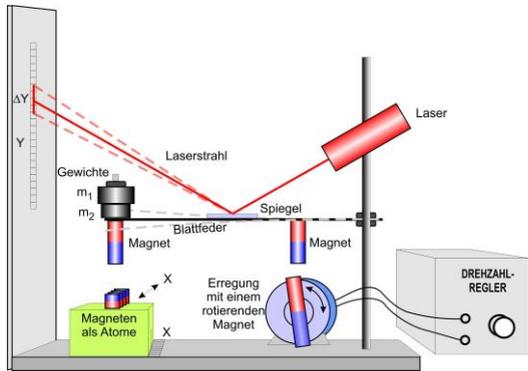
- Resonanz

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



MRI 18

Resonanzmessung im Praktikum:

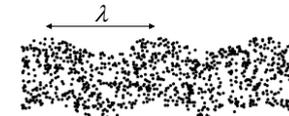
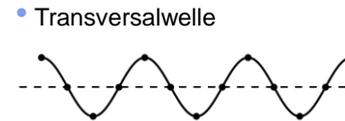


Modell des Atomkraftmikroskops (AFM) 19

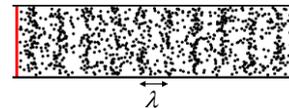
# Wellen

Ausbreitung eines Schwingungszustandes

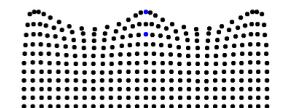
- Wellenlänge (λ):



- Longitudinalwelle



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

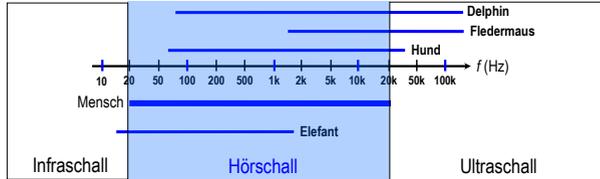
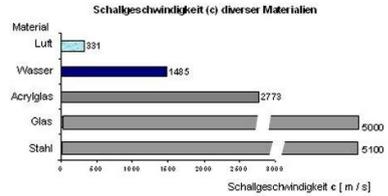


© 1997, Douglas A. Soper/ISI

20

# Schallwellen

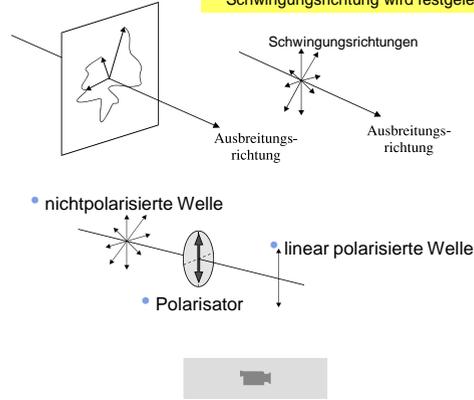
Mechanische Welle; ist unbedingt an Materie gebunden!



→ Sonographie 21

# Polarisation (lineare Polarisation)

Bei Transversalwellen: eine Schwingungsrichtung wird festgelegt

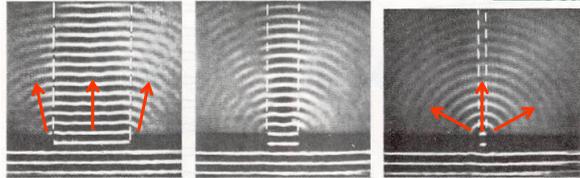


2

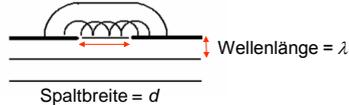
# Beugung (Diffraktion)

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

Beugung an einer Öffnung:



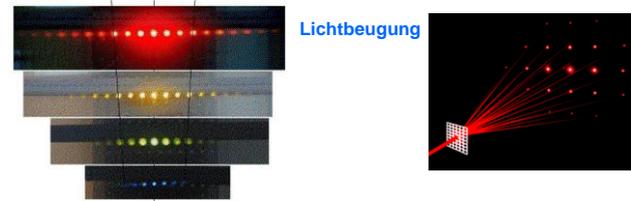
**Huygensches Prinzip:** Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Welle, der sog. Elementarwelle betrachtet werden. Durch die Überlagerung dieser Elementarwellen ergibt sich die beobachtbare Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.



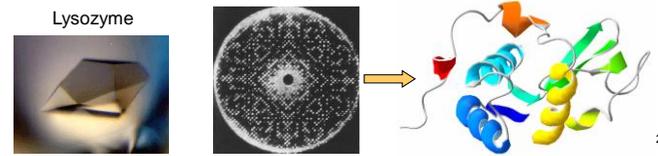
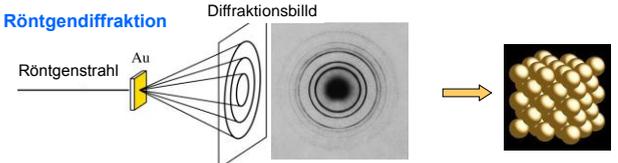
$d/\lambda \gg 1 \Rightarrow$  schwache Beugung  
 $d/\lambda \approx 1 \Rightarrow$  starke Beugung

23

# Lichtbeugung



# Röntgendiffraktion



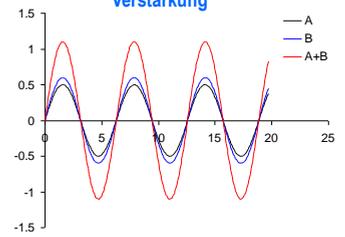
24

# Interferenz

Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge



positive (konstruktive) Interferenz  
Verstärkung



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

negative (destruktive) Interferenz  
"Auslöschen"

