

# Biophysik für Pharmazeuten I. 2013/4

## Vorlesung 2

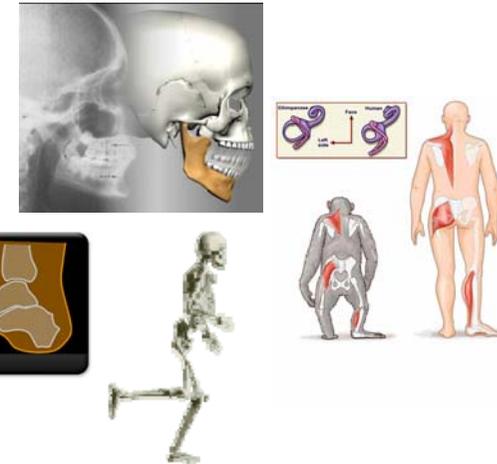
# Mechanik

László Smeller

<http://biofiz.sote.hu>

# Mechanik

→ Biomechanik



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

## Mechanik — Kinematik (Bewegungslehre)

- Translation Verschiebung
- Rotation Drehung



Allgemeine Bewegung = Translation + Rotation



- Bezugssystem

Körper, in Bezug auf welche die Bewegung beschrieben wird



## Translation

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

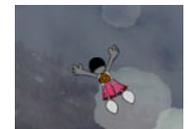
Wie schnell bewegt sich ein Körper?

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?

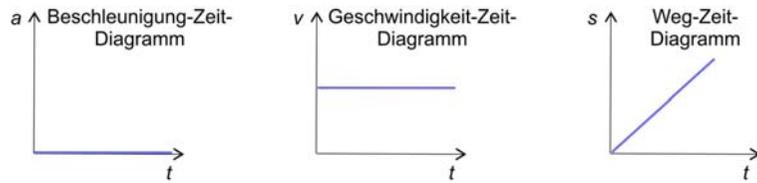
Beim freien Fall:



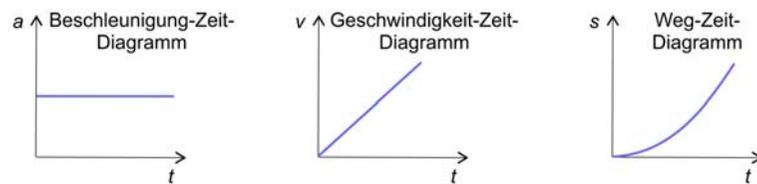
Fallbeschleunigung ( $g$ ):  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

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

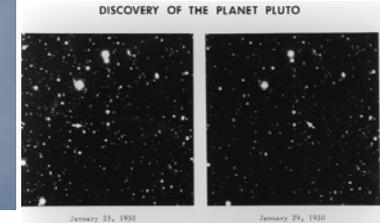
Geradlinige gleichförmige Bewegung:



Geradlinige gleichförmig beschleunigte Bewegung:



## 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:  $F = -D\Delta l$

$F \stackrel{?}{\Rightarrow} a$       Dazu braucht man aber Kraftgesetze!

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

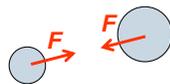


- 1. newtonsches Gesetz (Trägheitsprinzip):

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

→ „Gleichgewicht“

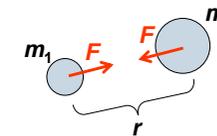
- 3. newtonsches Gesetz (actio-reactio):



## Kraftgesetze

$F \Rightarrow a$

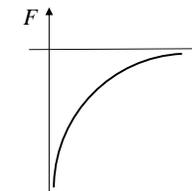
- Gravitation:



Gravitationsgesetz:

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

$\gamma$ : Gravitationskonstante



Anwendung:



Schwerkraft oder Gewichtskraft ( $G$ ):

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

• Elektrische Wechselwirkung (Coulomb-Kraft):

Coulomb-Gesetz:  

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

Elektronen, Schalen, Atomkern, Protonen, Neutronen

• Starke Wechselwirkung (Kernkraft):

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

• Hookesches Gesetz:

Federkonstante  

$$F = -D\Delta l$$

Drehung und Drehmoment

$\sum F_i = 0$ , Drehung ist aber möglich!

Drehmoment ( $M$ ):  

$$M = r \cdot F \quad (\text{Nm})$$

Wirkungslinie, Angriffspunkt, Kraftarm  $r$ , Drehachse

• Gleichgewicht  $\Leftrightarrow \sum F_i = 0$  und  $\sum M_i = 0$

Hebel:

$r_G \cdot G = M_G = M_F = r_F \cdot F$

$\frac{F}{G} = \frac{r_G}{r_F}$

Trizeps, Bizeps, Fulcrum, Load, Effort, Weight of head, Force of muscle

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

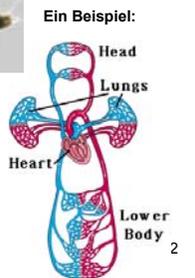


• Spannarbeit:  $W_{\text{Spann}} = \frac{1}{2}D(\Delta l)^2$



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

Weitere Maßeinheit: 1 PS = 750 W



Arbeit  $\equiv$  „Energieübertragung“

# Energie

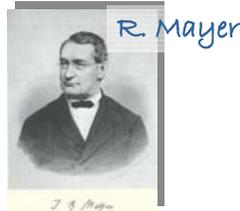
Energie  $\equiv$  „gespeicherte Arbeit“

- 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.



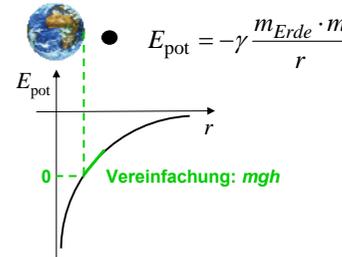
Die wichtigsten Gesetze der Physik: die Erhaltungssätze?

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

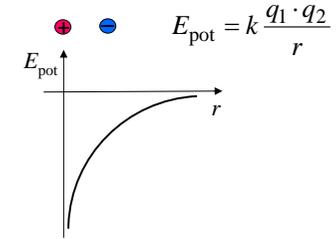
## Allgemeiner:

Analogie  $\rightarrow$

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



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



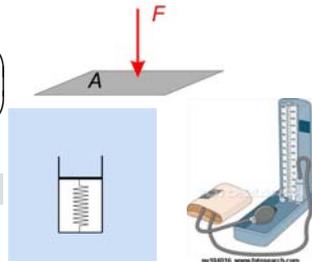
# Druck

„Verteilung der Kraftwirkung auf eine Fläche“

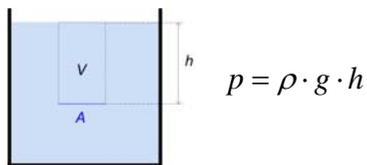
• Druck ( $p$ ):  $p = \frac{F}{A} \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal)} \right)$

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

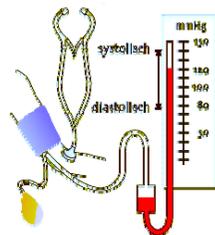
Normaldruck = 101 kPa



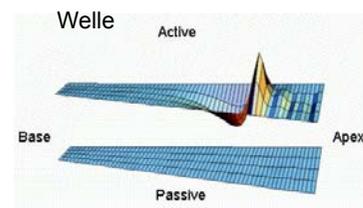
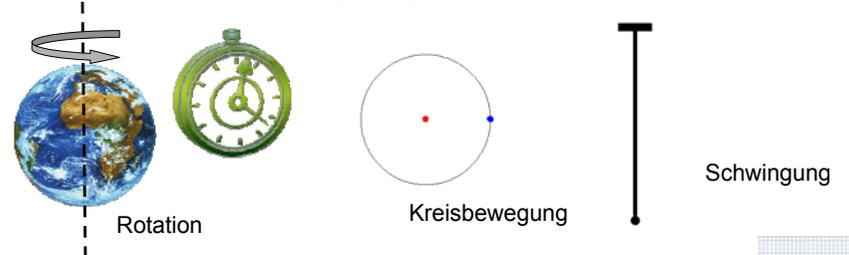
## Hydrostatischer Druck (Schweredruck)



Interpretation des Gasdruckes:



# Periodische Vorgänge



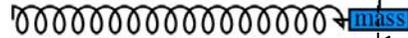
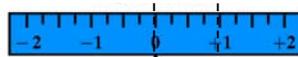
- Periodendzeit ( $T$ )
- Frequenz ( $f$ ):  $f = \frac{1}{T} \left( \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz (Hertz)} \right)$
- Kreisfrequenz ( $\omega$ ):  $\omega = 2\pi \cdot f$

# Mechanische Schwingungen

## Eigenschwingung

Schwingung eines sich selbst überlassenen Systems.

## Auslenkung (x)



## Eigenfrequenz

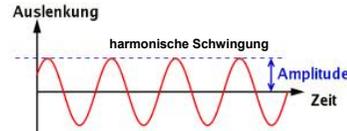
Die Frequenz einer Eigenschwingung, z.B. beim Fadenpendel:

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

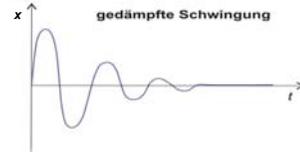
beim Federpendel:

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

## Amplitude (A): maximale Auslenkung



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



## Gedämpfte Schwingung:

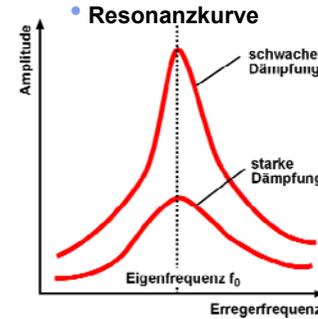
17

## Erzwungene Schwingung

Schwingung unter dem Einfluss einer äußeren periodischen Erregungskraft.

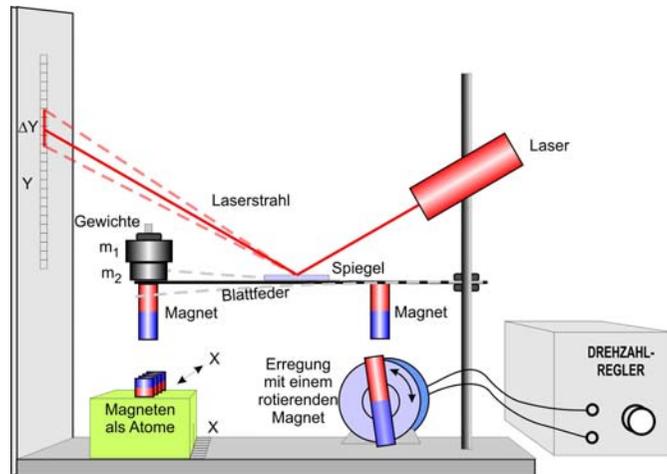
## Resonanz

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



MRI 18

Resonanzmessung im Praktikum:

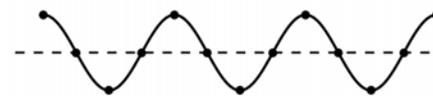


Modell des Atomkraftmikroskops (AFM) 19

## Wellen

Ausbreitung eines Schwingungszustandes

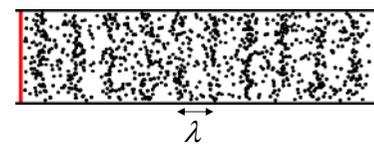
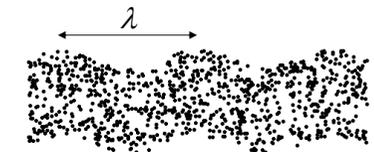
### Transversalwelle



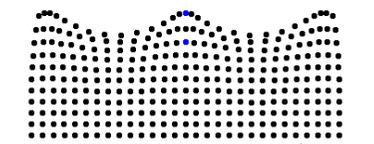
### Longitudinalwelle



### Wellenlänge (λ):



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

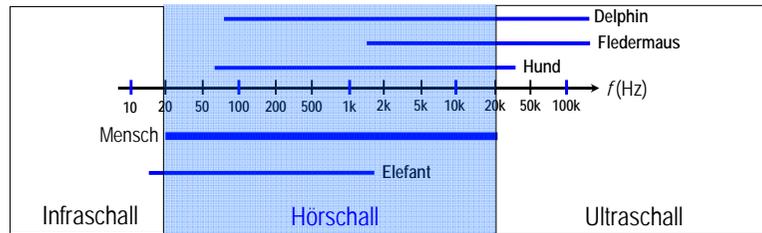
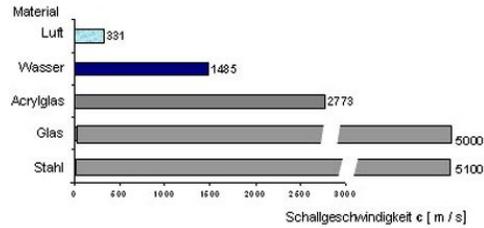


20

# Schallwellen

Mechanische Welle; ist unbedingt an Materie gebunden!

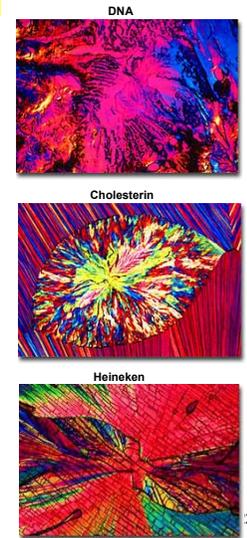
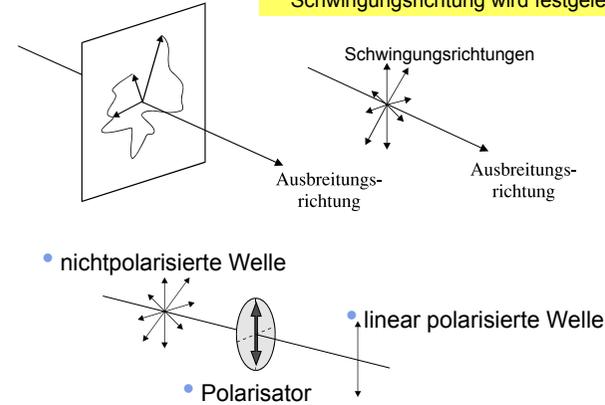
Schallgeschwindigkeit (c) diverser Materialien



→ Sonographie

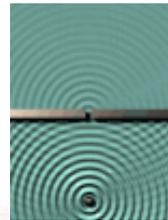
# Polarisation (lineare Polarisation)

Bei Transversalwellen: eine Schwingungsrichtung wird festgelegt

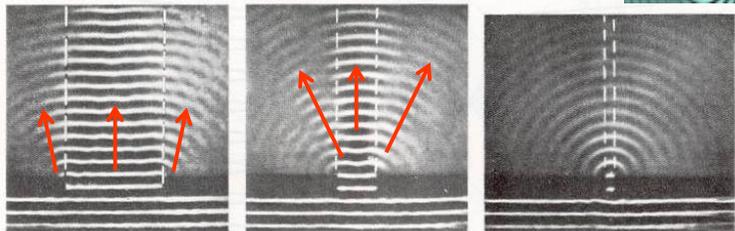


# Beugung (Diffraktion)

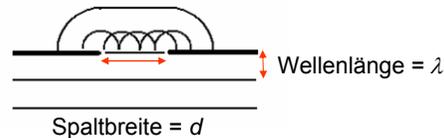
Abweichung von der ursprünglichen Ausbreitungsrichtung am Rand einer Öffnung oder eines Hindernisses



Beugung an einer Öffnung:

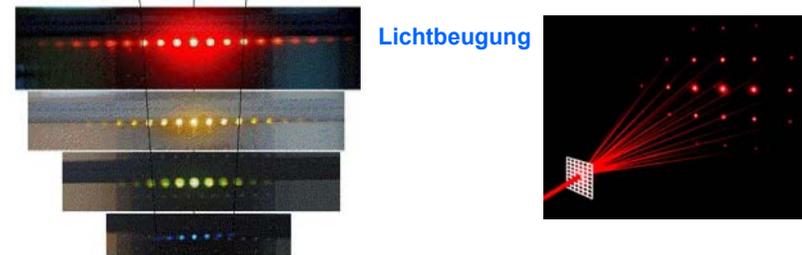


**Huygensches Prinzip:** Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Welle, der sog. Elementarwelle betrachtet werden. Durch die Überlagerung dieser Elementarwellen ergibt sich die beobachtbare Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.

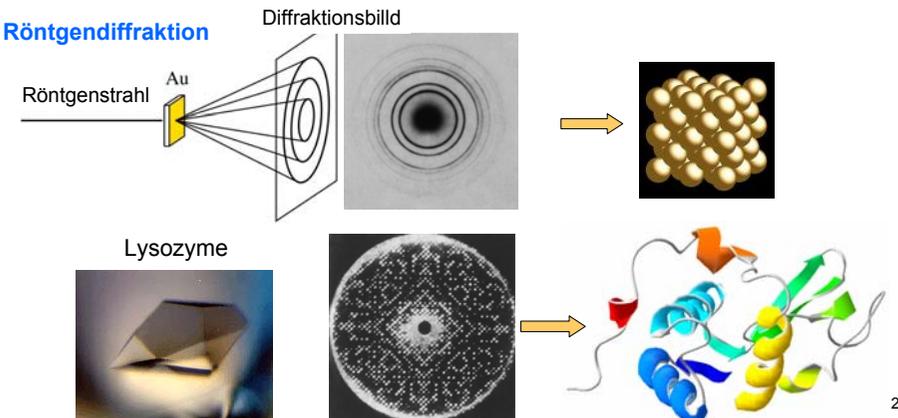


$d/\lambda \gg 1 \Rightarrow$  schwache Beugung  
 $d/\lambda \approx 1 \Rightarrow$  starke Beugung

# Lichtbeugung



# Röntgendiffraktion



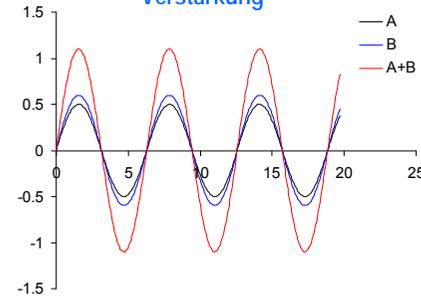
# Interferenz

Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge



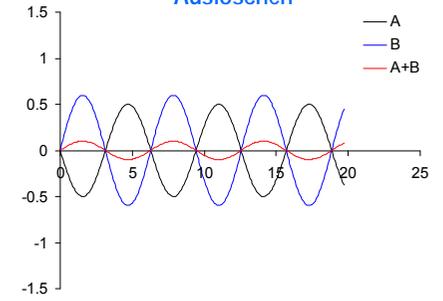
positive (konstruktive)  
Interferenz

Verstärkung



negative (destruktive)  
Interferenz

"Auslöschen"



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