

# Biophysik für Pharmazeuten I. 2015/16

## Vorlesung 2

### Mechanik

László Smeller

<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:

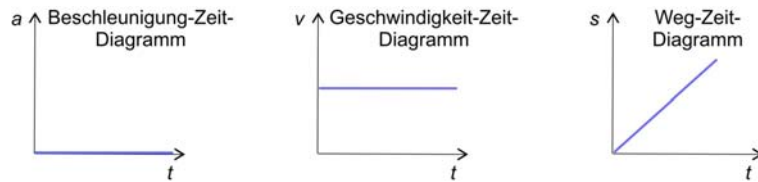


Fallbeschleunigung ( $g$ ):  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

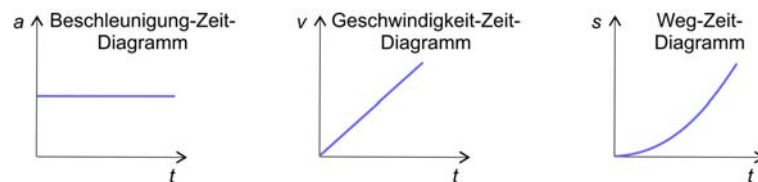
- Impuls oder Bewegungsgröße ( $p$ ):  $p = m \cdot v$

4

Geradlinige gleichförmige Bewegung:



Geradlinige gleichförmig beschleunigte Bewegung:



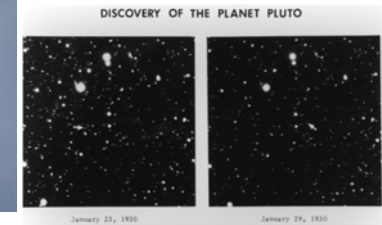
5

## Mechanik — Dynamik (Warum?)



Wechselwirkung!!

Bewegungs-  
änderung      Formänderung  
(Deformation)



Zur Charakterisierung der Stärke einer Wechselwirkung: Kraft

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

$$\left[ \begin{array}{l} a \Rightarrow F \\ \text{Z.B. beim freien Fall:} \\ g \Rightarrow F = mg \end{array} \right]$$

Alternativweg:  $F = -D\Delta l$

6

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

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



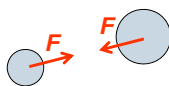
Vektorielle Summe

- 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):

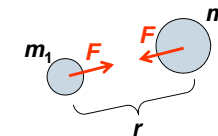


7

## Kraftgesetze

$F \Rightarrow a$

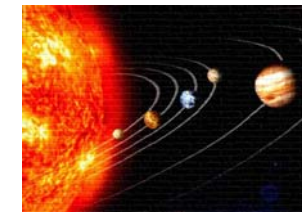
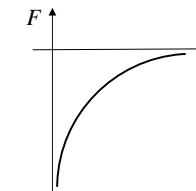
- Gravitation:



Gravitationsgesetz:

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

$\gamma$ : Gravitationskonstante



Anwendung:

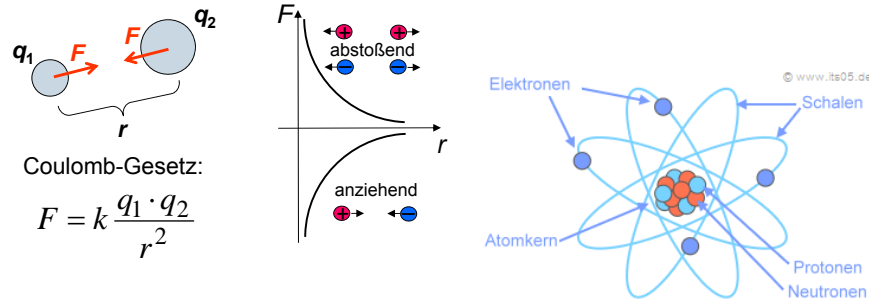


Schwerkraft oder Gewichtskraft ( $G$ ):

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

8

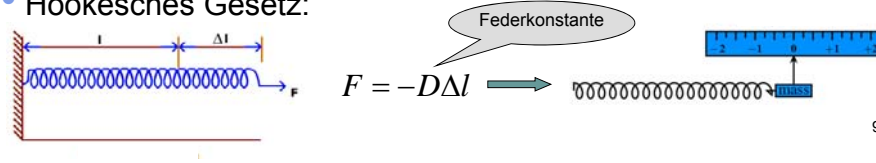
- Elektrische Wechselwirkung (Coulomb-Kraft):



- Starke Wechselwirkung (Kernkraft):

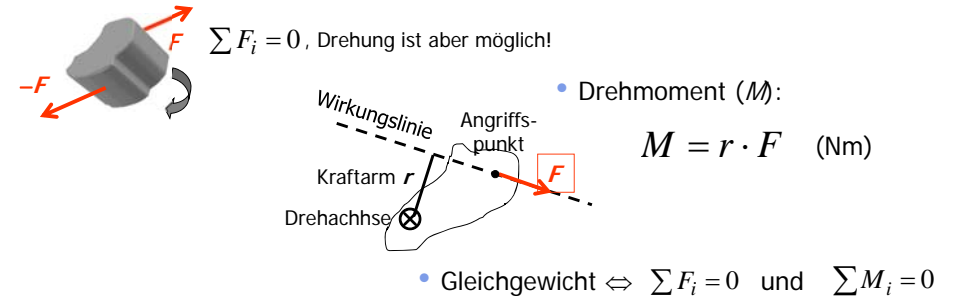
Z.B. zwischen Protonen und Neutronen im Kern; stark und hat kurze Reichweite

- Hookesches Gesetz:

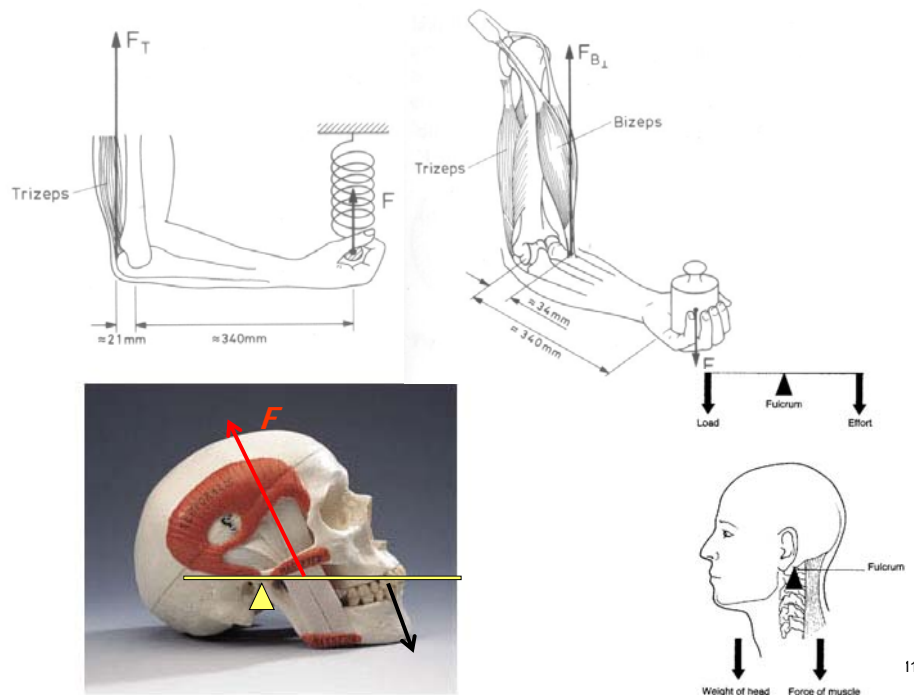
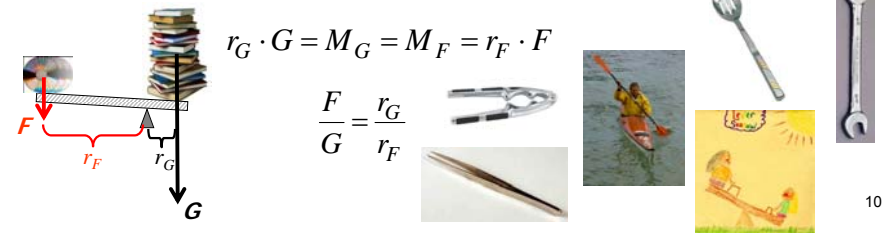


9

## Drehung und Drehmoment



## Hebel:



11

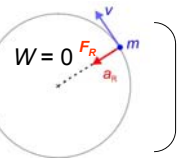
## Arbeit und Leistung

- 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.:



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



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

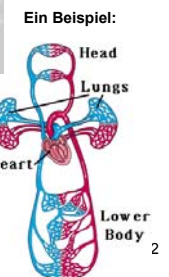


- Spannarbeit:  $W_{\text{Spann}} = \frac{1}{2}D(\Delta l)^2$



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

Weitere Maßeinheit: 1 PS = 750 W



2

# Energie

Arbeit  $\equiv$  „Energieübertragung“

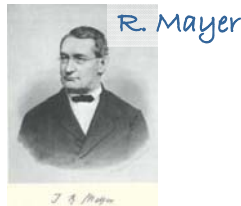
Energie  $\equiv$  „gespeicherte Arbeit“

- 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.

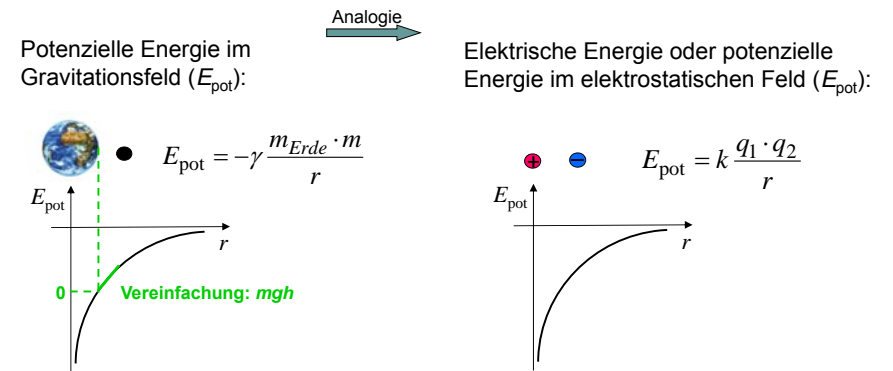


Die wichtigsten Gesetze der Physik: die Erhaltungssätze?

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

13

## Allgemeiner:



14

# Druck

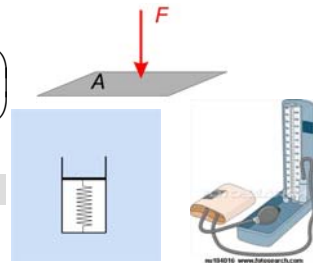
„Verteilung der Kraftwirkung auf eine Fläche“

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

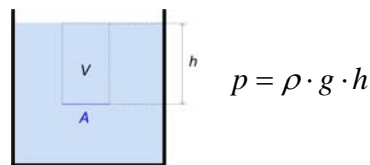
Weitere Maßeinheiten:

1 bar = 100 kPa  
1 mmHg = 133 Pa

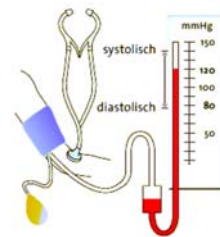
Normaldruck = 101 kPa



- Hydrostatischer Druck (Schweredruck)

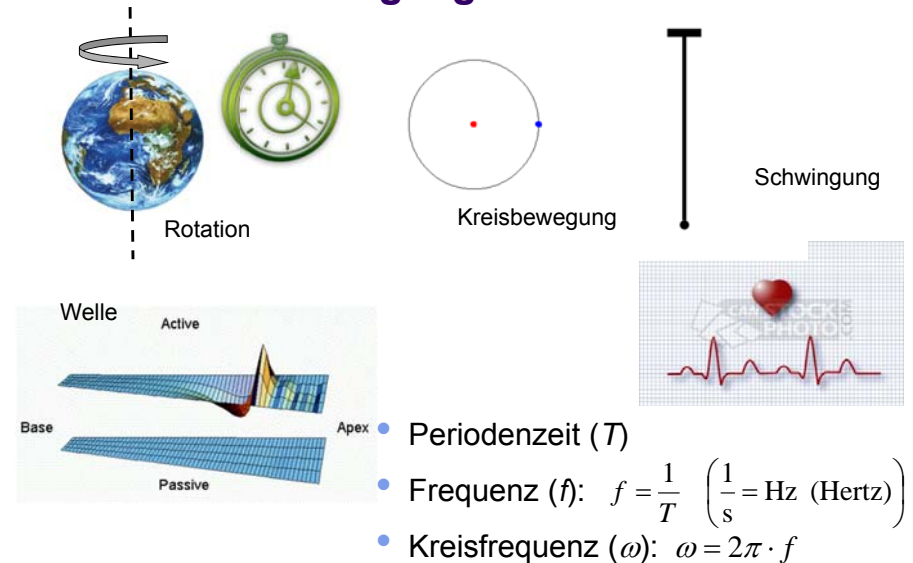


Interpretation des Gasdruckes:



15

## Periodische Vorgänge



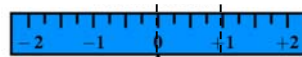
16

# Mechanische Schwingungen

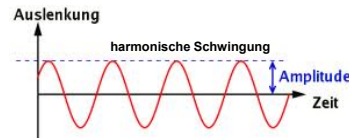
## Eigenschwingung

Schwingung eines sich selbst überlassenen Systems.

## Auslenkung (x)



## Amplitude (A): maximale Auslenkung



## Eigenfrequenz

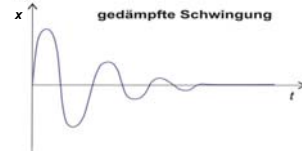
Die Frequenz einer Eigenschwingung, z.B. beim Fadenpendel:

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

beim Federpendel:

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

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



## Gedämpfte Schwingung:

17

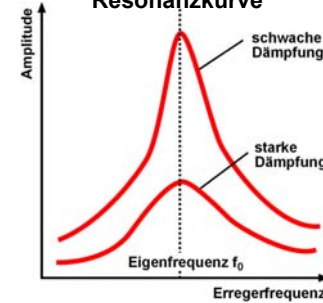
## Erzwungene Schwingung

Schwingung unter dem Einfluss einer äußeren periodischen Erregungskraft.

## Resonanz

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

## Resonanzkurve

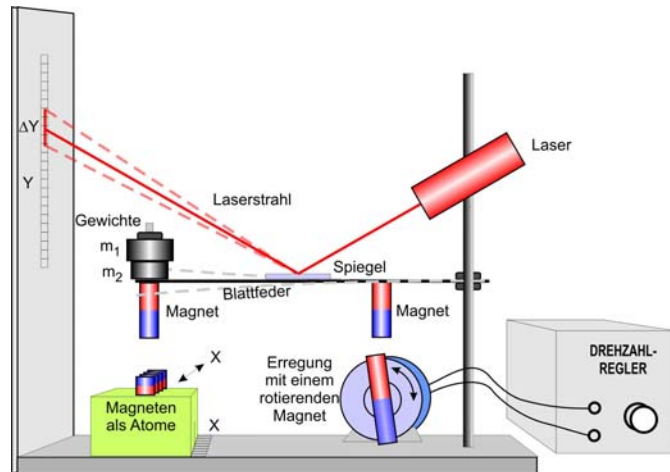


„Resonanzkatastrophe“



MRI 18

Resonanzmessung im Praktikum:



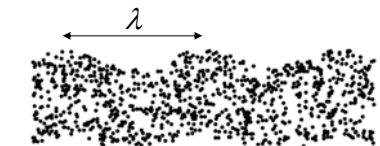
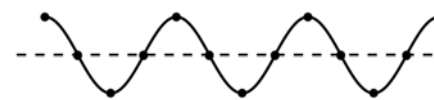
Modell des Atomkraftmikroskops (AFM) 19

## Wellen

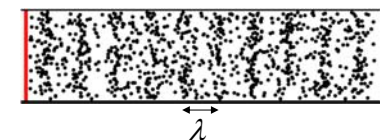
Ausbreitung eines Schwingungszustandes

## Wellenlänge ( $\lambda$ ):

### Transversalwelle

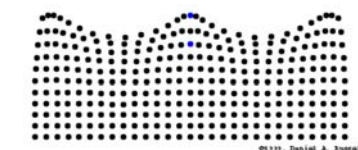


### Longitudinalwelle



Ausbreitungsgeschwindigkeit

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



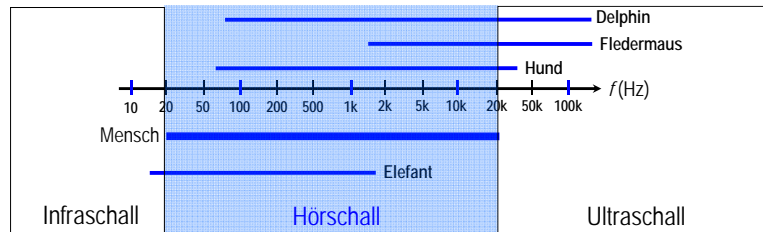
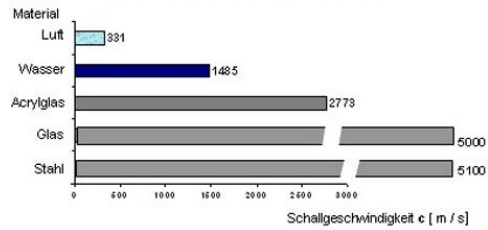
20



## Schallwellen

Mechanische Welle; ist unbedingt an Materie gebunden!

Schallgeschwindigkeit (c) diverser Materialien

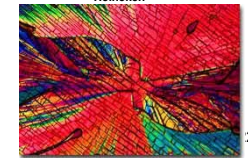
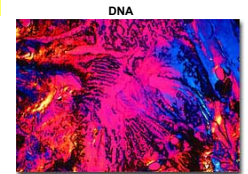
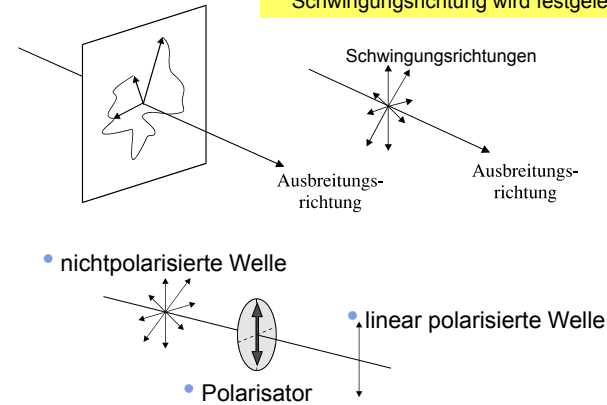


→ Sonographie

21

## Polarisation (lineare Polarisation)

Bei Transversalwellen: eine Schwingungsrichtung wird festgelegt

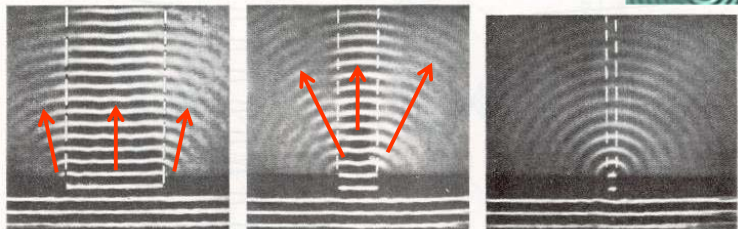


2

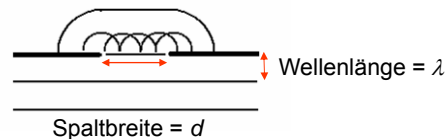
## Beugung (Diffraktion)

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

Beugung an einer Öffnung:

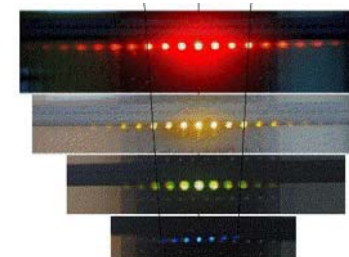


**Huygensches Prinzip:** Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Welle, der sog. Elementarwelle betrachtet werden. Durch die Überlagerung dieser Elementarwellen ergibt sich die beobachtbare Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.

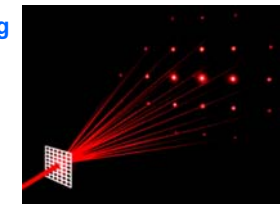


$d/\lambda \gg 1 \Rightarrow$  schwache Beugung  
 $d/\lambda \approx 1 \Rightarrow$  starke Beugung

23

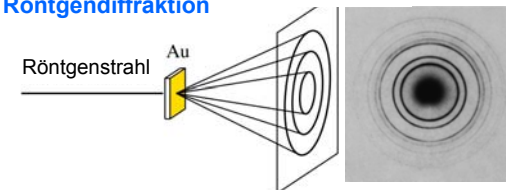


Lichtbeugung

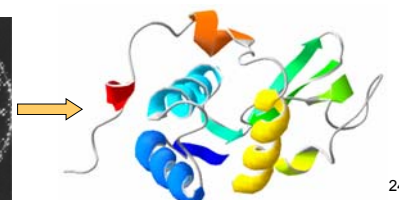
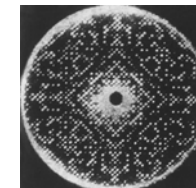
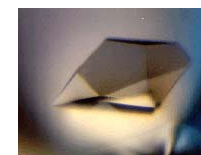


Röntgendiffraktion

Diffraktionsbild



Lysozyme



24

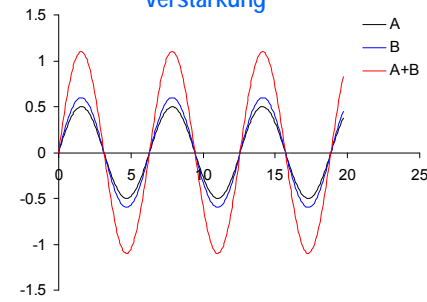
# Interferenz

Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge



positive (konstruktive)  
Interferenz

Verstärkung



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

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

negative (destruktive)  
Interferenz

"Auslöschen"

