

Biophysik für Pharmazeuten I. 2017/18

Vorlesung 2

Mechanik

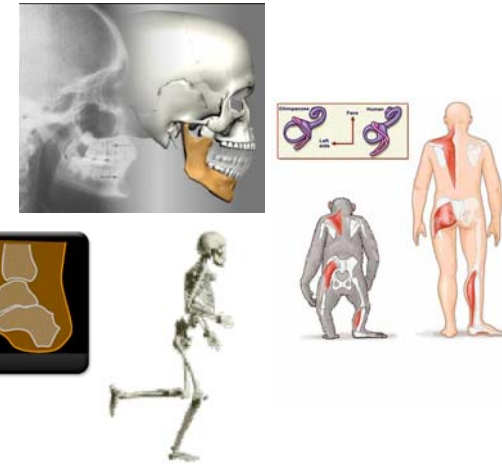
László Smeller

<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:

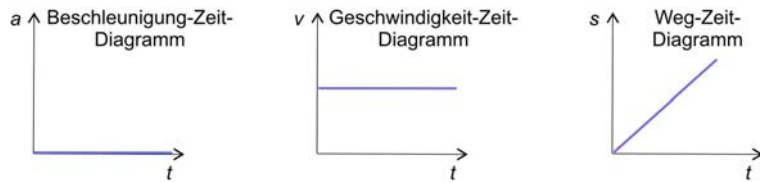


Fallbeschleunigung (g): $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

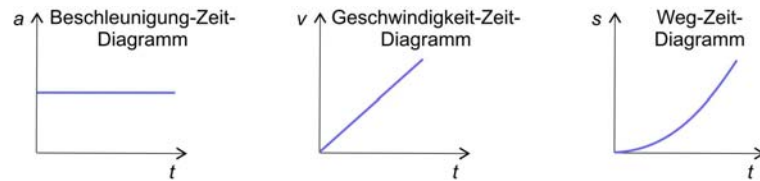
- Impuls oder Bewegungsgröße (p): $p = m \cdot v$

4

Geradlinige gleichförmige Bewegung:



Geradlinige gleichförmig beschleunigte Bewegung:



5

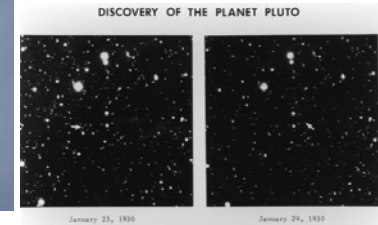
Mechanik — Dynamik (Warum?)



Wechselwirkung!!

Bewegungs-
änderung

Formänderung
(Deformation)



Zur Charakterisierung der Stärke einer Wechselwirkung: Kraft

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

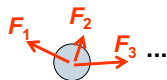
$$\left(\begin{array}{l} a \Rightarrow F \\ \text{Z.B. beim freien Fall:} \\ g \Rightarrow F = mg \end{array} \right)$$

Alternativweg: $F = -D\Delta l$

6

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

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



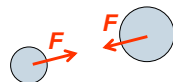
Vektorielle Summe

- 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):

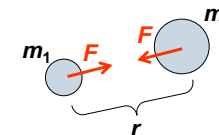


7

Kraftgesetze

$F \Rightarrow a$

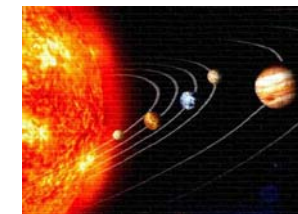
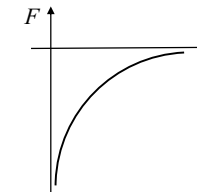
- Gravitation:



Gravitationsgesetz:

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

γ : Gravitationskonstante



Anwendung:

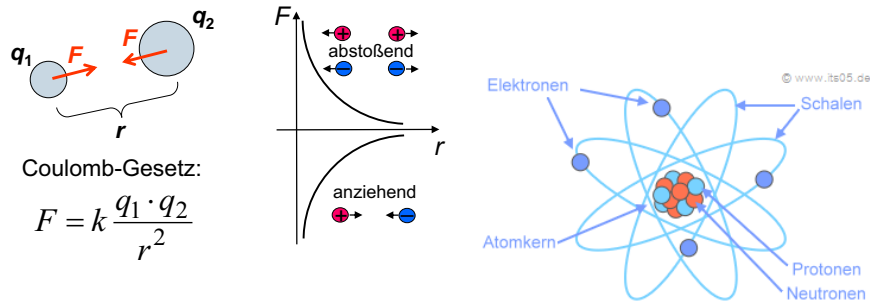


Schwerkraft oder Gewichtskraft (G):

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

8

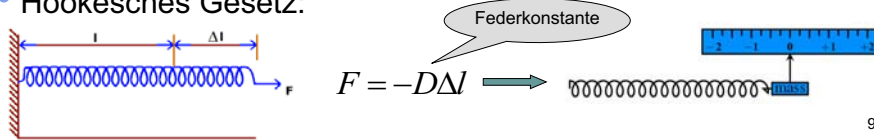
- Elektrische Wechselwirkung (Coulomb-Kraft):



- Starke Wechselwirkung (Kernkraft):

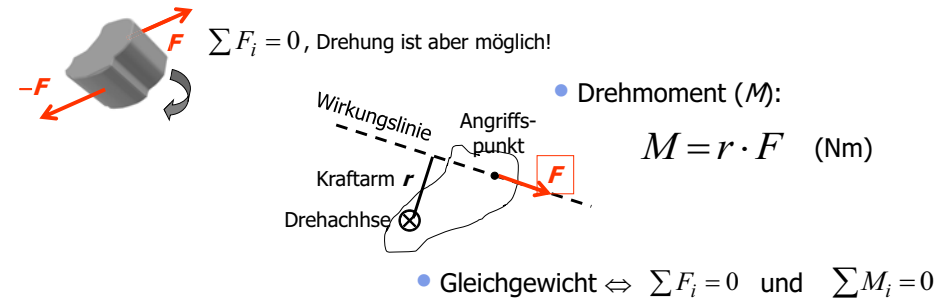
Z.B. zwischen Protonen und Neutronen im Kern; stark und hat kurze Reichweite

- Hookesches Gesetz:

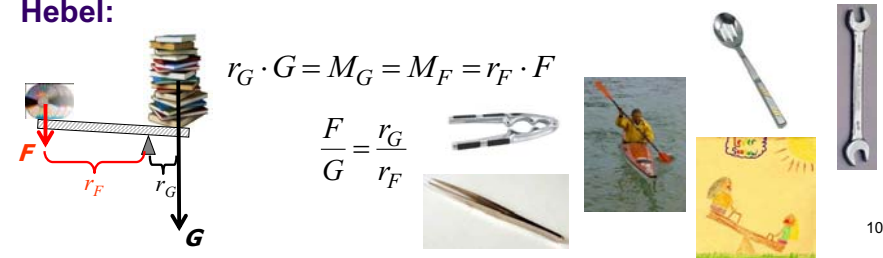


9

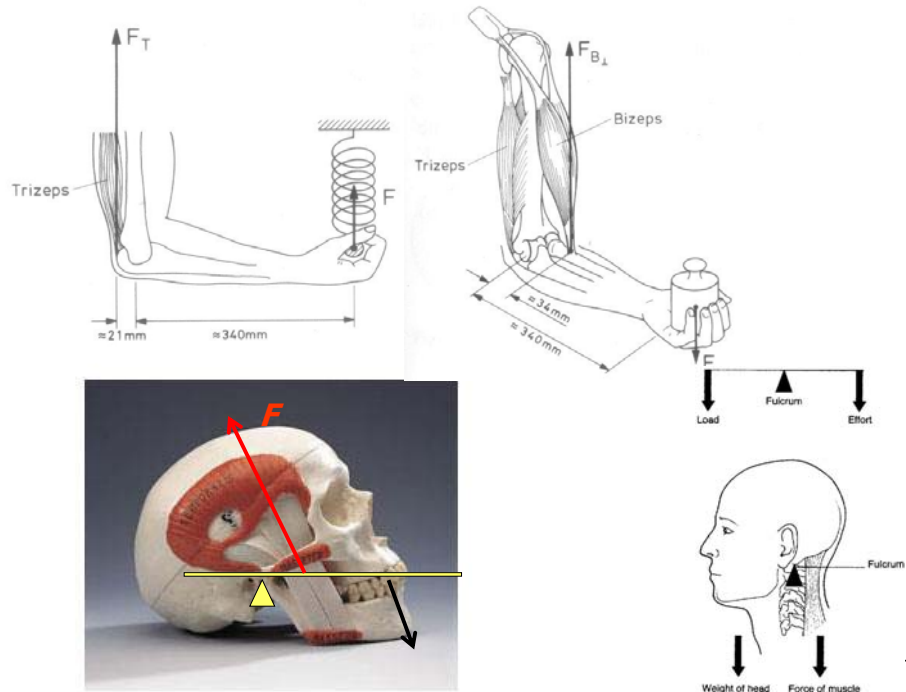
Drehung und Drehmoment



- Hebel:



10



11

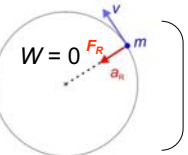
Arbeit und Leistung

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

Weitere Maßeinheiten:
1 cal = 4,19 J
1 eV = 1,6 · 10⁻¹⁹ J

Allgemeiner:
 $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

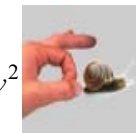
Z.B.:



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



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

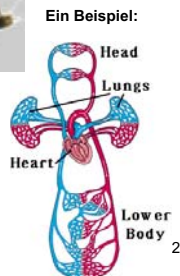


- Spannarbeit: $W_{\text{Spann}} = \frac{1}{2}D(\Delta l)^2$



- 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_{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.



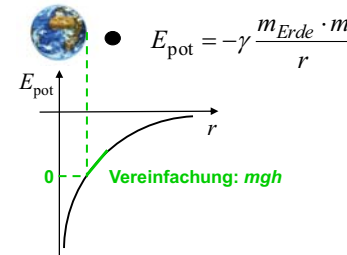
Die wichtigsten Gesetze der Physik: die Erhaltungssätze

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

13

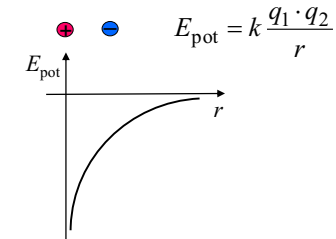
Allgemeiner:

Potenzielle Energie im Gravitationsfeld (E_{pot}):



Analogie

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



14

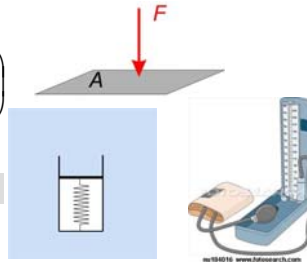
Druck

„Verteilung der Kraftwirkung auf eine Fläche“

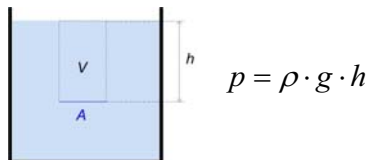
- Druck (p): $p = \frac{F}{A} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal)} \right)$

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

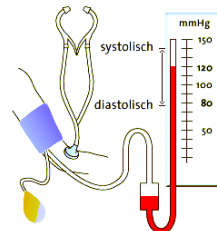
Normaldruck = 101 kPa



- Hydrostatischer Druck (Schweredruck)

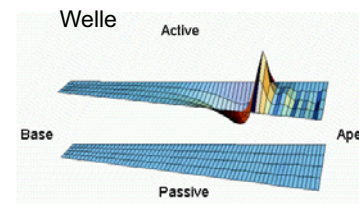
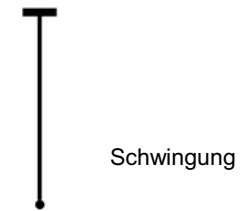
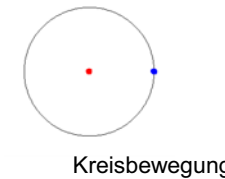
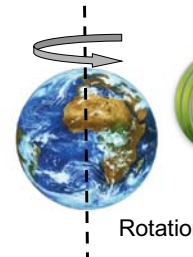


Interpretation des Gasdruckes:



15

Periodische Vorgänge



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

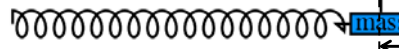
16

Mechanische Schwingungen

Eigenschwingung

Schwingung eines sich selbst überlassenen Systems.

Auslenkung (x)



Eigenfrequenz

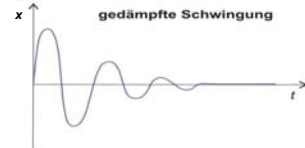
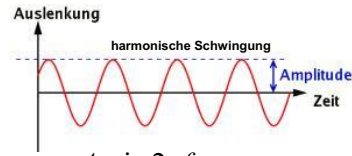
Die Frequenz einer Eigenschwingung, z.B. beim Fadenpendel:

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

beim Federpendel:

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

Amplitude (A): maximale Auslenkung



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

Gedämpfte Schwingung:

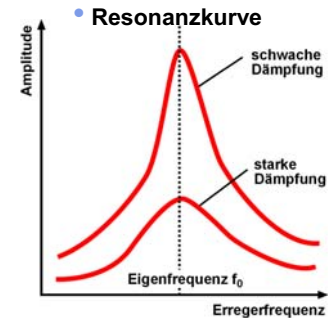
17

Erzwungene Schwingung

Schwingung unter dem Einfluss einer äußeren periodischen Erregungskraft.

Resonanz

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



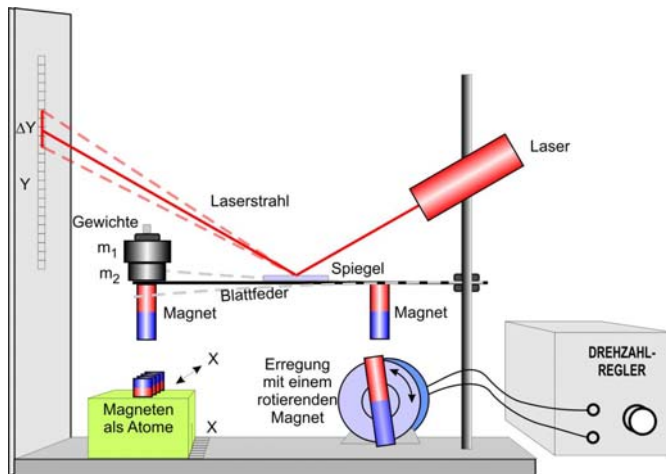
„Resonanzkatastrophe“



→ MRI

18

Resonanzmessung im Praktikum:



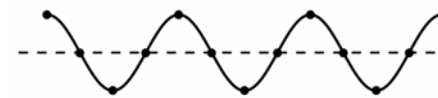
→ Modell des Atomkraftmikroskops (AFM)

19

Wellen

Ausbreitung eines Schwingungszustandes

Transversalwelle



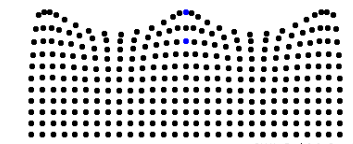
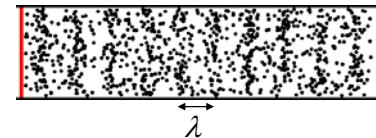
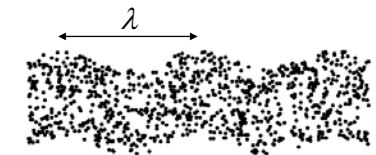
Longitudinalwelle



Ausbreitungsgeschwindigkeit

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

Wellenlänge (λ):

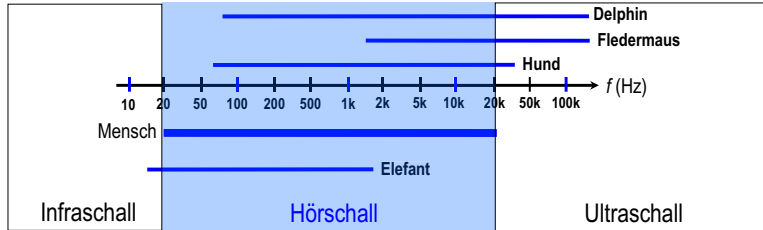
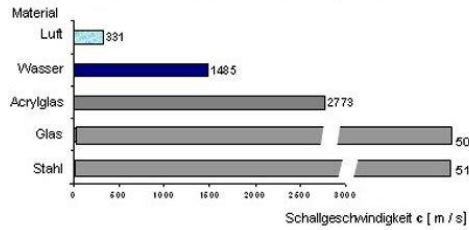


20

Schallwellen

Mechanische Welle; ist unbedingt an Materie gebunden!

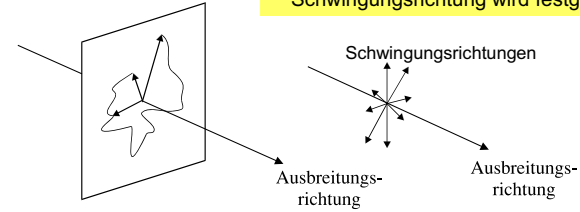
Schallgeschwindigkeit (c) diverser Materialien



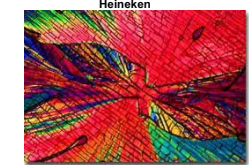
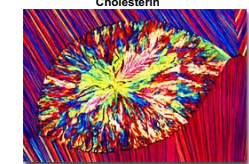
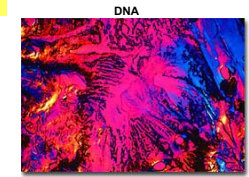
→ Sonographie 21

Polarisation (lineare Polarisation)

Bei Transversalwellen: eine Schwingungsrichtung wird festgelegt



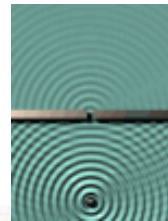
- nichtpolarisierte Welle
- linear polarisierte Welle
- Polarisator



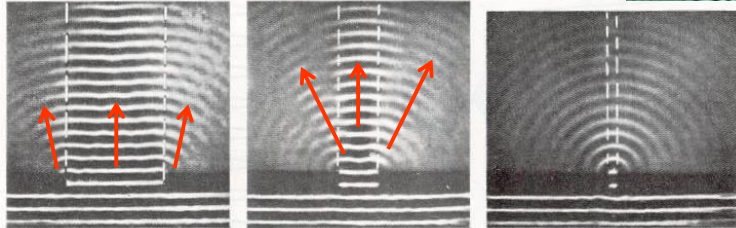
2

Beugung (Diffraktion)

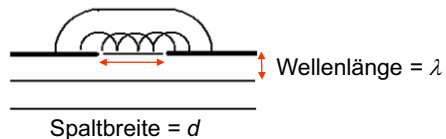
Abweichung von der ursprünglichen Ausbreitungsrichtung am Rand einer Öffnung oder eines Hindernisses



Beugung an einer Öffnung:



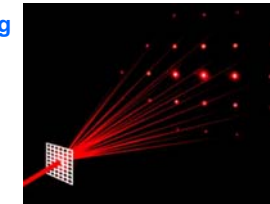
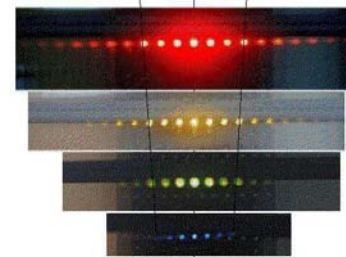
Huygensches Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer neuen kugelförmigen Welle, der sog. Elementarwelle betrachtet werden. Durch die Überlagerung dieser Elementarwellen ergibt sich die beobachtbare Wellenfront zu einem späteren Zeitpunkt.



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

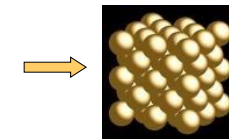
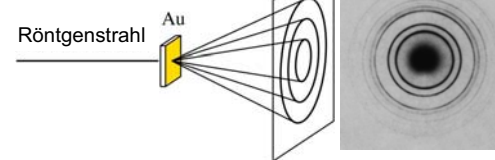
23

Lichtbeugung

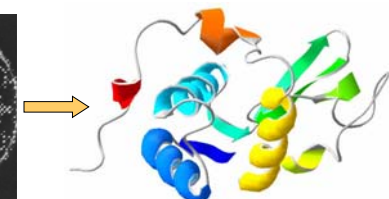
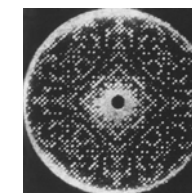
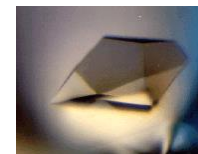


Röntgendiffraktion

Diffraktionsbild



Lysozyme



24

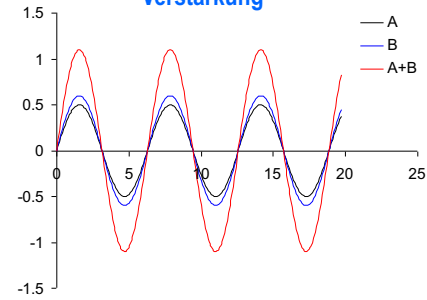
Interferenz

Überlagerung zweier oder mehrerer Wellenzüge



25

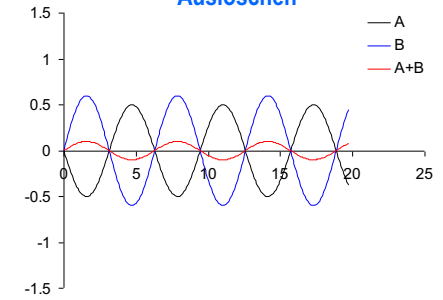
positive (konstruktive)
Interferenz
Verstärkung



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

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

negative (destruktive)
Interferenz
"Auslöschen"



26