

# Grundlagen der medizinischen Biophysik

5. Vorlesung 24. 09. 2020.

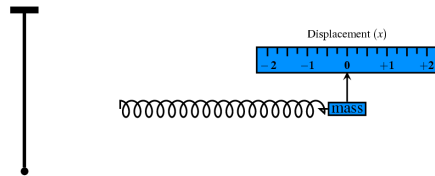
Ádám Orosz

## 1. Mechanik – Druck, Hydrostatik



1. Druck
2. Dichte
3. Hydrostatischer Druck
4. Gasdruck
5. Luftdruck
6. Partialdruck
7. Blutdruckmessung

## 2. Mechanik - Schwingungen



1. Grundbegriffe der Schwingungslehre
2. Schwingungstypen
3. Harmonische Schwingung
4. Auslenkung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Rücktreibende Kraft
5. Eigenschwingung und Eigenfrequenz
6. Erzwungene Schwingung
7. Resonanz

## Fluidmechanik (Strömungsmechanik)

### Fluidstatik

**Hydrostatik**  
(Gesetzmäßigkeiten in ruhenden, inkompressiblen Flüssigkeiten)

**Aerostatik**  
(Gesetzmäßigkeiten in ruhender Atmosphäre)

Charakterisierung des inneren Zustandes von Gasen und Flüssigkeiten

Druck

Dichte

### Fluiddynamik

Strömung von Flüssigkeiten und Gasen

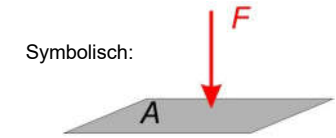
## Wiederholung - Druck



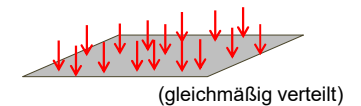
- Die Deformation eines Körpers hängt nicht nur von der auf ihn wirkenden Kraft ab, sondern auch davon, auf welche Fläche die Kraftwirkung konzentriert oder verteilt ist.
- Die Kraft reicht also nicht aus die Wechselwirkung völlig beschreiben zu können. Man braucht **eine neue Größe, die auch die Fläche berücksichtigt** → „**Druck**“.

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

Pascal



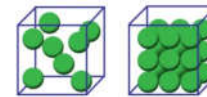
Tatsächlich:



Andere häufig gebrauchte Einheiten sind:  
Bar (bar), Atmosphäre (atm), Millimeter Quecksilbersäule (mmHg)

## Dichte

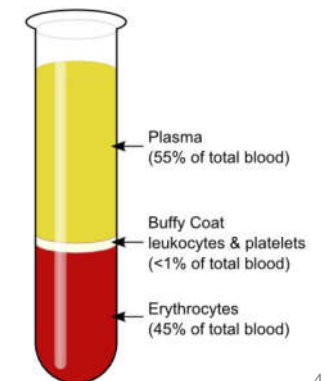
$$\text{Dichte } (\rho): \quad \rho = \frac{m}{V} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$



- Die **Dichte** eines Körpers ist **abhängig von**:
  - **Material**
  - **Druck**
  - **Temperatur**

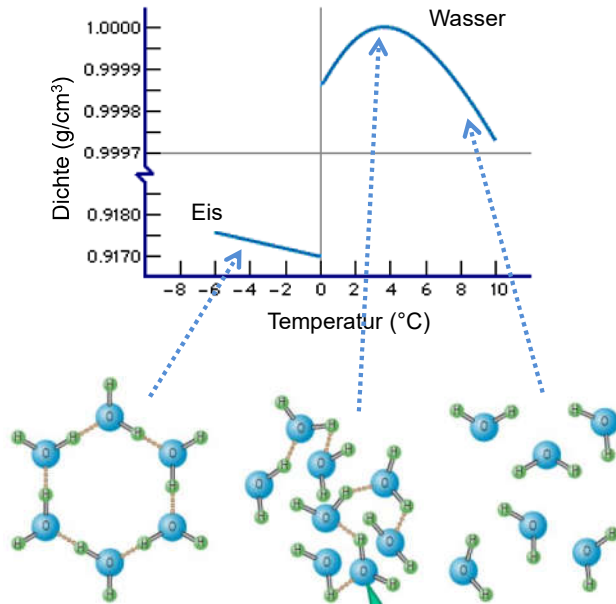
$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Zentrifugiert man Blut, so erhält man aufgrund der unterschiedlichen Dichten der Blutbestandteile drei sichtbare Fraktionen: Erythrozyten, Leukozyten und Thrombozyten, Plasma



Stoff	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Luft (0°C, 101 kPa)	0,00129
Wasser (4°C)	1
Fettgewebe	≈ 0,9
Blut	≈ 1,05
Knochen	≈ 1,8
Körpergewebe (Mittelwert)	≈ 1,04
Gold (Au)	19,3
Quecksilber (Hg)	13,6

## Dichte des Wassers



5

## Übung

Wie groß ist der Druck, den ein Mann ( $m = 80 \text{ kg}$ ) beim Stehen auf die Unterstützung ausübt

a) barfuß  $A = 200 \text{ cm}^2 = 0,02 \text{ m}^2$

$$G = m \cdot g = 80 \cdot 9,81 = 785 \text{ N}$$

$$P = \frac{785}{0,02} = 39250 \text{ Pa} \approx 40 \text{ kPa}$$

b) mit Ski  $A = 3300 \text{ cm}^2 = 0,33 \text{ m}^2$

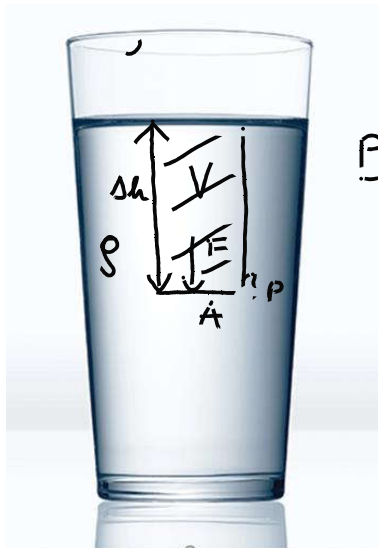
$$P = \frac{785}{0,33} = 2379 \text{ Pa} \approx 2 \text{ kPa}$$

c) auf Schlittschuhen  $A = 4 \text{ cm}^2 = 0,0004 \text{ m}^2$

$$P = \frac{785}{0,0004} = 1962500 \text{ Pa} \approx 1 \text{ MPa}$$

6

## Hydrostatischer Druck



$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot \Delta h$$

$$P \cdot A = F = m \cdot g = \rho \cdot A \cdot \Delta h \cdot g$$

$$P = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$p \sim \Delta h$$

## Hydrostatischer Druck (Schweredruck)

Der Druck, der sich innerhalb einer Flüssigkeit durch den Einfluss der Gravitation einstellt:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Bemerkung:

Der Druck nimmt also mit zunehmender Tiefe linear zu. Dies gilt jedoch nur, wenn die Dichte der Flüssigkeit konstant bleibt (inkompressible Flüssigkeit).



Berechnen Sie den Druck, den eine Quecksilbersäule der Höhe 1 mm ausübt.

$$\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3 = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$P = 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,001 = 133,4 \text{ Pa}$$

1 mmHg = 133 Pa



Evangelista Toricelli Barometer (1643)

7

8

# Hydrostatisches Paradoxon



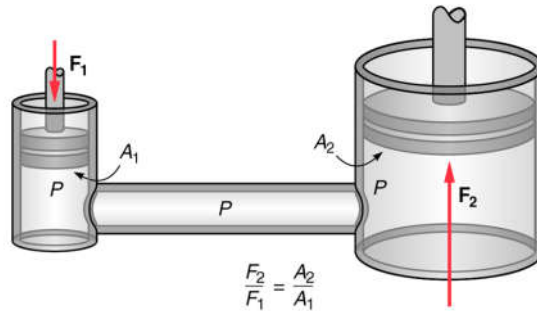
**Hydrostatischer Druck** ist nur von der Dichte der Flüssigkeit und der jeweiligen Tiefe (Füllhöhe) abhängig. **Er hängt also nicht von der Form des Gefäßes ab.**



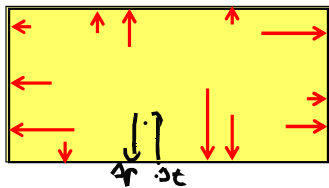
Blaise Pascal  
1623 –1662

## Pascalsches Gesetz

**Gesetz der allseitigen Druckausbreitung:** der hydrostatische Druck ist an jedem Punkt der Flüssigkeit gleich stark in jede Raumrichtung.



## Druck in Gasen



$$dp = m \cdot dv$$

$$dp = \frac{dp}{dt} \quad \text{Newton II.}$$

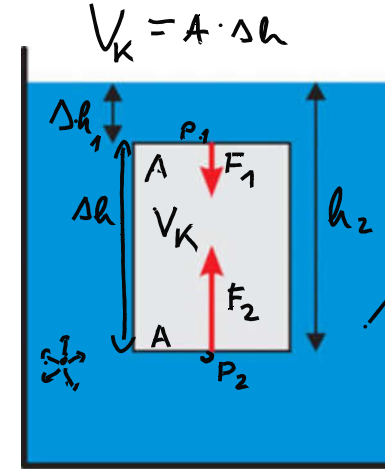
- Die Gasteilchen bewegen sich aufgrund ihrer **thermischen Energie** in alle beliebigen Richtungen (thermische Energie wird in **kinetische Energie** umgewandelt).
- Dabei **prallen die Gasteilchen auch auf die Wände** des Behälters, in dem sie sich befinden und es finden **elastische Stoßereignisse** statt.
- Wenn die Teilchen mit der Wand kollidieren, treten **Impulsänderungen** auf, die nach dem 2. newtonschen Gesetz zu kurzfristigen **Kraftänderungen** führen. Die bei diesen Stoßereignissen auf die Wand ausgeübten Druckkräfte ergeben den Gasdruck.
- Der **Gasdruck** entsteht somit als **Summe aller** durch ein Gas oder Gasgemisch wirkenden **Kräfte** auf die Gefäßwand.

S. später:

$$pV = NkT$$

# Archimedisches Prinzip und Auftriebskraft

Der statische Auftrieb eines Körpers in einem Medium ist genauso groß wie die **Gewichtskraft des vom Körper verdrängten Mediums**. Jeder in Wasser getauchte Körper verliert so viel Gewicht, wie das Gewicht des Wassers, das er verdrängt.



Auftriebskraft:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot h_1$$

$$F_1 = p_1 \cdot A = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot A$$

$$F_2 = \rho \cdot A \cdot h_2 \cdot g$$

$$\Sigma F = F_2 - F_1 = \rho \cdot A \cdot h_2 \cdot g - \rho \cdot A \cdot h_1 \cdot g$$

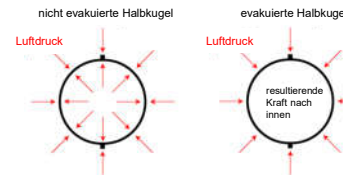
$$\Sigma F = \rho \cdot g \cdot A \cdot (h_2 - h_1)$$

$$F_a = \rho \cdot g \cdot V_K$$

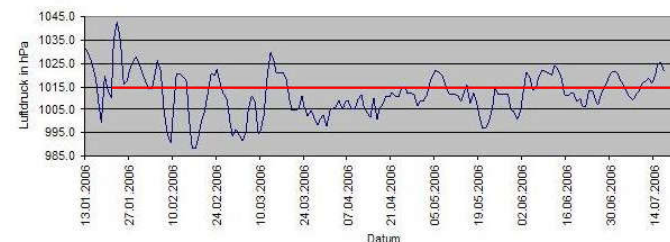
10

## Luftdruck

Das Experiment von Otto von Guericke:



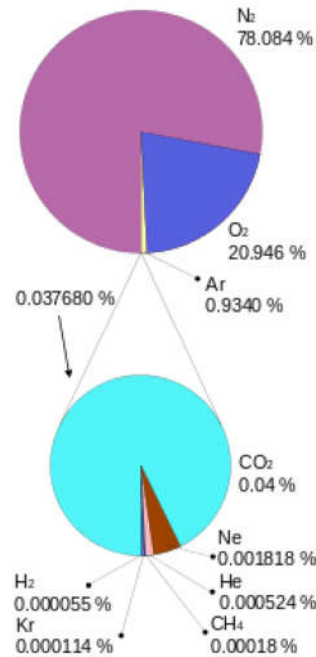
Mittelwert Luftdruck



Normdruck = 101 kPa =  
=1010 hPa

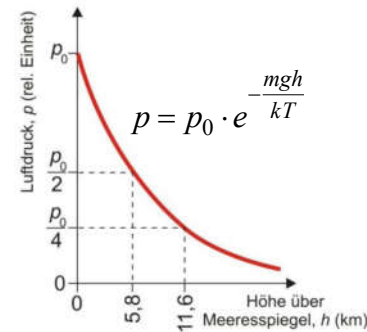
## Partialdruck (Teildruck)

- Ein Begriff für Gasgemische.
- Luft besteht aus einem Gasgemisch (Stickstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid,...).
- Jedes einzelne Gas in dem Gasgemisch trägt zu einem gewissen Teil zum Gesamtdruck bei.
- Der **Partialdruck** entspricht dem Druck, den eine einzelne Gaskomponente eines Gasgemisches bei alleinigem Vorhandensein im betreffenden Volumen ausüben würde.
- Die Summe der Partialdrücke der Komponenten ergibt den Druck des Gases.
- Beispiel: Der Anteil von O<sub>2</sub> in der Luft beträgt ~ 21%. Vom Gesamtdruck 101 kPa ist 21,2 kPa der Partialdruck von O<sub>2</sub>.

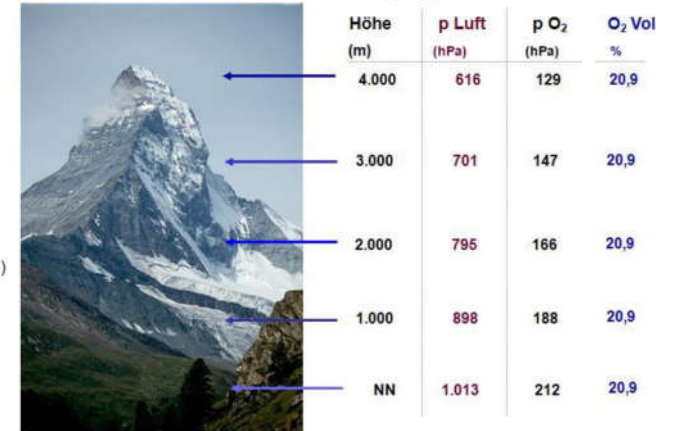


13

## Atmung in großer Höhe



### Höhenluft bzw. „Hypoxie“

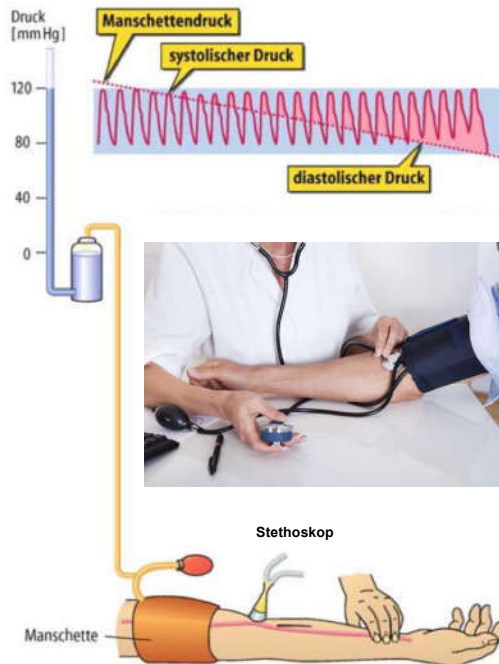


- Die prozentuale Zusammensetzung der Luft verändert sich nicht (kaum) mit zunehmender Höhe im Bereich von für den Menschen relevanten Höhen
- Trotzdem bekommen wir mit zunehmender Höhe Probleme mit der Atmung und unsere Leistungsfähigkeit nimmt ab (→ Höhenttraining)
- Ursächlich dafür ist der **abnehmende Luftdruck** und somit **auch Partialdruck von Sauerstoff**, der maßgeblich die Sauerstoffaufnahme und -abgabe des Körpers beeinflusst.
- Der Körper kann sich anpassen – erhöhte Produktion von Hämoglobin und roten Blutkörperchen

14

## Blutdruck und seine Messung

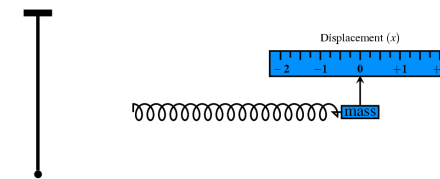
- Manschette wird solange aufgeblasen, **bis Manschettendruck den Blutdruck** in der A. brachialis um ca. 20 mmHg **übersteigt**
- Es **fließt jetzt kein Blut** mehr in den Arm hinein (und auch nicht hinaus)
- Das Stethoskop wird über der A. brachialis positioniert und der Druck in **der Manschette wird langsam verringert**
- Sobald der Druck so gering ist, dass das Blut wieder zu fließen beginnt, sind Geräusche zu hören = **Korotkow-Geräusche**
- Solange der Manschettendruck zwischen dem systolischen und dem diastolischen Druck liegt, sind Geräusche zu hören, da **in diesem Bereich der Blutstrom turbulent** ist
- Sobald der diastolische Wert erreicht ist, hören die Geräusche - und die turbulente Strömung - auf



Bemerkung:  
Der gemessene Druckwert ist als **Überdruck** zu verstehen (= überhalb des Luftdruckes).

15

## Mechanik – Schwingungen

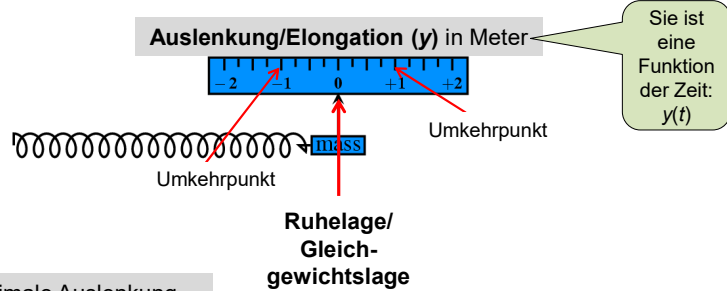


- Grundbegriffe der Schwingungslehre
- Schwingungstypen
- Harmonische Schwingung
- Auslenkung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Rücktreibende Kraft
- Eigenscheinung und Eigenfrequenz
- Federpendel
- Erzwungene Schwingung
- Resonanz

16

# Grundbegriffe der Schwingungslehre

**Oszillator:** Physikalisches System, das Schwingungen ausführen kann (z.B. Federpendel)  
**Schwingung** (mechanisch): Periodische Hin- und Herbewegung eines Körpers um eine Ruhelage



**Amplitude (A):** Maximale Auslenkung

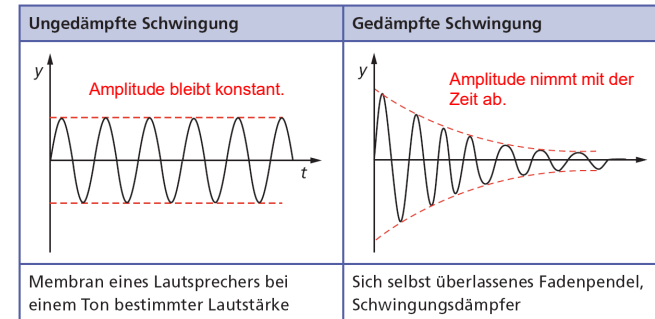
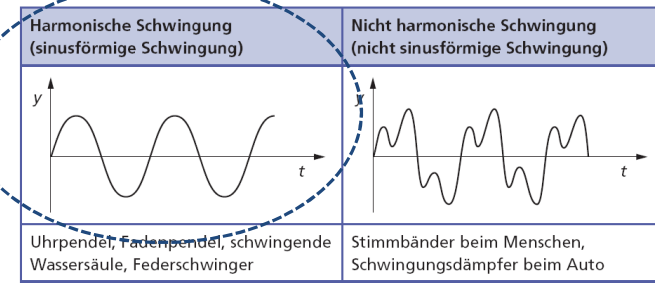
Zur Erinnerung:

- Periodenzeit/Periodendauer/Schwingungsdauer (T):** Zeitdauer einer Schwingung/Periode
- Frequenz/Schwingungszahl (f):** Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit. Es gilt:  

$$f = \frac{1}{T} \quad \left( \frac{1}{s} = \text{Hz} \right)$$
- Kreisfrequenz ( $\omega$ ):** Anzahl der Schwingungen pro  $2\pi$ . Es gilt:  $\omega = 2\pi f$

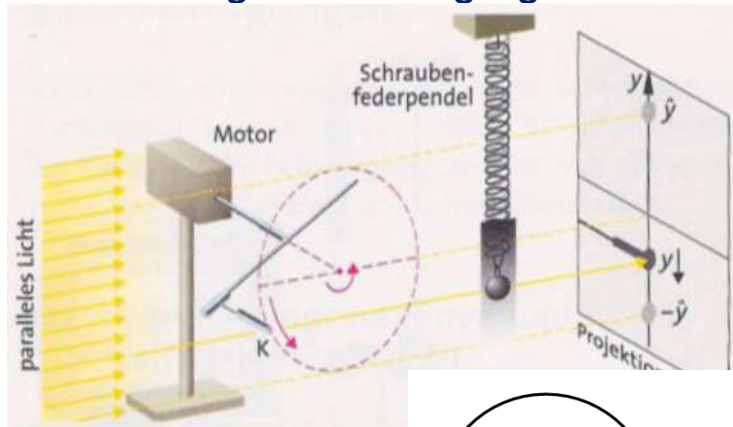
17

# Schwingungstypen



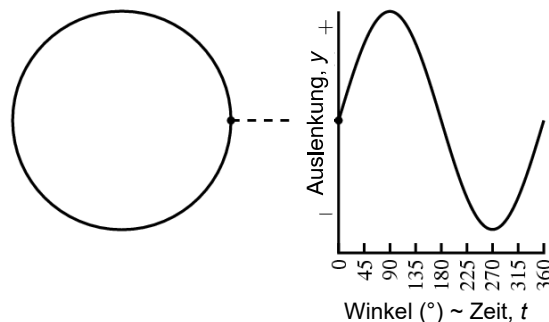
18

## Gleichförmige Kreisbewegung – harmonische Schwingung



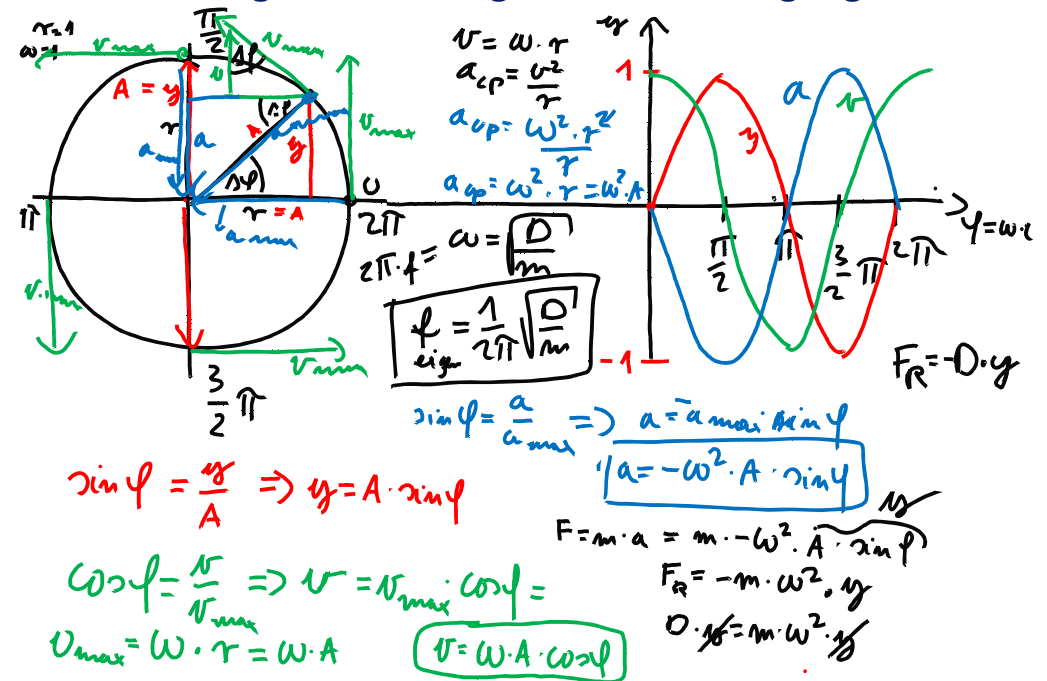
Allgemeine Formel für die Auslenkung-Zeit-Funktion:  

$$y = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$



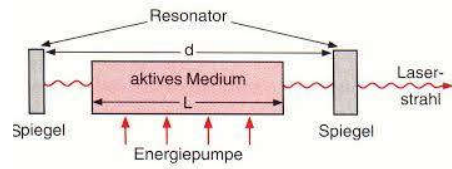
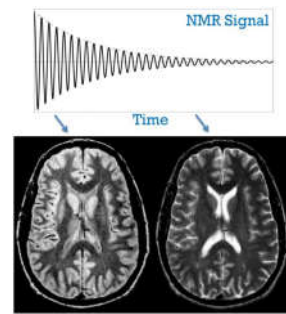
9

## Auslenkung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft



20





**Hausaufgabe:** Kapitel 6. und 7.