

The background is a vibrant, abstract composition of glowing light rays in shades of blue, purple, and white. Several translucent spheres are scattered throughout: a green one in the top left, a red one in the top right, and a large, multi-colored sphere (pink, purple, green) in the center. The overall effect is one of dynamic energy and quantum-level phenomena.

Physik

für Studierende der Biologie

Christian Roos

Institut für Quantenoptik und Quanteninformation

$$\langle \phi_n | \phi_n \rangle = \langle \phi_n | \int dx |x\rangle \langle x| \phi_n \rangle \quad \varphi_a - \varphi_b = 0, 2\pi \dots \Rightarrow e^{i\varphi_a} = e^{i\varphi_b} \quad \{ |R\rangle, |L\rangle \} \quad \left\{ \begin{array}{l} \|\psi\| = \sqrt{\langle \psi | \psi \rangle} \\ \rho = \frac{1}{2\pi} \end{array} \right.$$

$$\phi_n(x) = \langle x | \phi_n \rangle = \frac{1}{\sqrt{L}} \phi_n'(x) = \phi_n/x \quad \left(\psi_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2L}} e^{i\varphi_0} \left(e^{i(\frac{2\pi}{L}n + k_0)x} + e^{-i(\frac{2\pi}{L}n + k_0)x} \right) \right)$$

$$\langle \phi_n | \phi_n \rangle = \int_{-L/2}^{+L/2} dx |\phi_n(x)|^2 = \int_{-L/2}^{+L/2} dx \frac{1}{L} = L \cdot \frac{1}{L} = 1 = \frac{2}{\sqrt{2L}} e^{i\varphi_0} \cos \left[\left(\frac{2\pi}{L}n + k_0 \right) x \right] \quad ; \quad \psi_n(x = \pm L/2) = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} t_n = \frac{h}{2\pi} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

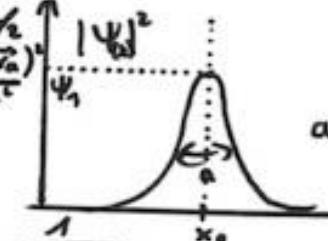
$$\langle \phi_n | \phi_{n'} \rangle = \langle \phi_n | \int dx |x\rangle \langle x| \phi_{n'} \rangle \Rightarrow \left(\frac{2\pi}{L}n + k_0 \right) \frac{L}{2} = \frac{\pi}{2} (2\ell - 1), \ell = 1, 2, \dots \Rightarrow k_0 = -\frac{\pi}{2}$$

$$\langle \phi_n | \phi_{n'} \rangle = \int_{-L/2}^{+L/2} dx \phi_n^*(x) \cdot \phi_{n'}(x) \quad \psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \cos \left[\frac{\pi}{L} (2n-1)x \right] ; \varphi_a - \varphi_b = \pi ; \psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \left[\frac{2\pi}{L} nx \right]$$

$$\langle \phi_n | \phi_{n'} \rangle = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{+L/2} dx e^{-ikx} e^{ik'x} = 0 ; k \neq k'$$

$$\hat{H} \psi_n(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \partial_x^2 \psi_n(x) = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\pi}{L} (2n-1) \right)^2 \psi_n(x)$$

$$E_{ns} = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\pi^2}{L^2} (2n-1)^2, \quad n=1, 2, \dots ; \quad \hat{H} \psi_n(x) = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{2\pi}{L} n \right)^2 \psi_n(x)$$

$$|\psi(x)|^2 = |\psi_0|^2 e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2a^2}} \quad \psi_1$$


$$\int_{-\infty}^{+\infty} dx e^{-Ax^2} = \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad a \approx 10^{-10} \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{2a^2} \Rightarrow |\psi_0| = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}a)^{1/2}}$$

$$\hat{H} \psi_a = -\frac{\hbar^2}{2m} \partial_x^2 \psi_a(x) = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{2a^2} \psi_a(x) - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{4a^4} (x-x_0)^2 \psi_a(x)$$

$$= -\frac{\hbar^2}{2m} \left(-\frac{1}{2a^2} + \left(\frac{1}{2a^2} (x-x_0) \right) e^{-\frac{(x-x_0)^2}{4a^2}} \right) \psi_a(x) ; \quad V(x) = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{4a^4} (x-x_0)^2$$

$$\hat{H} \rightarrow \hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \partial_x^2 + V(x) ; \quad \hat{H} \psi_a = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{2a^2} \psi_a = E_0 \psi_a$$

$$V(x) = \frac{1}{2} m \omega^2 (x-x_0)^2 \rightarrow m \omega^2 = \frac{\hbar^2}{m 4 a^4} \Rightarrow \omega = \frac{\hbar}{2ma} \quad E_0 = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{2a^2}$$

$$[\hat{p}, \hat{x}] = \frac{\hbar}{i} ; \quad \hat{p} = \frac{\hbar}{i} \partial_x / \hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2} m \omega^2 \hat{x}^2$$

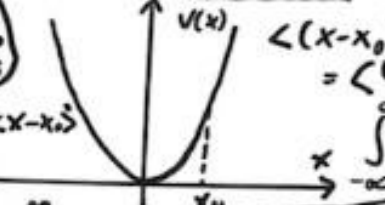
$$1. \hat{a} + \hat{b} = (a+ib)(a-ib) ; a, b \in \mathbb{R} ; 2. (a\hat{p} + ib\hat{x})(a\hat{p} - ib\hat{x}), a, b \in \mathbb{R}$$

$$= a^2 \hat{p}^2 + iab\hat{x}\hat{p} - iab\hat{p}\hat{x} + b^2 \hat{x}^2 = a^2 \hat{p}^2 + b^2 \hat{x}^2 - b a \hbar$$

$$\hat{H} = (a\hat{p} + ib\hat{x})(a\hat{p} - ib\hat{x}) = b a \hbar ; \quad a^2 = \frac{1}{2m} ; \quad b^2 = \frac{1}{2} m \omega^2$$

$$D\psi : C^+ \frac{1}{\sqrt{\hbar\omega}} (a\hat{p} + ib\hat{x}) ; C^- = \frac{1}{\sqrt{\hbar\omega}} (a\hat{p} - ib\hat{x}) \Rightarrow \hat{H} = \hbar\omega C^+ C^- + \frac{1}{2} \hbar\omega$$


$$\left\{ \begin{pmatrix} \omega & \frac{\hbar}{2} \\ \frac{\hbar}{2} & \omega \end{pmatrix} \middle| \omega, \hbar \in \mathbb{C} \right\} \quad \{ \pm 1 \} \text{ is } SU(2) \cong S^3 \quad A \mapsto \omega \bar{A} \omega^{-1} \quad S_i = \frac{\hbar}{2} \sigma_i ; i \in \{1, 2, 3\}$$

$$\omega = \begin{pmatrix} \omega & 0 \\ 0 & \omega \end{pmatrix} ; \quad \sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$


$$\langle (x-x_0)^2 \rangle = \langle \psi_0 | (x-x_0)^2 | \psi_0 \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} dx |\psi_0(x)|^2 (x-x_0)^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} dx \psi_0^*(x) (x-x_0)^2 \psi_0(x)$$

Physik ist ...

... die Suche nach Gesetzmäßigkeiten und quantitativen Modellen zur Erklärung grundlegender Naturphänomene

Beobachtungen/Experimenten  Theoretische Modellbildung
(neue Begriffe, mathematische Modelle)

Ein wesentliches Ziel:

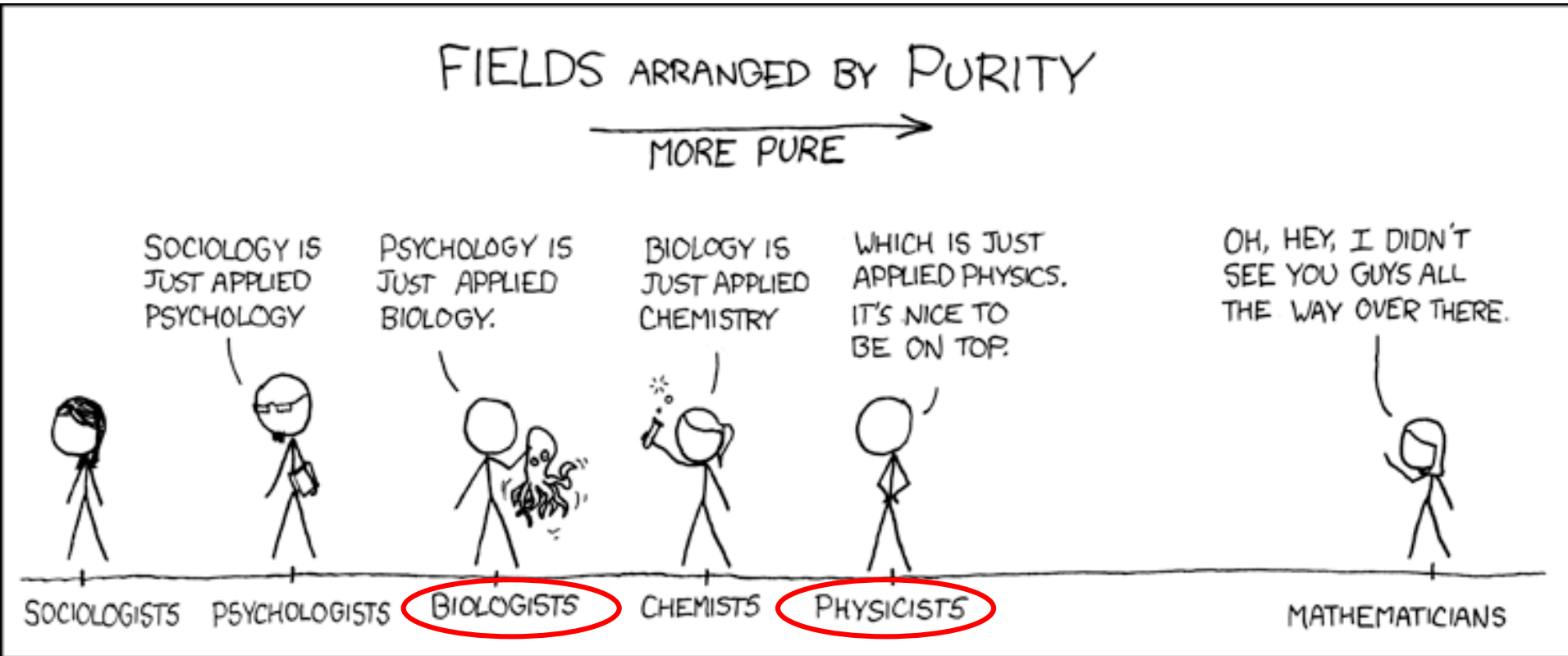
Rückführung aller beobachteten Phänomene auf möglichst wenige Grundprinzipien

Aber:

Die fundamentalsten Prinzipien führen oft zu mathematischen Modellen, die zu kompliziert sind, um gelöst zu werden.

 vereinfachte Modelle + Näherungsverfahren

Biologie und Physik



<https://xkcd.com/435/>

Physik von ...

- Vorgängen in lebenden Systemen ...
 - Chemie
 - Zelle
 - Gewebe
 - Organe
 - Gesamtorganismus
- ... und drum herum:
 - Ökosystem
 - Umwelt
- Methoden der Biologie
 - Mikroskopie
 - Röntgen-Strukturanalyse
 - Elektrophorese



Bild von NASA/Apollo 17 crew, gemeinfrei,
[https://de.wikipedia.org/wiki/Erde#/media/File:
The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Erde#/media/File:The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg)

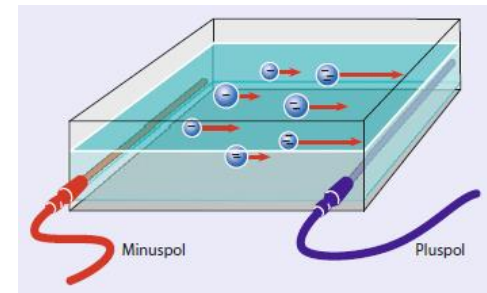
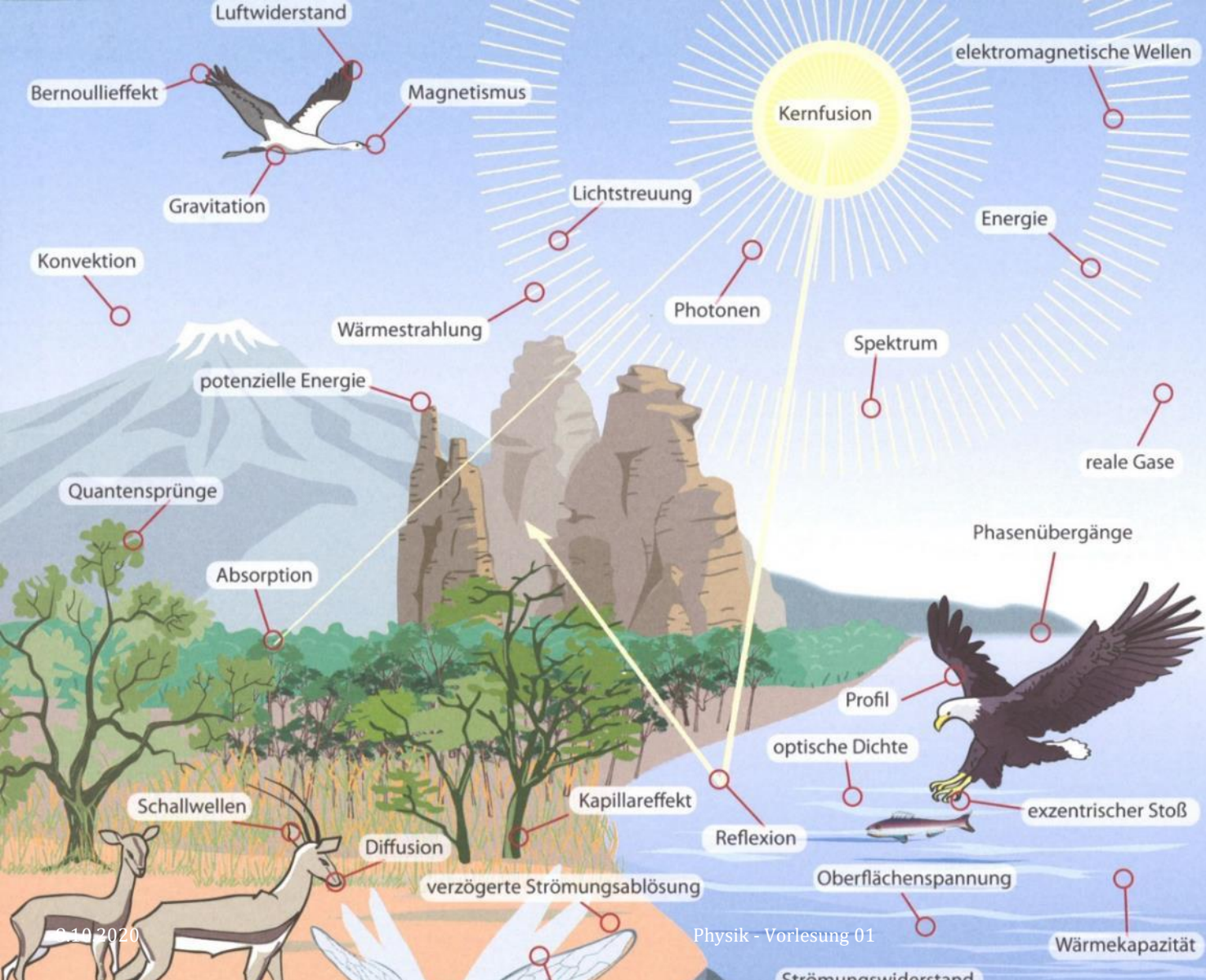
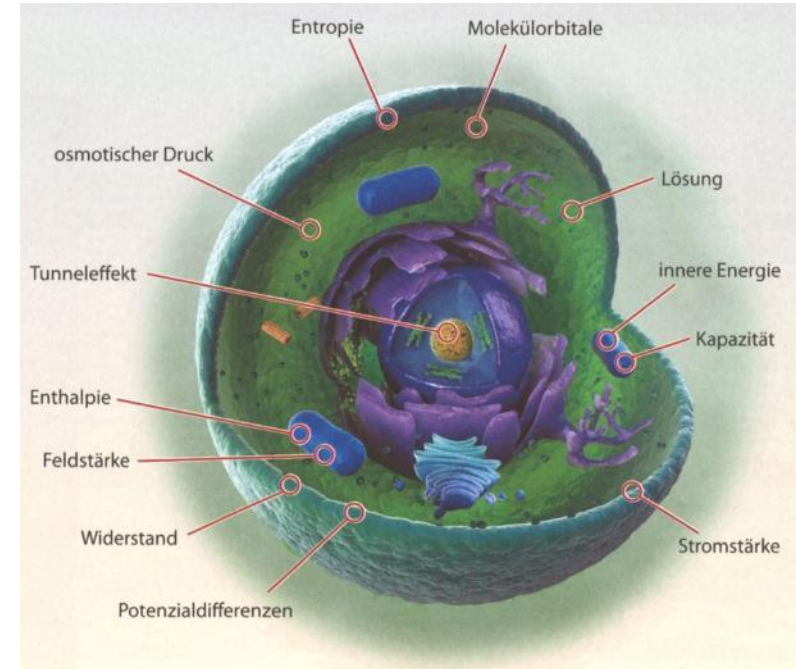
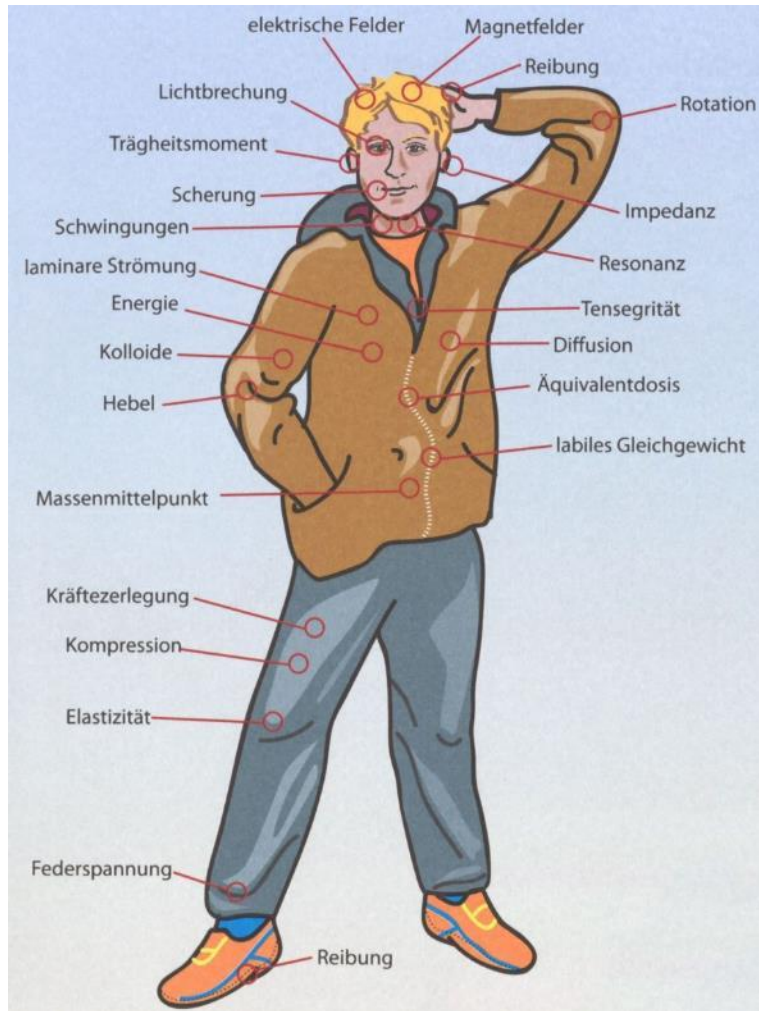


Bild aus: Olaf Fritsche,
Physik für Biologen und Mediziner,
Springer 2013, [Kap. 3](#).



Bilder aus: Olaf Fritsche,
*Physik für Biologen und
Mediziner*, Springer 2013.



Bilder aus: Olaf Fritsche, *Physik für Biologen und Mediziner*, Springer 2013.

Organisatorisches

- Sprechstunde
- Tutorium
- Prüfung
- Prüfungstermine

Christian Roos

ICT-Gebäude, 3. Stock



christian.roos@uibk.ac.at,

0512 507-4728

Organisatorisches

- Sprechstunde
- Tutorium
- Prüfung
- Prüfungstermine

Tutor

Johannes Franke

- Übungsaufgaben / Fragen
- Prüfungsvorbereitung
- Termin: **Wann?**

Organisatorisches

- Sprechstunde
- Tutorium
- Prüfung
- Prüfungstermine
- Schriftlich
- Multiple Choice über Prüfungsserver
 - Beispielklausuren siehe OLAT
- Erlaubte Hilfsmittel:
 - Formelsammlung (liegt bei, im Vorhinein bekannt)
 - Taschenrechner
 - Lineal
 - Schreibgeräte

Organisatorisches

- Sprechstunde
- Tutorium
- Prüfung
- Prüfungstermine

- 1. Termin – letzte Semesterwoche(?):
wird noch bekannt gegeben
- Danach
 - Anfang März
 - Ende Juni

Lernziele / -ergebnisse

Nach Absolvierung der Vorlesung ...

- verstehen Sie, dass die Physik die Grundlage aller Naturwissenschaften ist
- können Sie die wichtigsten physikalische Größen definieren und deren Einheiten angeben und umrechnen
- kennen Sie die wichtigsten physikalischen Gesetze (Gleichungen) und können diese nach einer gesuchten Größe auflösen
- können Sie die physikalischen Gesetze auf einfache physikalische Problemstellungen anwenden
- können Sie das Ergebnis einer Berechnung auf Plausibilität prüfen

Vorlesung

- **Literatur:**

Olaf Fritsche, *Physik für Biologen und Mediziner*, Springer 2013.

[E-Book zugänglich über ULB](#)

- VO-Unterlagen auf **OLAT**, meistens am Abend davor

- **Konzept:**

- Physik als Grundlage der Lebenswissenschaften
- Physik als mathematische Beschreibung der Natur
- Keine mathematischen Herleitungen
- Bezug zum Leben
- Angeleitete Aufgaben in der VO

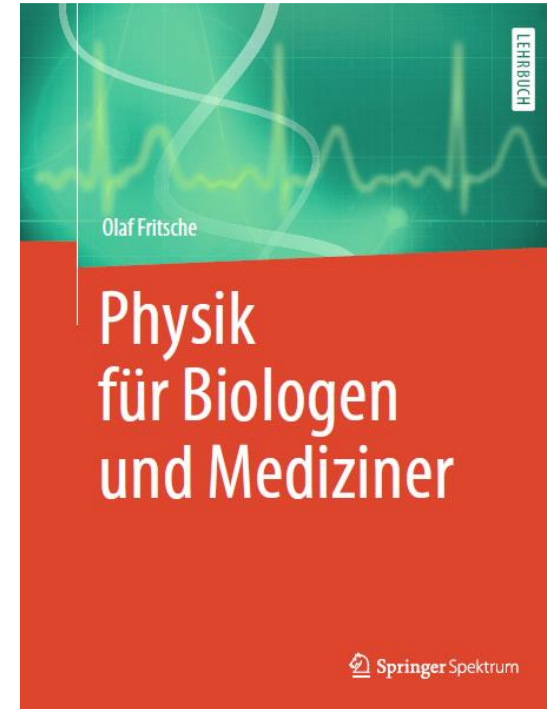


Bild aus: Olaf Fritsche, *Physik für Biologen und Mediziner*, Springer 2013.

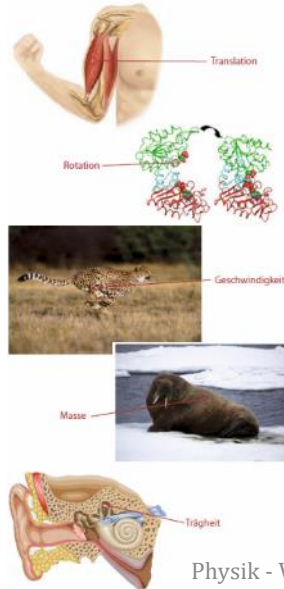
Vorlesung – Inhalt

1. Einführung

1. Physik des Lebens
2. Größen und Einheiten

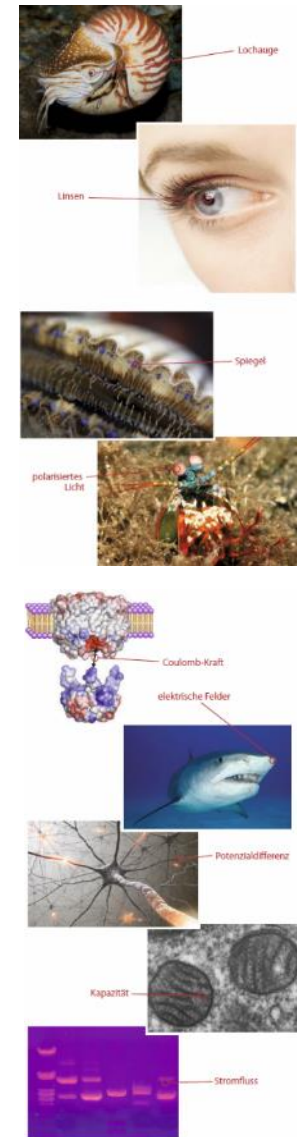
2. Physik der Fortbewegung

1. Bewegungen
2. Kräfte, Energie
3. Spezielle Bewegungen
4. Bewegung in Medien



3. Physik der Wahrnehmung

1. Schwingungen und Wellen
2. Optik



4. Elektrische Phänomene

3. Ladungen und Felder
4. Ströme

Größen und Einheiten

- Physikalische Größen

Größe = Zahl · Einheit

Größe = {Größe} · [Größe]

z. B. $l = 1 \text{ m} = 1 \cdot \text{m}$, $\{d\} = 1$, $[d] = \text{m}$

- Wichtig

- Mit Einheiten kann ganz normal gerechnet werden!
- Ohne Einheit ist die Zahl bedeutungslos!
- Ergebnis nicht genauer angeben als Angaben!



- Einheiten System **SI** (*Système International d'Unités*)

- Sieben Basiseinheiten
- Viele abgeleitete Einheiten
- SI-Präfixe, z. B. mikro-, milli-, Kilo-, Mega-, ...

SI Basiseinheiten

Größe	Symbol	Einheit	Einheiten- zeichen	Definition der Einheit
<u>Länge</u>	l	<u>Meter</u>	m	Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während der Dauer von 1 / 299 792 458 Sekunde zurücklegt.
<u>Masse</u>	m	<u>Kilogramm</u>	kg	Bis 2018: Das Kilogramm ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps. Seit 2019: über den Wert der Planck'schen Naturkonstante h
<u>Zeit</u>	t	<u>Sekunde</u>	s	Das 9 192 631 770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Cäsium-Isotops ^{133}Cs entsprechenden Strahlung.
<u>Stromstärke</u>	I	<u>Ampere</u>	A	Seit 2019 definiert über die Elementarladung e : 1 A entspricht einem Strom von $1/1.602176654 \cdot 10^{-19}$ Elementarladungen pro Sekunde.
<u>Thermo- dynamische Temperatur</u>	T	<u>Kelvin</u>	K	Bis 2018: 1/273,16 der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunkts von Wasser Seit 2019: über den Wert der Boltzmann'schen Naturkonstante k_B .
<u>Stoffmenge</u>	n	<u>Mol</u>	mol	Bis 2018: Die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso vielen Einzelteilchen besteht, wie Atome in 12 Gramm des Kohlenstoff-Isotops ^{12}C in ungebundenem Zustand enthalten sind. Seit 2019: Ein Mol eines Stoffes enthält genau $6,02215076 \cdot 10^{23}$ Teilchen.
<u>Lichtstärke</u>	I_v	<u>Candela</u>	cd	Die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung 1 / 683 Watt pro Steradian beträgt.

Internationaler Kilogrammprototyp



Abgeleitete Einheiten

- Größengleichungen können zu neuen Einheiten führen, z. B.
das Volumen eines Quaders: $V = l \cdot b \cdot h$
definiert den Liter: $1 \text{ l} = 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} \cdot 1 \text{ dm} = 1 \text{ dm}^3$
- Viele solche Einheiten werden auch vom SI definiert, z. B.
Pascal, Newton, Joule, Watt, ...
- In gedruckten Dokumenten müssen *Größen* immer *kursiv*, Einheiten aber immer *aufrecht* geschrieben werden damit man die beiden nicht verwechselt

$$l \cdot b \cdot h = 1 \text{ l}$$

Größenordnungen

Faktor	SI-Präfix	Symbol	Beispiel
10^{12}	Tera-	T	(Tbyte)
10^9	Giga-	G	GW
10^6	Mega-	M	MJ
10^3	kilo-	k	km
10^2	hekto-	h	hl
10^1	deka-	da	dag

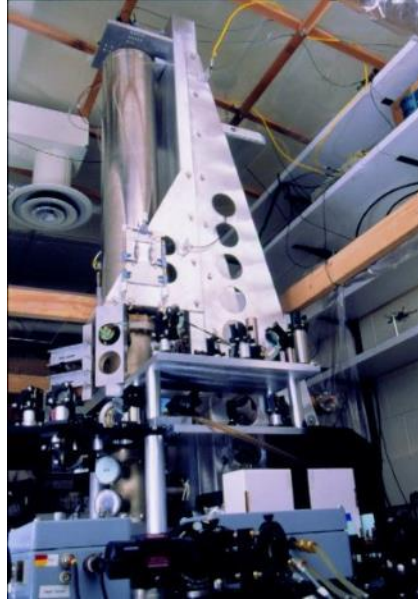
Faktor	SI-Präfix	Symbol	Beispiel
10^{-1}	dezi-	d	dm
10^{-2}	centi-	c	cl
10^{-3}	milli-	m	ms
10^{-6}	mikro-	μ	μg
10^{-9}	nano-	n	nm
10^{-12}	pico-	p	pl

Einheiten



Neudefinition des Kilogramm über perfekte Silizium Kugel

Bild von: http://www.nist.gov/pml/si-redef/kg_new_silicon.cfm



Primäre Cäsium-Atomuhr der USA

Bild von: <http://tf.nist.gov/general/museum/nist-f1.jpg>



Laser-Entfernungsmessung

Bild von: <http://en-us.fluke.com/products/laser-distance-meters/fluke-419d-laser-distance-meter.html>

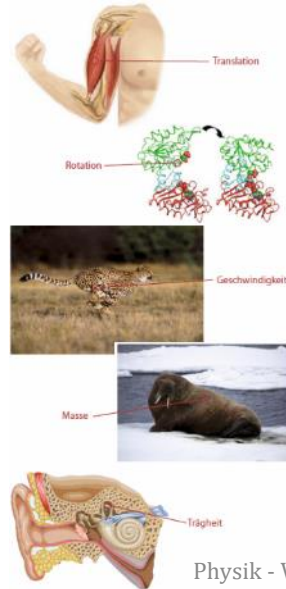
Vorlesung – Inhalt

1. Einführung

1. Physik des Lebens
2. Größen und Einheiten

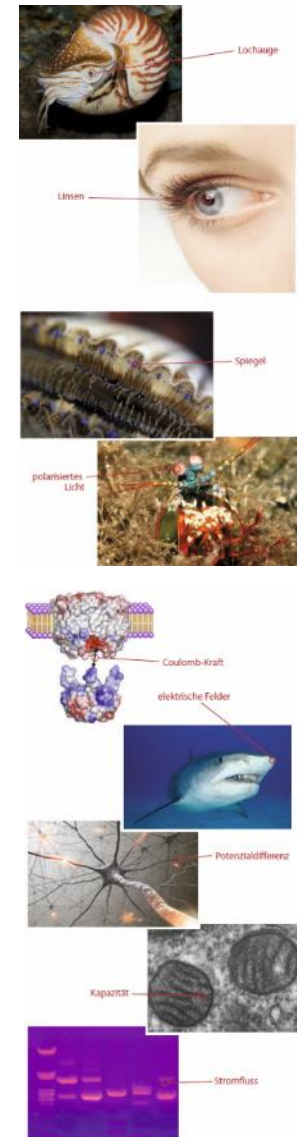
2. Physik der Fortbewegung

1. Bewegungen
2. Kräfte, Energie
3. Spezielle Bewegungen
4. Bewegung in Medien



3. Physik der Wahrnehmung

1. Schwingungen und Wellen
2. Optik



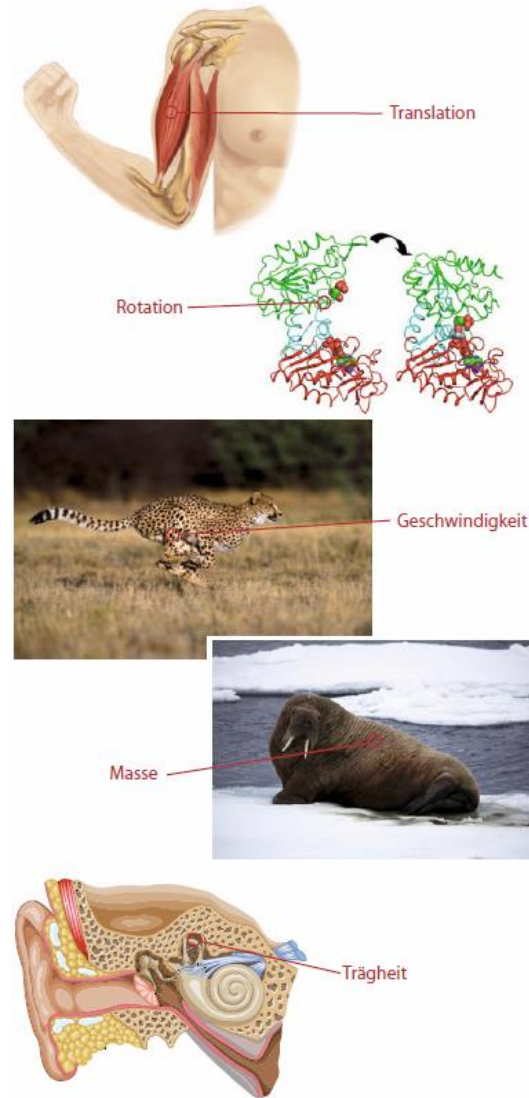
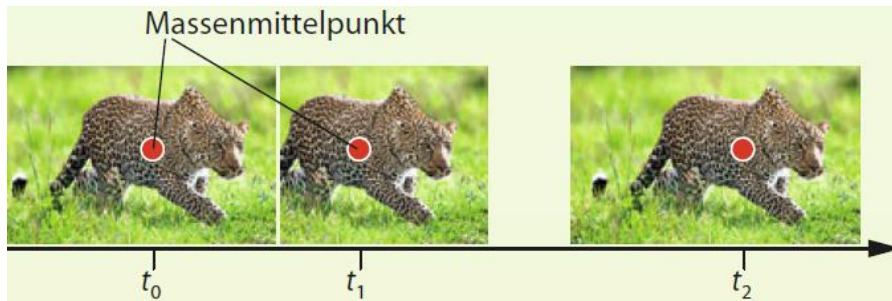
4. Elektrische Phänomene

3. Ladungen und Felder
4. Ströme

Leben bewegt sich

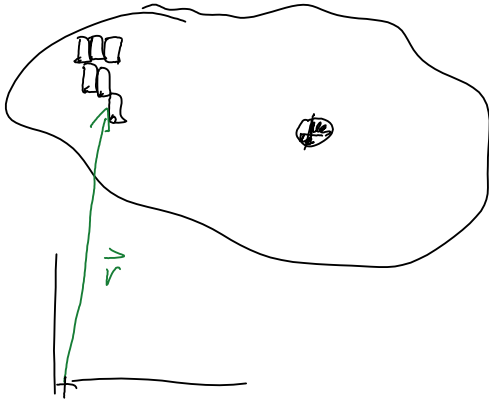
Bewegung = Veränderung des Ortes in der Zeit

- Bezugssystem
- Typen
 - Translation
 - Rotation
- Abstraktion: Massenmittelpunkt

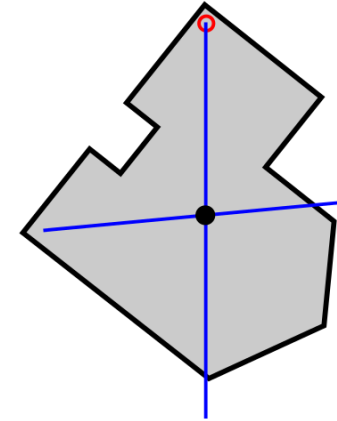


Massenmittelpunkt

- Aufsummieren der Positionen aller kleinen Massenelemente



- Gegenstand an Randpunkten aufhängen



- Mittelwert ergibt Position des Massenmittelpunkts

- Schnittpunkt der Schwerelinien/-ebenen ergibt Massenmittelpunkt

Experiment

Translationen

- **Weg-Zeit Diagramme** charakterisieren eindimensionale Bewegungen

- Applet:

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/moving-man>

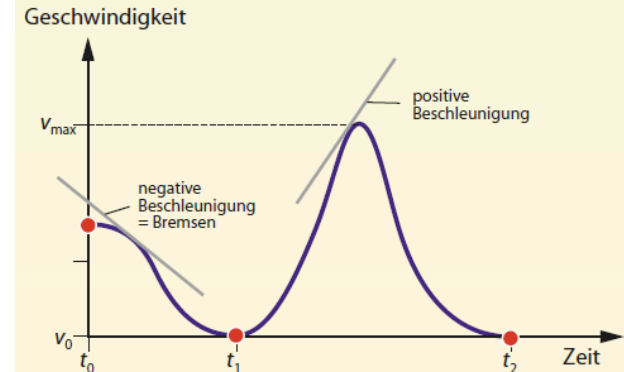
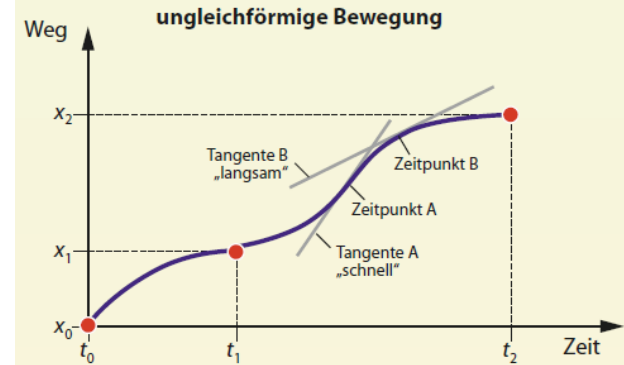
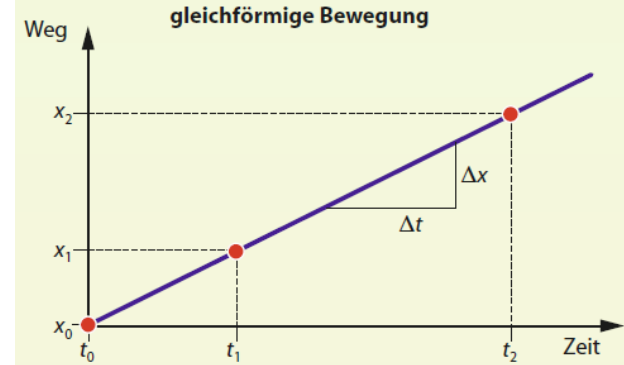
- **Verschiebung:** $\Delta x = x_{\text{Ende}} - x_{\text{Anfang}}$

- **Geschwindigkeit:** $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

- Mittlere Geschwindigkeit = ges. Weg / ges. Zeit

- Momentangeschwindigkeit $v(t) = \frac{dx}{dt} = x'(t)$

- **Beschleunigung:** $a = \frac{dv}{dt} = v'(t) = x''(t)$



Frage: Mittlere Geschwindigkeit

Sie wollen mit dem Auto eine Strecke von 100 km fahren und beginnen zuerst gemächlich mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h. Nach 50 km haben Sie es plötzlich eilig und möchten so schnell fahren, dass Sie die gesamte 100 km Strecke mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 100 km/h bewältigen. Wie schnell müssen Sie also den Rest der Strecke fahren?

?

50 km/h

100 km/h

150 km/h

200 km/h

unendlich
schnell

Aufgabe Mittlere Geschwindigkeit

Erythrocyten haben eine durchschnittliche Lebensdauer von 120 Tagen und bewegen sich bei jungen Menschen mit Momentangeschwindigkeiten von 0,3 mm/s in den Kapillaren und 50 cm/s in der Aorta. Ca. 90% der Zeit verbringen sie dabei im Kapillarsystem.

- a) Welche Strecke legen sie also in den Kapillaren insgesamt zurück?
- b) Welche Strecke legt ein rotes Blutkörperchen damit im Laufe seines Lebens zurück?
- c) Wie groß ist seine mittlere Geschwindigkeit?

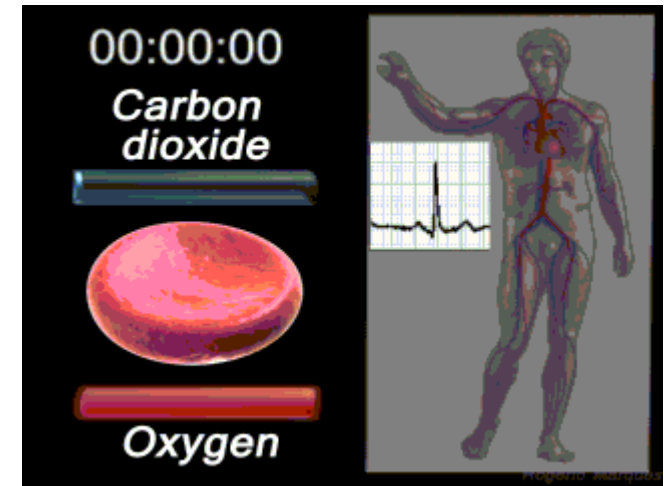


Bild von Rogeriopfm - Own work, partly based on blutkreislauf.jpg by Sansculotte, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8626685>

Vorlesung – Inhalt

1. Einführung

1. Physik des Lebens
2. Größen und Einheiten

2. Physik der Fortbewegung

1. Bewegungen

1. Translationen
2. Rotation
3. Beschleunigte Bewegungen
4. Freier Fall



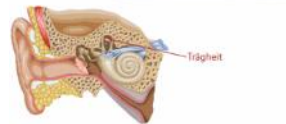
2. Kräfte

1. Newtonsche Axiome
2. Masse und Trägheit



3. Energie

4. Spezielle Bewegungen
5. Bewegung in Medien



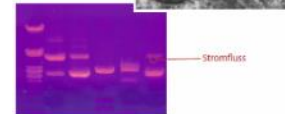
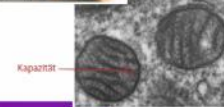
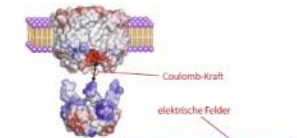
3. Physik der Wahrnehmung

1. Schwingungen und Wellen
2. Optik



4. Elektrische Phänomene

3. Ladungen und Felder
4. Ströme



Kräftefreie Bewegungsformen

- **Translationen:** Verschiebungen entlang einer Geraden

Wenn keine Kräfte wirken: gleichförmige Bewegung entlang einer Geraden


- **Rotationen:** Drehung eines Körpers um seinen Schwerpunkt

- Allgemeinste Bewegungsform eines starren Körpers: Translation + Rotation



Auf der Erde sind kräftefreie Bewegungen kaum zu realisieren aufgrund der Schwerkraft und Reibungskräften.

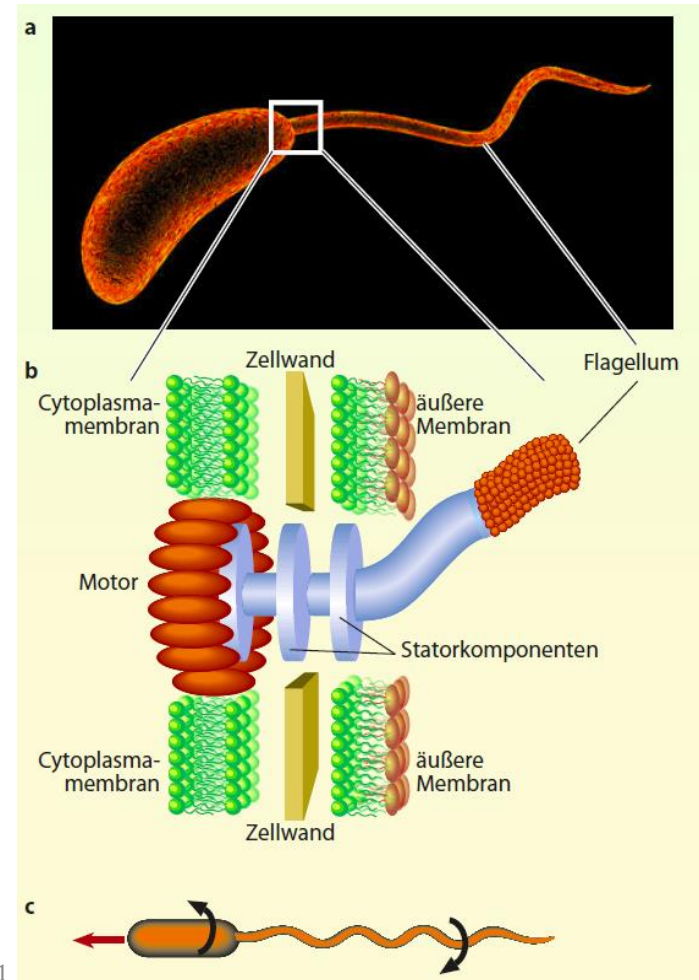
Rotationsbewegungen in der Biologie

- Zentrifugen zur Trennung von Stoffen
- Rollen als Fortbewegung 
- Flagellen zur Fortbewegung



8.10.2020

Physik - Vorlesung 01

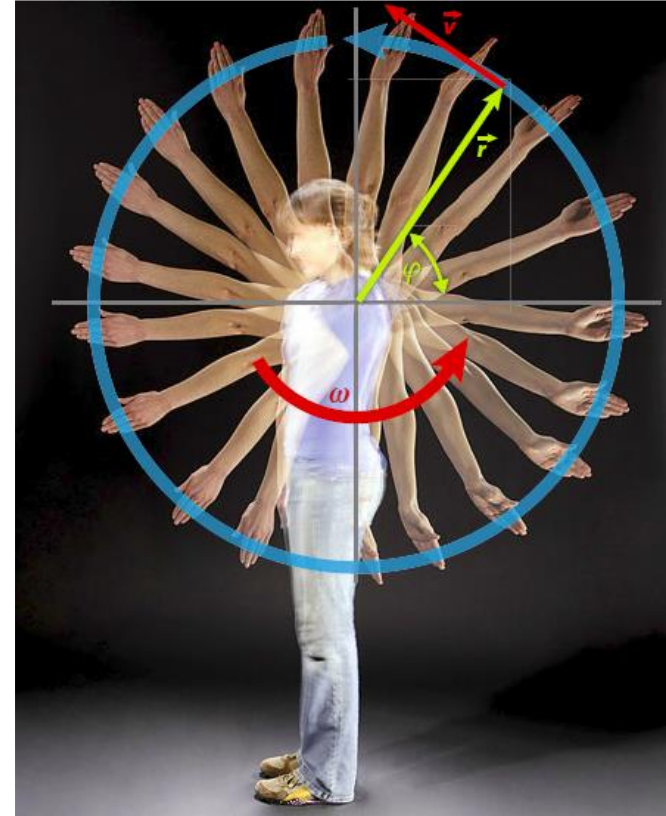


Rotationen

- Bewegung im Drehwinkel φ
- Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \varphi'(t)$$

- Bahngeschwindigkeit
 $v = \omega \cdot r$ bzw. $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$
- Bahngeschwindigkeit ist immer tangential, ändert daher ständig die Richtung!



Rotationsgrößen

- Drehwinkel φ
- Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$
- Umlaufzeit / Periode T
- Frequenz / Drehzahl $f = \frac{1}{T}$
- Voller Kreis: $\Delta\varphi = 2\pi, \Delta t = T \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$
- Bahngeschwindigkeit $v = \omega \cdot r = \frac{2\pi r}{T}$ (= Umfang/Periode)



Bild von TEy~commonswiki, CC BY-SA 3.0,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Drehzahlmesser#/media/File:Revcounter.jpg>

Aufgabe Zentrifuge

Eine Ultrazentrifuge dreht sich mit 100000 Umdrehungen/min.
Ihr Rotor hat einen Durchmesser von 10 cm.

- a) Wie groß ist die Winkelgeschwindigkeit ω ,
- b) wie groß die Bahngeschwindigkeit v außen am Rotor?

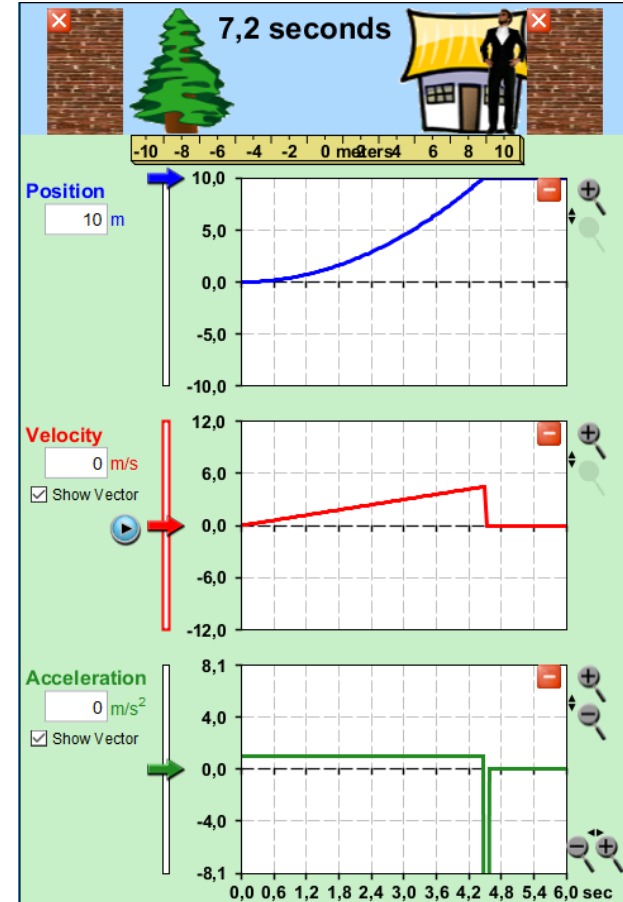


Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

- Beschleunigung $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{konst.}$
- Zur Zeit $t = 0$: $x(0) = 0, v(0) = 0$
- Geschwindigkeit wächst linear:
$$v(t) = a \cdot t$$
- Der Weg wächst quadratisch:

$$x(t) = \int v(t) dt = \frac{1}{2} a t^2$$

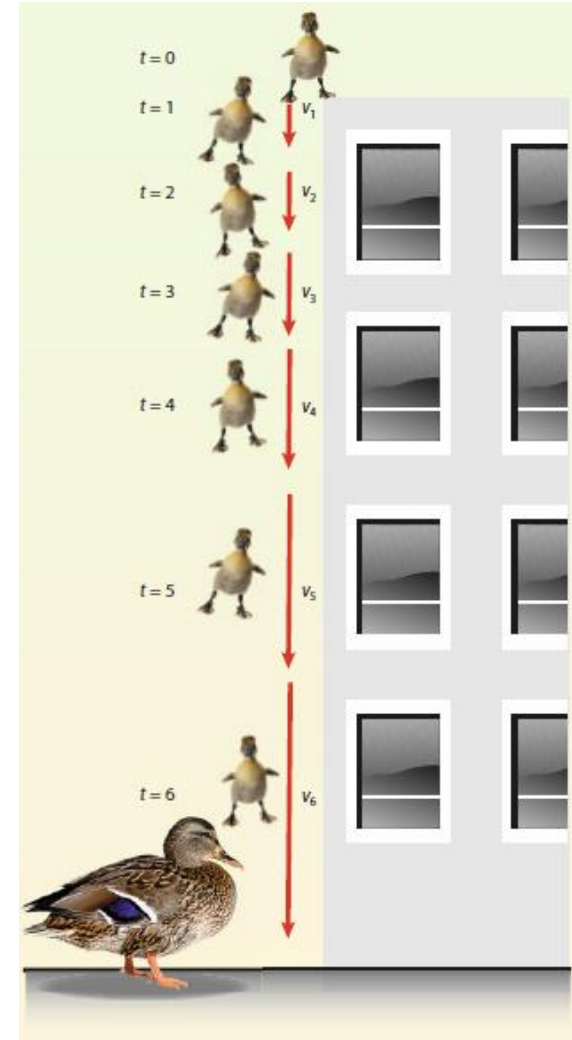
<https://phet.colorado.edu/en/simulation/moving-man>



Freier Fall

- Erdbeschleunigung $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- Gefallene Strecke $\Delta x = \frac{1}{2} g t^2$
- Geschwindigkeit $v = g t = \sqrt{2 g \Delta x}$
- In Atmosphäre:
Luftwiderstand → konstante Geschwindigkeit
(z.B. Entenküken, Fallschirmspringer, ...)
- Im Vakuum

<https://www.youtube.com/watch?v=KDp1tiUsZw8>



Aufgabe freier Fall

Nach welcher Zeit erreicht ein Entenküken den Boden,
wenn es aus 15 m Höhe von einem Baum springt?

a) Welche **Geschwindigkeit hat es dann erreicht?**
(Den Luftwiderstand vernachlässigen wir in dieser Aufgabe.)

b) **Welche Beschleunigung muss es aushalten**, wenn es am
Boden innerhalb von 5 cm vollständig abgebremst wird?

<https://www.youtube.com/watch?v=VK0NsIrWI5Q>

