



# **Fragestudien zur Klausurvorbereitung**

## Physik 1 für Chemiker und Biologen

04.03.2021

Prof. Dr. Ralf Jungmann  
[Jungmann@physik.lmu.de](mailto:Jungmann@physik.lmu.de)  
Prof. Dr. Jan Lipfert  
[Jan.Lipfert@lmu.de](mailto:Jan.Lipfert@lmu.de)

# Materialien zur Veranstaltung

## Webseite der Vorlesung:

[https://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/wise\\_20\\_21/pn1/index.html](https://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/wise_20_21/pn1/index.html)

## Moodle-Seite zur Vorlesung: (Password: pn1ws2021)

<https://moodle.lmu.de/course/view.php?id=12657>

## Folien zur Vorlesung

Es gibt immer eine „vorher“ Version (zum Ausdrucken und selber ausfüllen) und eine „komplette“ Version (mit meinen handschriftlichen Notizen)

## Aufzeichnung der Vorlesung

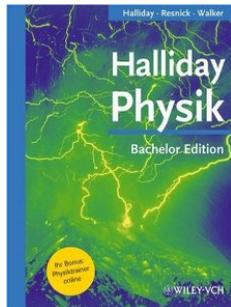
- Wir werden jede Woche eine Vorlesung online stellen
- Die Zoom Besprechungen zeichnen wir ebenfalls auf und stellen sie im Anschluss in den LMU cast



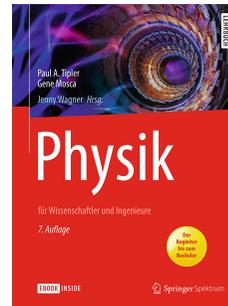
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:SennMicrophone.jpg>

# Literatur

- **Online Vorlesungen**
- **Vorlesungsfolien & ergänzendes Vorlesungsmaterial**
- **Bücher:**

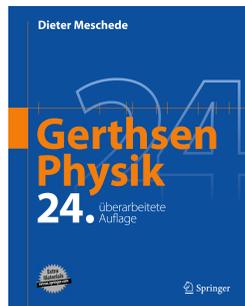


**Halliday: Physik**  
(Bachelor Edition)  
D. Halliday, R. Resnick,  
J. Walker  
Wiley-VCH, Berlin  
ISBN: 9783527407460



**Physik**  
Paul A. Tipler  
Spektrum Akademischer Verlag  
ISBN: 978-3-642-54165-0

- **Weiterführende / ergänzende Literatur:**



**Gerthsen Physik**  
D. Meschede  
Springer  
ISBN: 3642128939

# Vorsätze für Maßeinheiten

Symbol	Name	Ursprung	Wert		
<b>Y</b>	Yotta	ital. <i>otto</i> = acht	$10^{24}$	1.000.000.000.000.000.000.000.000	Quadrillion
<b>Z</b>	Zetta	ital. <i>sette</i> = sieben	$10^{21}$	1.000.000.000.000.000.000.000	Trilliarde
<b>E</b>	Exa	gr. ἑξάκις <i>hexákis</i> = sechsmal <sup>[3]</sup>	$10^{18}$	1.000.000.000.000.000.000	Trillion
<b>P</b>	Peta	gr. <i>petanynnein</i> = alles umfassen / gr. πεντάκις <i>pentákis</i> = fünfmal	$10^{15}$	1.000.000.000.000.000	Billiarde
<b>T</b>	Tera	gr. τέρας <i>téras</i> = Ungeheuer / gr. τετράκις <i>tetrákis</i> = viermal	$10^{12}$	1.000.000.000.000	Billion
<b>G</b>	Giga	gr. γίγας <i>gígas</i> = Riese	$10^9$	1.000.000.000	Milliarde
<b>M</b>	Mega	gr. μέγα <i>méga</i> = groß	$10^6$	1.000.000	Million
<b>k</b>	Kilo	gr. χίλιοι <i>chílioi</i> = tausend	$10^3$	1.000	Tausend
<b>h</b>	Hekto	gr. ἑκατόν <i>hekatón</i> = hundert	$10^2$	100	Hundert
<b>da</b>	Deka	gr. δέκα <i>déka</i> = zehn	$10^1$	10	Zehn
—	—	—	$10^0$	1	Eins
<b>d</b>	Dezi	lat. <i>decimus</i> = zehnter	$10^{-1}$	0,1	Zehntel
<b>c</b>	Zenti	lat. <i>centesimus</i> = hundertster	$10^{-2}$	0,01	Hundertstel
<b>m</b>	Milli	lat. <i>millesimus</i> = tausendster	$10^{-3}$	0,001	Tausendstel
<b>μ</b>	Mikro	gr. μικρός <i>mikrós</i> = klein	$10^{-6}$	0,000.001	Millionstel
<b>n</b>	Nano	gr. νάνος <i>nános</i> und ital. <i>nano</i> = Zwerg	$10^{-9}$	0,000.000.001	Milliardstel
<b>p</b>	Piko	ital. <i>piccolo</i> = klein	$10^{-12}$	0,000.000.000.001	Billionstel
<b>f</b>	Femto	skand. <i>femton/femten</i> = fünfzehn	$10^{-15}$	0,000.000.000.000.001	Billiardstel
<b>a</b>	Atto	skand. <i>arton/atten</i> = achtzehn	$10^{-18}$	0,000.000.000.000.000.001	Trillionstel
<b>z</b>	Zepto	lat. <i>septem</i> = sieben	$10^{-21}$	0,000.000.000.000.000.000.001	Trilliardstel
<b>y</b>	Yokto	lat. <i>octo</i> = acht	$10^{-24}$	0,000.000.000.000.000.000.000.001	Quadrillionstel

# Wer misst misst Mist!

## Physik 1 für Chemiker und Biologen 2. Vorlesung

WHAT THE NUMBER OF DIGITS IN YOUR COORDINATES MEANS

LAT/LON PRECISION	MEANING
28°N, 80°W	YOU'RE PROBABLY DOING SOMETHING SPACE-RELATED
28.5°N, 80.6°W	YOU'RE POINTING OUT A SPECIFIC CITY
28.52°N, 80.68°W	YOU'RE POINTING OUT A NEIGHBORHOOD
28.523°N, 80.683°W	YOU'RE POINTING OUT A SPECIFIC SUBURBAN CUL-DE-SAC
28.5234°N, 80.6830°W	YOU'RE POINTING TO A PARTICULAR CORNER OF A HOUSE
28.52345°N, 80.68309°W	YOU'RE POINTING TO A SPECIFIC PERSON IN A ROOM, BUT SINCE YOU DIDN'T INCLUDE DATUM INFORMATION, WE CAN'T TELL WHO
28.5234571°N, 80.6830941°W	YOU'RE POINTING TO WALDO ON A PAGE
28.523457182°N, 80.683094159°W	"HEY, CHECK OUT THIS SPECIFIC SAND GRAIN!"
28.523457182818284°N, 80.683094159265358°W	EITHER YOU'RE HANDING OUT RAW FLOATING POINT VARIABLES, OR YOU'VE BUILT A DATABASE TO TRACK INDIVIDUAL ATOMS. IN EITHER CASE, PLEASE STOP.

<https://xkcd.com/2170/>

Heute:

- Messen und Messfehler
- Fehlerfortpflanzung
- Einheiten: Zeit, Länge, Masse
- Umrechnung von Einheiten

# Zusammenfassung: Einheiten und Messfehler

- Das International Einheitensystem (SI) kennt sieben Grundgrößen: **Meter, Kilogramm, Sekunde**, Ampere, Kelvin, Mol, Candela

Kontrolle der Einheiten ist eine sehr nützliche Strategie zur Überprüfung von Ergebnissen und Lösungswegen!



[https://en.wikipedia.org/wiki/File:US\\_National\\_Length\\_Meter.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/File:US_National_Length_Meter.JPG)

Kopie des Urmeters  
(Platin-Iridium Legierung)

- Messungen haben immer einen **Messfehler**.
- **Mittelwert**: beste Schätzung des „wahren“ Wertes

$$\langle x \rangle = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

- **Standardabweichung**: Fehler der Einzelmessung

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

- **Stichprobenfehler**: Wie genau ist „wahrer“ Mittelwert nach  $N$  Messungen bestimmt?

$$\sigma_{SEM} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

# Zusammenfassung: Fehlerfortpflanzung

- **Gaußsche Fehlerfortpflanzung:** Für den Fall, dass eine Größe  $y$  von den Messgrößen  $x_j$  abhängt und die Größen  $x_j$  unkorreliert sind

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \sigma_{x_j} \right)^2}$$

- **Fehlerfortpflanzung für Addition und Subtraktion:**  
(Absolute) Fehler addieren sich quadratisch

$$\sigma_{Ges} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \sigma_{x_j}^2}$$

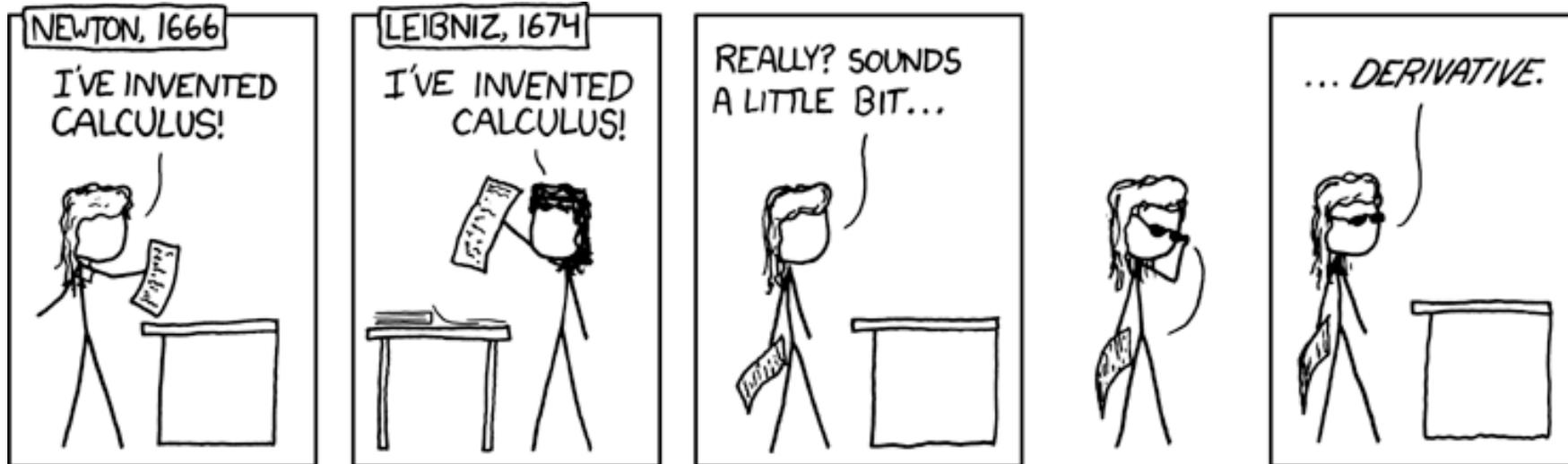
- **Fehlerfortpflanzung für Multiplikation und Division:**  
Relative Fehler addieren sich quadratisch

$$\frac{\sigma_{Ges}}{y} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left( \frac{\sigma_{x_j}}{x_j} \right)^2}$$

# Citius, altius, fortius

Physik 1 für Chemiker und Biologen

3. Vorlesung



<https://xkcd.com/626/>

Heute:

- Bewegungen in 1, 2 und 3 D
- Freier Fall und Flugbahnen
- Kräfte und Bewegung
- Newtonschen Axiome

# Sonderfall: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

$$a = \text{const.}$$

$$v = \int_0^t a \, dt' = at + v_0$$

$$x = \int_0^t v(t') \, dt' = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$$v_0 \hat{=} v \text{ zur Zeit } t=0$$

$$x_0 \hat{=} x \text{ zur Zeit } t=0$$

# Zusammenfassung: Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung

Ort:  $x(t)$   $\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$

Mittlere Geschwindigkeit:  $\bar{v} = \langle v \rangle = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

(Momentan-)

Geschwindigkeit:

(Latein: „**velocitas**“

Englisch: „**velocity**“ )

$$v(t) = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

Mittlere Beschleunigung:

$$\bar{a} = \langle a \rangle = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

(Momentan-)

Beschleunigung:

(Latein: „**acceleratio**“

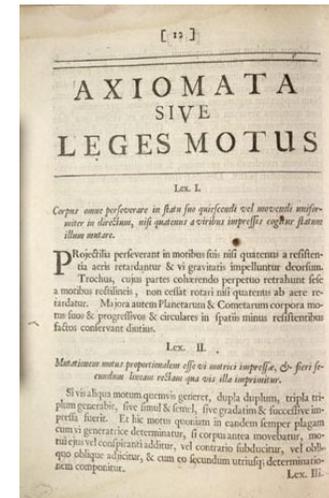
Englisch: „**acceleration**“)

$$a(t) = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{d^2 x}{dt^2} = \dot{v} = \ddot{x}$$

# Zusammenfassung: Newtons Axiome

<p>1. Axiom Trägheitsprinzip</p>	<p>Ein Körper ändert ohne effektive Kraft seine Geschwindigkeit nicht.</p>
<p>2. Axiom Aktionsprinzip</p>	<p>Beschleunigung ist proportional zur Kraft und umgekehrt proportional zur Masse.</p> $\vec{F} = m\vec{a}$
<p>3. Axiom Reaktionsprinzip</p>	<p>Kräfte treten immer paarweise auf. Actio = Reactio.</p>

Newton's Axiome sind ein Spezialfall/Grenzfall der Quantenmechanik (sehr kleine Objekte verhalten sich anders) und der speziellen Relativitätstheorie (sehr schnelle Objekte verhalten sich anders).

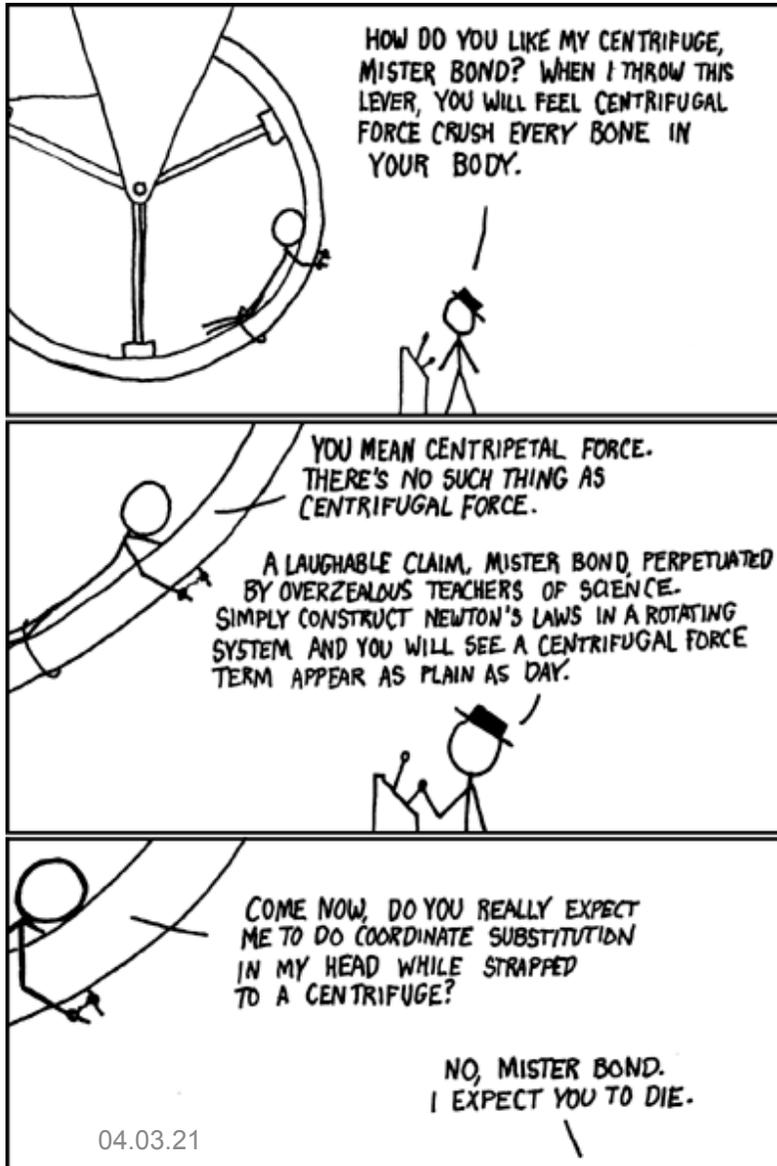


[https://de.wikipedia.org/wiki/Newton'sche\\_Gesetze](https://de.wikipedia.org/wiki/Newton'sche_Gesetze)  
Principia Mathematica (1687)

# „May the force be with you!“

## Physik 1 für Chemiker und Biologen

### 4. Vorlesung

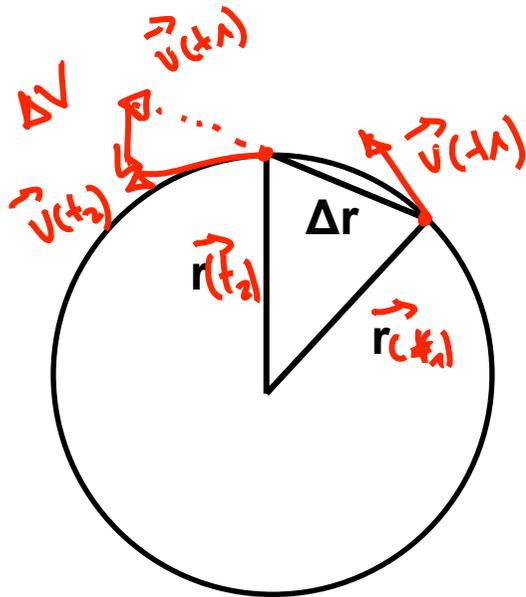


<https://xkcd.com/123/>

Heute:

- Allgemeines zu Kräften
- Kreisbewegungen & Zentrifugalkraft
- Reibungskräfte: Festkörper & Fluide

# Die Zentripetalkraft



$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{|\Delta \vec{v}|}{|\vec{v}|} = \frac{\Delta v}{v}$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{\Delta r}{\Delta t}}{r} = \frac{\frac{\Delta v}{\Delta t}}{v}$$

$$\Rightarrow \frac{v}{r} = \frac{\frac{\Delta v}{\Delta t}}{\frac{\Delta r}{\Delta t}} = \frac{a}{v}$$



<http://de.wulffplag.wikia.com/wiki/Datei:Kettenkarussell.jpg>

$$\Rightarrow a_{\text{Zentripetal}} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

$$|F_{\text{Zentripetalkraft}}| = m \cdot a_{\text{Zentr.}} = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Experiment: Schleifscheibe und Funkenflug

# Zusammenfassung: Festkörperreibung

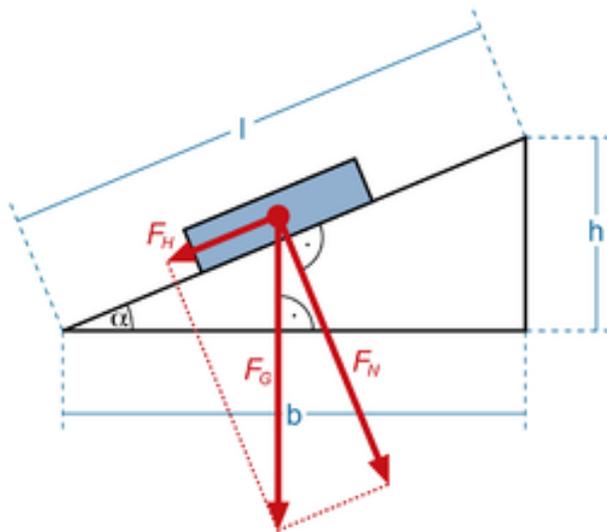
## Schiefe Ebene:

- Hangabtriebskraft

$$F_H = mg \sin \alpha$$

- Normalkraft

$$F_N = mg \cos \alpha$$



<https://de.wikipedia.org/wiki/Hangabtriebskraft>

## Festkörperreibung:

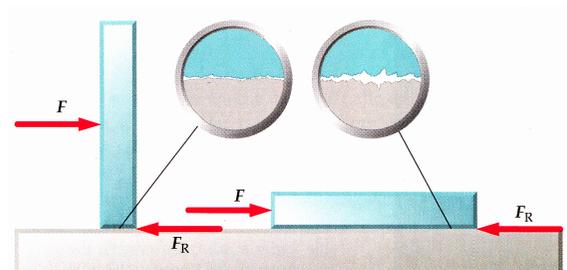
- Haftreibung

$$|F_{R,Haft}| = \mu_{R,Haft} |F_N|$$

- Gleitreibung

$$|F_{R,Gleit}| = \mu_{R,Gleit} |F_N|$$

**Die Festkörperreibung ist unabhängig von  $v$  und  $A$ !**



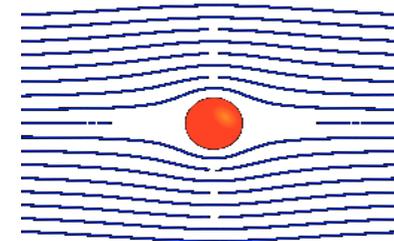
# Zusammenfassung: Fluidreibung

## Stokes-Reibung („Flüssigkeitsreibung“)

Gilt für:

- Kleine Körper
- Kleine Geschwindigkeiten
- Viskoses Fluid

$$\vec{F}_R = -6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot \vec{v}$$



[http://www.thefullwiki.org/Sediment\\_transport](http://www.thefullwiki.org/Sediment_transport)

- $\eta$  dynamische Viskosität
- $R$  Kugelradius bzw. effektiver Radius
- $v$  Geschwindigkeit

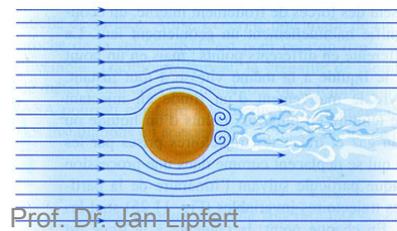
## Newton-Reibung („Gasreibung“)

Gilt für:

- Große Körper
- Große Geschwindigkeiten
- Fluid/Gas mit geringer Dichte

$$|\vec{F}_R| = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_W \cdot v^2$$

- $\rho$  Dichte des Fluids
- $A$  Referenzfläche
- $C_W$  Strömungswiderstandskoeffizient
- $v$  Geschwindigkeit



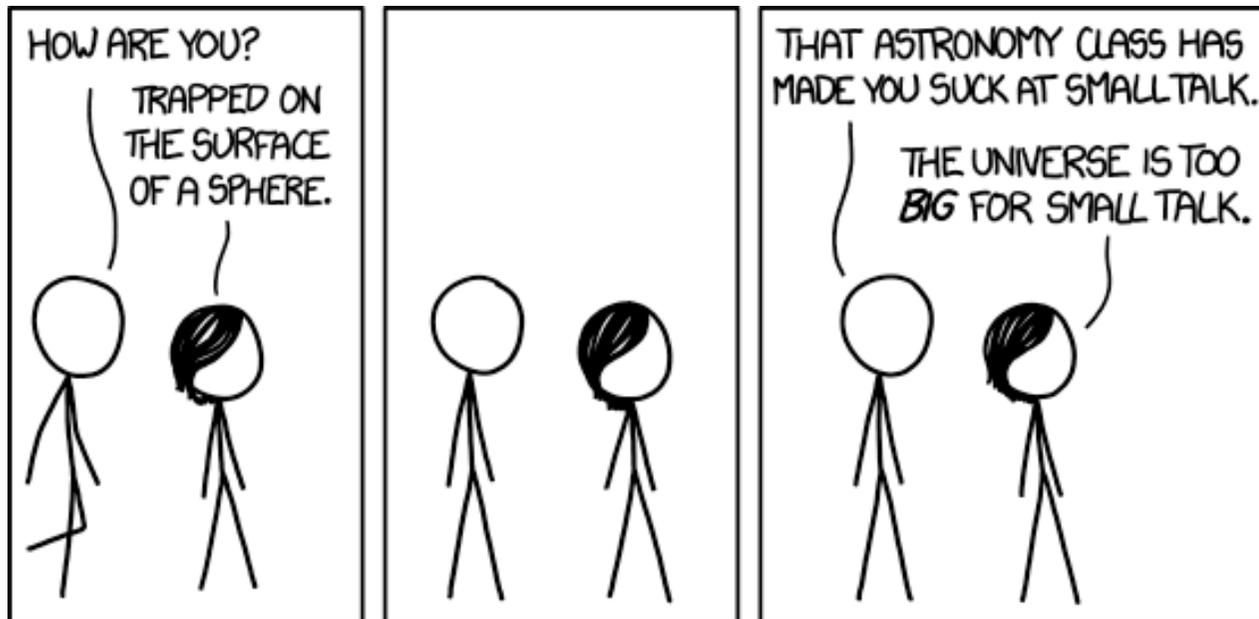
Prof. Dr. Jan Lipfert

<http://physique.vije.net/BTS/index.php?page=fluides4>

04.03.21

# Energie

## Physik 1 für Chemiker und Biologen 5. Vorlesung

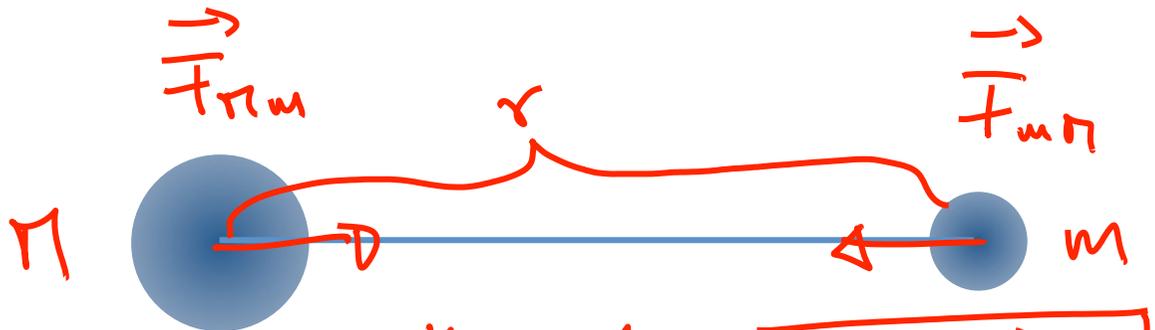
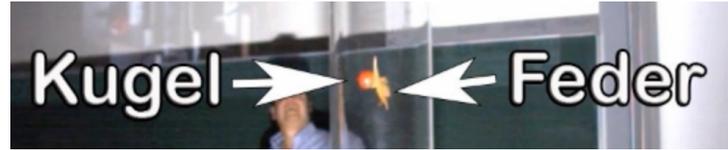


<http://xkcd.com/1248/>

Heute:

- Gravitation
- Arbeit, Energie, Leistung

# Gravitationsgesetz



$$\vec{F}_G = -G \frac{M \cdot m}{r^2} \hat{r}$$

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

$$|F_{Kugel}| = m_K \cdot |a_K| = G \frac{M m_K}{r^2}$$

$$|F_{Feder}| = m_F \cdot |a_F| = G \frac{M m_F}{r^2}$$

$$\Rightarrow |a_F| = |a_K|$$



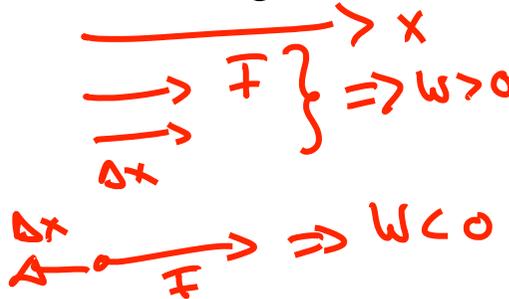
<https://de.wikipedia.org/wiki/Erde>

Gravitationskonstante  $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{s}^2 \cdot \text{kg})$

# Zusammenfassung: Arbeit (= „Kraft mal Weg“)

- 1D, konstante Kraft, gerader Weg

$$W = F \Delta x$$



- 1D, allgemein

$$W = \int_{x_A}^{x_B} F(x) dx$$

- 3D, konstante Kraft, gerader Weg

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$$

- 3D, allgemein

$$W = \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$

Einheit: „Joule“

$$[W] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$$

**Alternative Einheiten:**

**Kalorie: 1 cal  $\approx$  4,18 J**

Die Energie, die nötig ist um ein Gramm Wasser um ein Grad Kelvin zu erwärmen.

In der (Bio)chemie häufig:

$$\text{kcal/mol} = 4,18 \text{ kJ/mol} = 6.95 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

# Zusammenfassung: Konservative Kräfte & potentielle Energie

- Für konservative Kräfte gilt: **Die Gesamtarbeit, die die Kraft verrichtet, ist unabhängig vom Weg**

$$W = \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = \oint \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r} = 0$$

*Entlang eines geschlossenen Weges ist die verrichtete Arbeit Null!*

- Potentielle Energie und Kraft:

$$\Delta E_{pot} = -W = - \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$

$$F = - \frac{dE_{pot}}{dx}$$

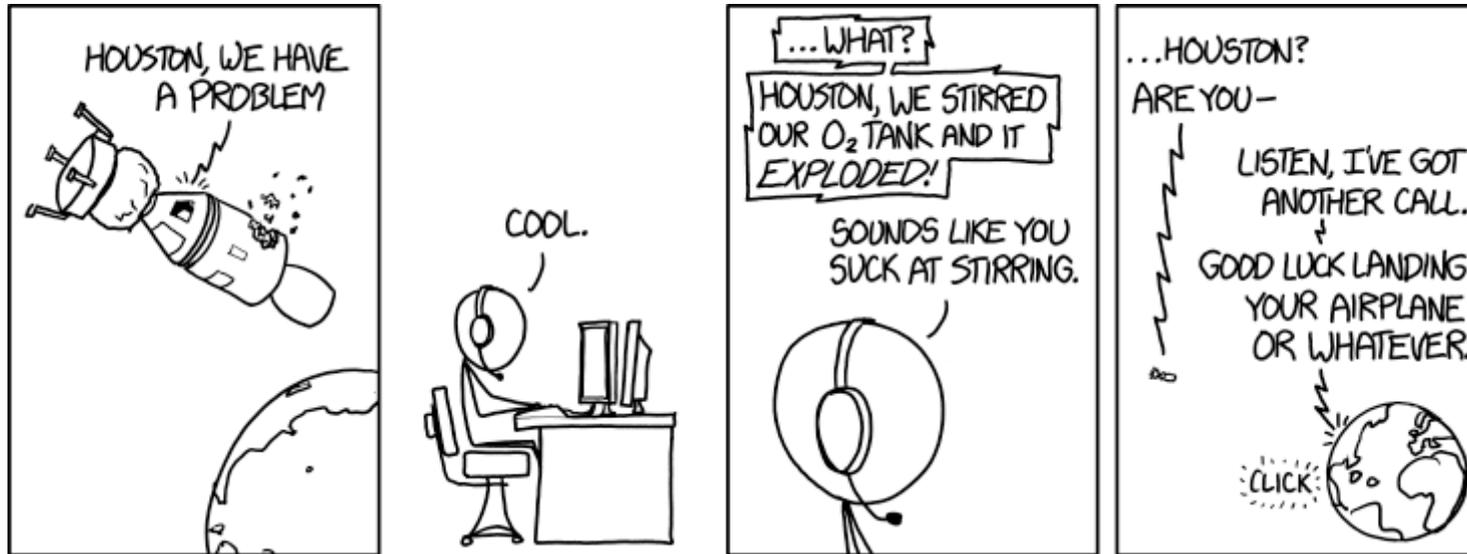
$$\vec{F} = - \vec{\nabla} E_{pot} = - \begin{pmatrix} \frac{dE_{pot}}{dx} \\ \frac{dE_{pot}}{dy} \\ \frac{dE_{pot}}{dz} \end{pmatrix}$$

- Energieerhaltungssatz der Mechanik (wenn nur konservative Kräfte wirken):

$$\Delta E_{mech} = \Delta E_{kin} + \Delta E_{pot} = 0$$

# Impuls

## Physik 1 für Chemiker und Biologen 6. Vorlesung



<https://xkcd.com/1438/>

Heute:

- Impuls und Impulserhaltung
- Stöße: elastisch und inelastisch

Prof. Dr. Ralf Jungmann

[Jungmann@physik.lmu.de](mailto:Jungmann@physik.lmu.de)

Prof. Dr. Jan Lipfert

[Jan.Lipfert@lmu.de](mailto:Jan.Lipfert@lmu.de)

# Zusammenfassung: Impuls

- Definition des Impuls  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
- 2. Newtonsches Axiom in Impulsform:  $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \dot{\vec{p}}$
- Impulserhaltung:

Der Gesamtimpuls  $\vec{p} = \sum_i m_i \dot{\vec{r}}_i = \sum_i \vec{p}_i$

eines abgeschlossenen Systems aus Massepunkten  $m_1, m_2, \dots$  ist zeitlich **konstant**.

$$\sum F_{\text{extern}} = 0$$

# Zusammenfassung: Stöße



## Inelastischer Stoß

$$u = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

## Elastischer Stoß

$$u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1$$

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

# Zusammenfassung: Raketenphysik

„Proton“ Rakete

## Impulserhaltung für nicht konstante Masse

- Effektive Ausströmgeschwindigkeit:  $w$
- Schub („Antriebskraft“ der Rakete):  $-w \frac{dm}{dt}$  ( $= m \frac{dv}{dt}$ )
- Geschwindigkeit nach Zeit  $t$ :  $v(t) = -w \ln \left( \frac{m(t)}{m_0} \right)$



[https://de.wikipedia.org/wiki/Proton\\_%28Rakete%29](https://de.wikipedia.org/wiki/Proton_%28Rakete%29)

Typisch.

$$w = 4500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{m_0}{m(t)} \approx 30 - 100$$

$$v(t) = w \cdot \ln \left( \frac{m_0}{m(t)} \right)$$

$$= w \ln \left( \frac{m_R + m_T}{m_R} \right)$$

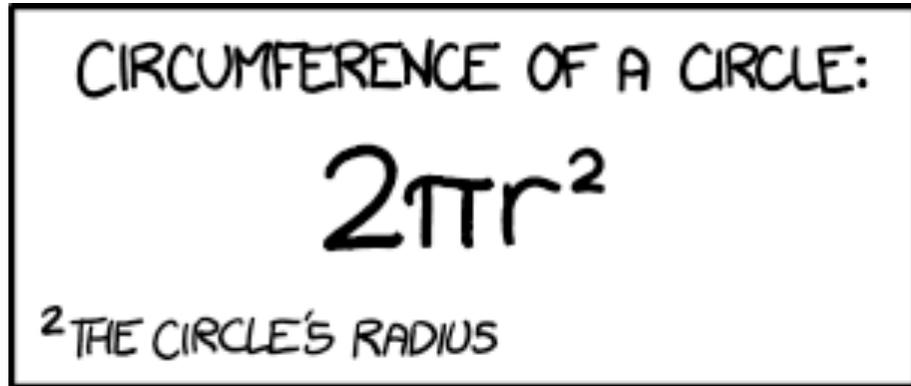
$m_R$  = Masse der Rakete

$m_T$  = Masse des  
Treibstoffes

# Drehbewegungen

Physik 1 für Chemiker und Biologen

7. Vorlesung



<https://xkcd.com/1184/>

Heute: Drehbewegungen

- Trägheitsmoment
- Drehimpuls
- Drehmoment

Prof. Dr. Ralf Jungmann

[Jungmann@physik.lmu.de](mailto:Jungmann@physik.lmu.de)

Prof. Dr. Jan Lipfert

[Jan.Lipfert@lmu.de](mailto:Jan.Lipfert@lmu.de)

# Wiederholung: Drehbewegungen

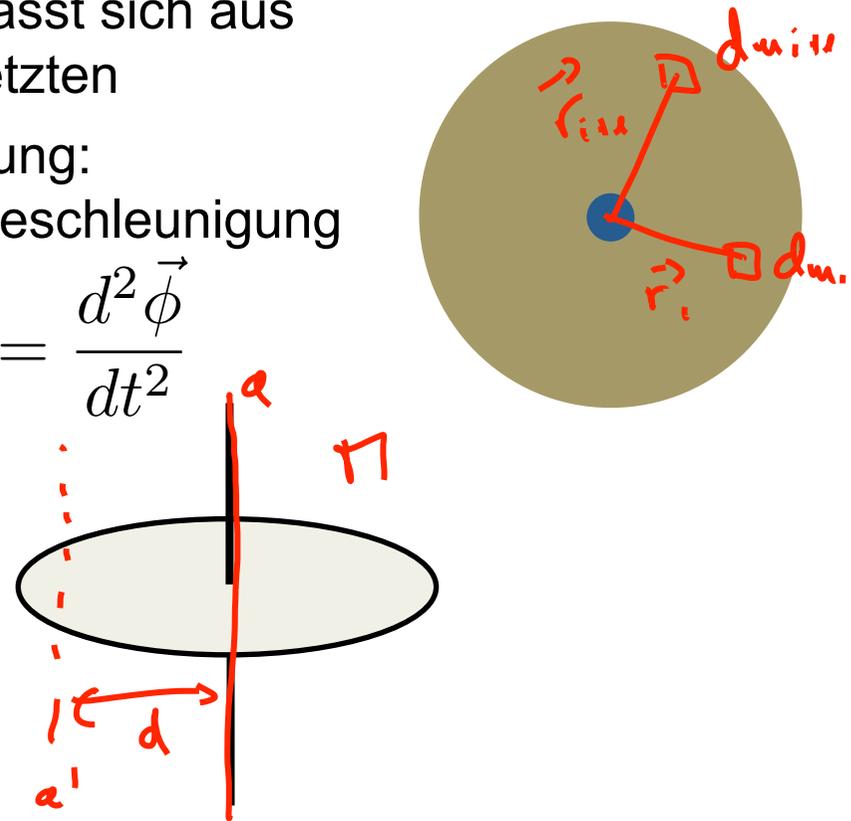
- Die Bewegung eines **starrten Körpers** lässt sich aus **Translation** und **Rotation** zusammensetzen
- Bewegungsgleichungen für Drehbewegung:  
Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung

$$d\vec{\phi} \quad \vec{\omega} = \frac{d\vec{\phi}}{dt} \quad \vec{\alpha} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\phi}}{dt^2}$$

- **Trägheitsmoment:**

**Einheit:**  
[I] = kg·m<sup>2</sup>

$$I = \sum_i m_i r_i^2 = \int r^2 dm = \int r^2 \rho dV$$



- **Steinerscher Satz:**  $I_{a'} = I_a + Md^2$   
(über parallele Achsen)

- **Rotationsenergie:**  $E_{rot} = \frac{1}{2} I \omega^2$

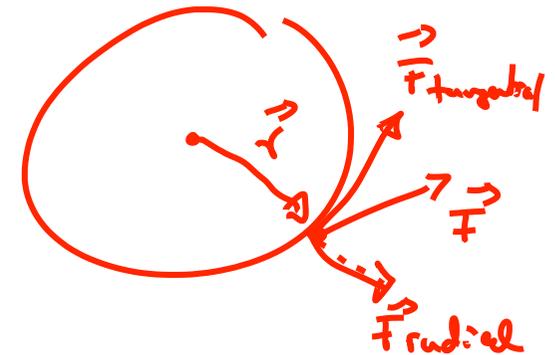
# Zusammenfassung: Drehmoment und Drehimpuls

- **Drehmoment:**  $\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$

**Einheit:**

$$[T] = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 = \text{J}$$

$$\vec{T} = |\vec{r}| F_{\text{tangential}}$$



- **Drehimpuls:**  $\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v}) = \vec{r} \times \vec{p}$

**Einheit:**

$$[L] = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s} = \text{J} \cdot \text{s}$$

$$\vec{L} = \sum_i m_i (\vec{r}_i \times \vec{v}_i) = I \vec{\omega}$$

- Wenn keine äußeren Drehmomente wirken, bleibt der Gesamtdrehimpuls konstant!
- Wenn äußere Drehmomente wirken, ändern sie den Gesamtdrehimpuls gemäß:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \dot{\vec{L}} = \sum_i \vec{r}_i \times \vec{F}_i = \vec{T}_{\text{Gesamt}}$$

# Lineare vs. Drehbewegungen

Zu jeder Größe der linearen Bewegung gibt es eine korrespondierende Größe der Drehbewegung. Die Gleichungen für beide Bewegungsformen sind formal gleich!



<http://sportsnsience.utah.edu/2012/09/04/skiing-friction-basic/>



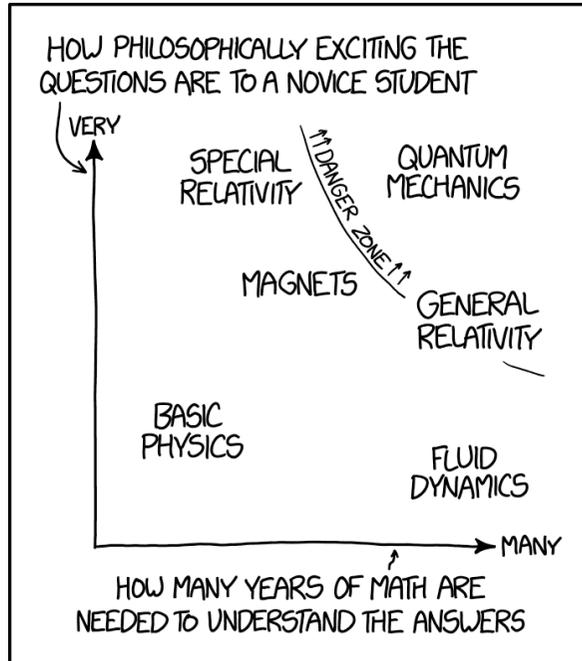
<http://de.wulffplag.wikia.com/wiki/Datei:Kettenkarussell.jpg>

Weg, Verschiebung	Drehwinkel	$\vec{\phi}$
Geschwindigkeit	Winkelgeschwindigkeit	$\vec{\omega} = \dot{\vec{\phi}}$
Beschleunigung	Winkelbeschleunigung	$\vec{\alpha} = \dot{\vec{\omega}} = \ddot{\vec{\phi}}$
Masse	Trägheitsmoment	$I$
Impuls	Drehimpuls	$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = I \cdot \vec{\omega}$
Kraft	Drehmoment	$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F} = \dot{\vec{L}}$
Kinetische Energie	Rotationsenergie	$E_{rot} = \frac{1}{2} I \omega^2$

# „Alles fließt“

## Physik 1 für Chemiker und Biologen

### 8. Vorlesung



WHY SO MANY PEOPLE HAVE WEIRD  
IDEAS ABOUT QUANTUM MECHANICS

<https://xkcd.com/1861/>

## Heute: Fluide

- Druck und Auftrieb
- Bernoulli-Gleichung
- Viskose Fluide
- Kapillarkraft

# Zusammenfassung: Druck & Auftrieb

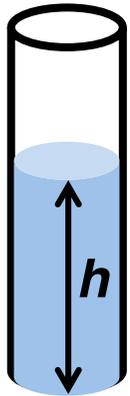
- Druck:

$$p = \frac{F}{A}$$

**Einheit:**

$$[p] = \text{N/m}^2 = \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2) = \text{Pa}$$

- Schweredruck:

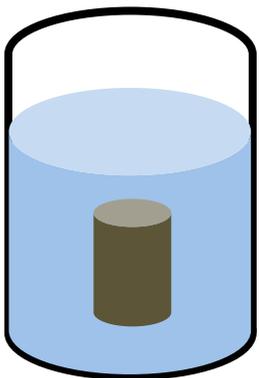


$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

**Hydrostatisches Paradoxon:**

Druck ist nur von der Höhe der Flüssigkeitssäule, nicht aber von der Form des Gefäßes oder Flüssigkeitsmenge abhängig.

- Auftrieb:



$$F_{\text{Auftrieb}} = g \cdot \rho_{\text{Fluid}} \cdot V$$

**Archimedisches Prinzip:**

Auftriebskraft = Gewichtskraft des verdrängten Fluids

# Zusammenfassung: Bernoulli-Gleichung

Für die Strömung eines inkompressiblen und reibungsfreien Fluides ("ideales Fluid") gilt:

$$p + g\rho h + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{const.}$$

Statischer Druck      Schweredruck      Staudruck



[https://de.wikipedia.org/wiki/Daniel\\_Bernoulli](https://de.wikipedia.org/wiki/Daniel_Bernoulli)

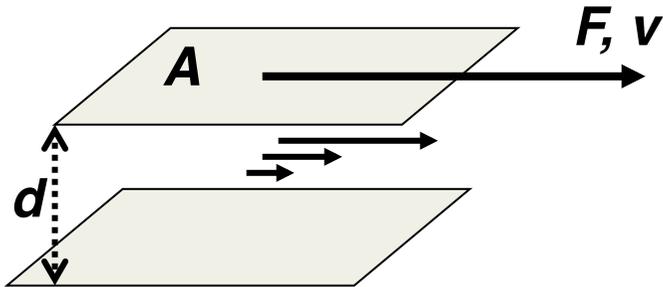
Daniel Bernoulli  
(1700-1782)

# Zusammenfassung: Viskose Reibung

Reale Fluide haben Viskosität, d.h. es kommt zu Energieverlusten und Reibung, wenn das Fluid strömt

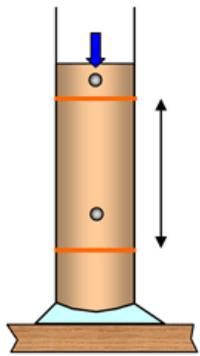
**Wichtige Fälle (gelten für hohe Viskosität, kleine Geschwindigkeiten):**

- Fluid zwischen zwei Platten:



$$F_{\text{Reibung}} = -\eta \cdot A \cdot \frac{v}{d}$$

- Kugel in einem viskosen Fluid (**Stokes**):

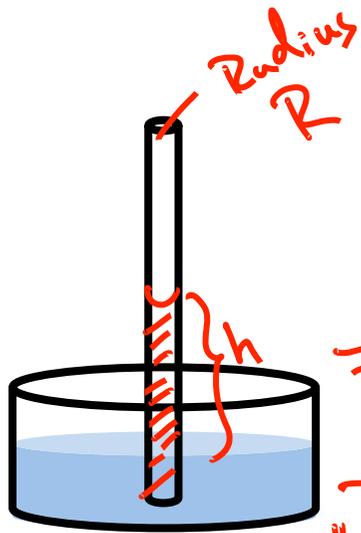


$$F_R = -6\pi \cdot \eta \cdot R \cdot v$$

(resourcefulphysics.org)

[http://tap.iop.org/mechanics/drag\\_forces/page\\_39518.html](http://tap.iop.org/mechanics/drag_forces/page_39518.html)

# Kapillarkraft



Adhäsionskraft mit Wand

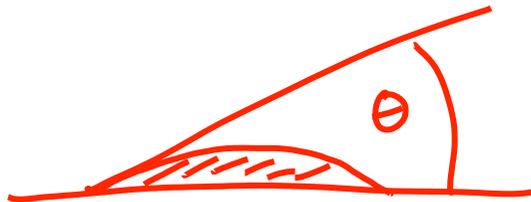
≙ Gewichtskraft

$$F_g = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot g \cdot \pi R^2 \cdot h$$

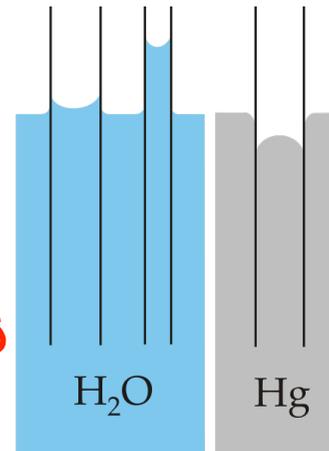
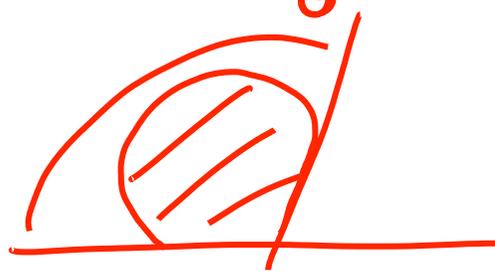
„Randkraft“:  $F_{\text{rand}} = 2\pi R \cdot \sigma \cdot \cos\theta$

$$F_g = F_{\text{rand}} \Rightarrow h = \frac{2\sigma \cos\theta}{R \cdot g \cdot \rho}$$

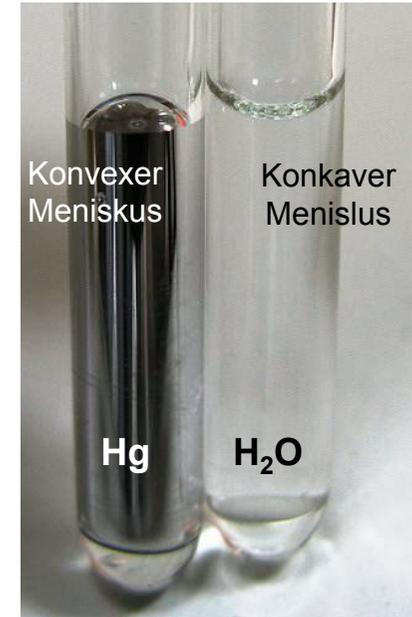
Starke attraktive Wechselwirkungen:  
 $\cos\theta > 0$



Schwache, repulsive Wechselwirkungen:  
 $\cos\theta < 0$



[https://en.wikipedia.org/wiki/Capillary\\_action](https://en.wikipedia.org/wiki/Capillary_action)

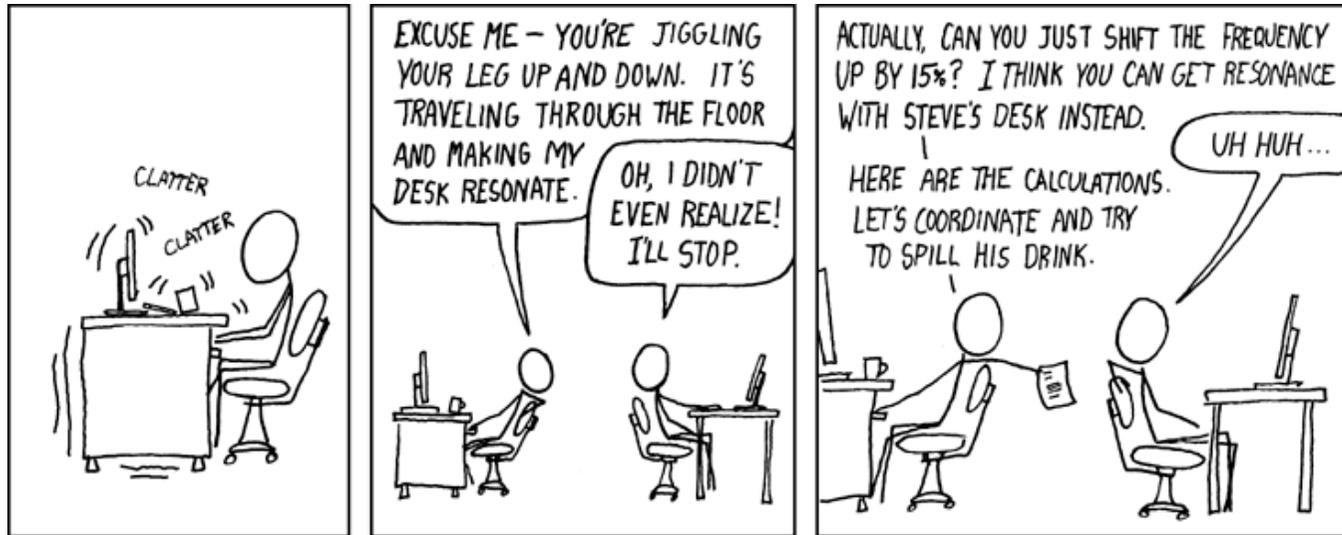


[http://www.diffen.com/difference/Adhesion\\_vs\\_Cohesion](http://www.diffen.com/difference/Adhesion_vs_Cohesion)

# Good vibrations

## Physik 1 für Chemiker und Biologen

### 9. Vorlesung



<https://xkcd.com/228/>

Heute: Schwingungen

- harmonisch
- gedämpft
- getrieben
- Resonanz

# Zusammenfassung: Harmonische Schwingungen

System mit einer linearen Rückstellkraft, d.h. der Form

**Rückstellkraft = - (positive Konstante) • (Auslenkung)**

führt harmonische Schwingungen um seine Ruhelage aus. Mathematisch:

$$F = -kx \quad (\text{Hooke})$$

$$F = ma = m\ddot{x} \quad (\text{Newton II})$$

Differential-  
Gleichung:  $\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Lösungen:  $x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$

$$x(t) = Ae^{i(\omega t + \phi)}$$

$$i^2 = -1$$

# Zusammenfassung: Gedämpfte Schwingungen

*Gedämpfte Schwingung:*

System mit einer **linearen Rückstellkraft** und **linearen Reibungsterm**

$$F = ma = m\ddot{x} \quad (\text{Newton II})$$

$$F = -kx \quad (\text{Hooke})$$

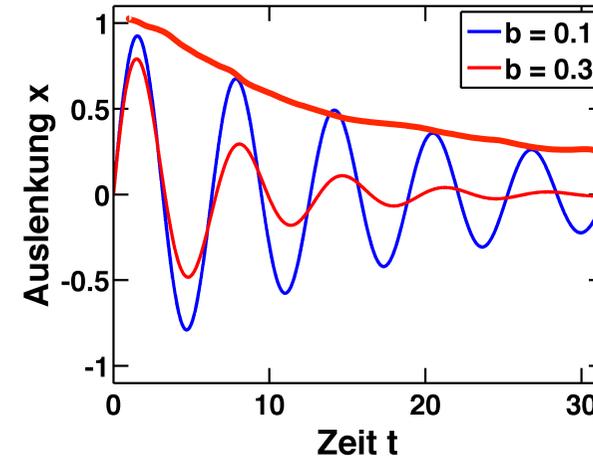
$$F_{\text{Reibung}} = -b\dot{x} \quad (\text{Stokes})$$

Differential-  
Gleichung: 
$$\ddot{x} + \frac{b}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

Lösung: 
$$x(t) = Ae^{-\delta t} \sin(\omega' t + \phi)$$

$$\delta = \frac{b}{2m}$$

$$\omega'^2 = \omega^2 - \delta^2$$



# Verhalten der getriebenen Schwingung

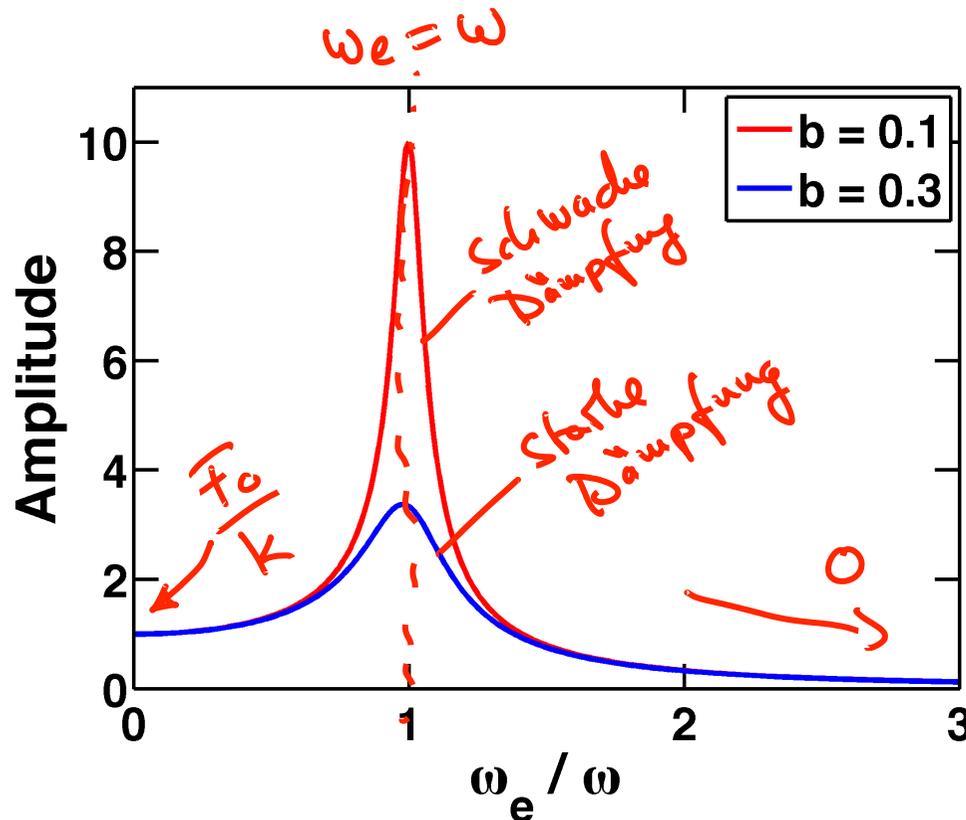
Grenzfälle:

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega^2 - \omega_e^2)^2 + b^2\omega_e^2}}$$

•  $\omega_e \ll \omega$   
 $\Rightarrow A \approx \frac{F_0}{k} = \text{const.}$

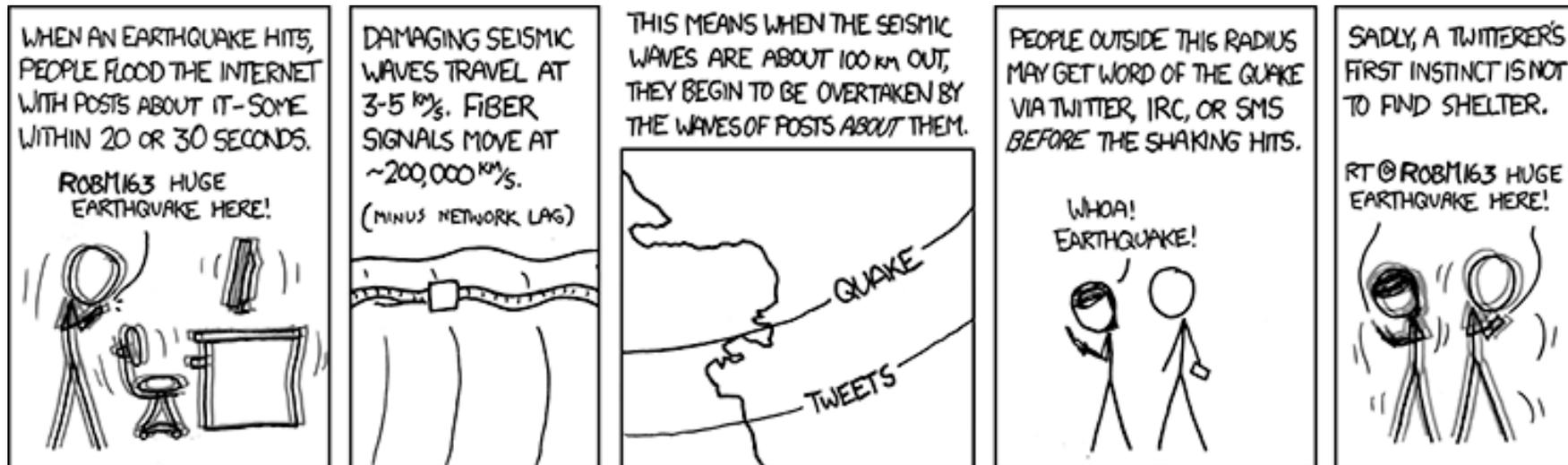
•  $\omega_e \approx \omega \Rightarrow$  Amplitude maximal!

•  $\omega_e \gg \omega$   
 $\Rightarrow A \approx \frac{F_0}{m\omega_e^2} \rightarrow 0$  für  $\omega_e \rightarrow \infty$



# Wellen

## Physik 1 für Chemiker und Biologen 10. Vorlesung



<https://xkcd.com/723/>

Heute: Wellen

- Longitudinal und Transversal
- Harmonische Wellen
- Superpositionsprinzip

Prof. Dr. Ralf Jungmann

[Jungmann@physik.lmu.de](mailto:Jungmann@physik.lmu.de)

Prof. Dr. Jan Lipfert

[Jan.Lipfert@lmu.de](mailto:Jan.Lipfert@lmu.de)

# Zusammenfassung: Wellen

Wellen: Sich räumlich und zeitlich ausbreitende Schwingungen

Allgemein:  $y(x, t) = f(x \pm ct)$

Wichtiger Spezialfall: Harmonische Wellen

$$y(x, t) = A \sin(kx \pm \omega t + \phi)$$

Wellenlänge:  $\lambda$

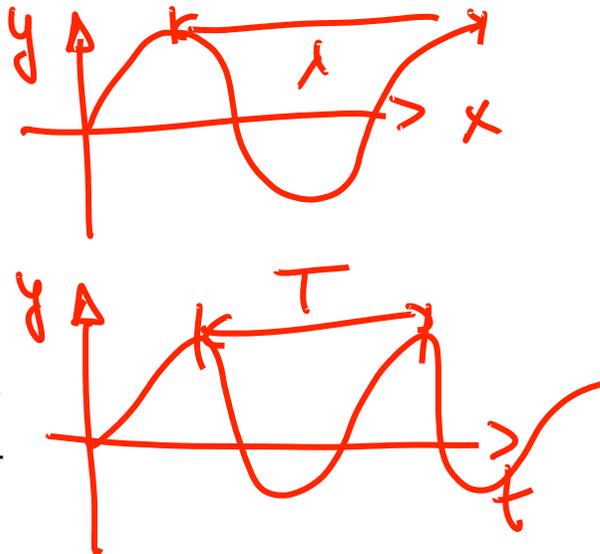
Wellenzahl:  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Periode:  $T$

Kreisfrequenz:  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Frequenz:  $f = \frac{1}{T}$

Phasengeschwindigkeit:  $c = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$



# Zusammenfassung: Wellengleichung und Superposition

Wellengleichung:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

Auslenkung:  $y(x,t)$

Phasengeschwindigkeit:  $c$

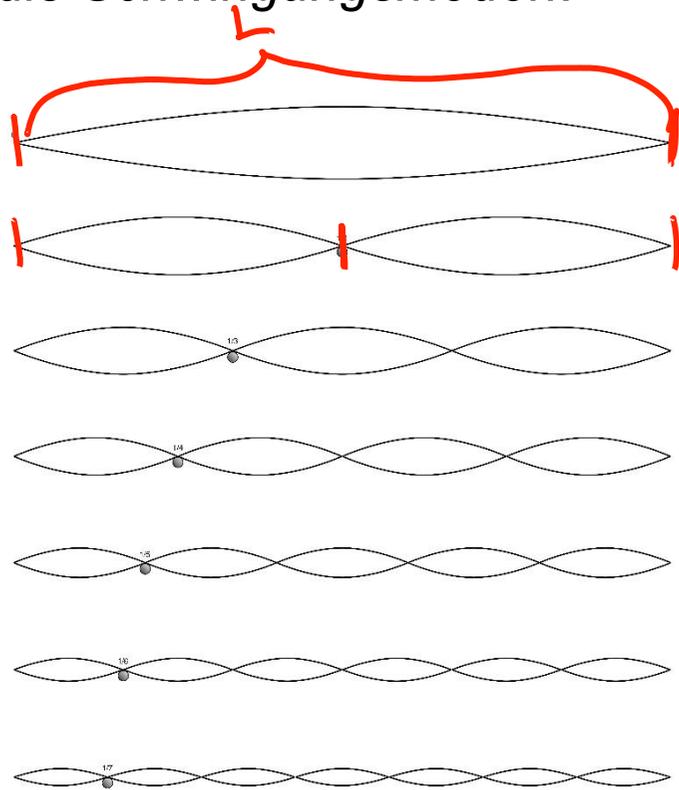
**Superpositionsprinzip:**

Wellen können sich überlagern und die resultierende Welle ist die Summe der Einzelwellen (so lange das Medium linear reagiert). Die Summe von Lösungen der Wellengleichung ist wieder eine Lösung der Wellengleichung.

- Wellen mit Phasenverschiebung:  
**Konstruktive / destruktive Interferenz**
- Gegenläufige Wellen: **Stehende Wellen**
- Ähnliche Frequenzen: **Schwebungen**
- Zerlegung von Wellen in verschiedene Frequenzkomponenten: **Fourier- Analyse**
- Zerlegung von Wellen in Elementarwellen:  
**Huygenssches Prinzip**

# Oberschwingungen und Moden

Erlaubte Frequenzen einer eingespannten Saite (feste Enden!) ergeben die *Schwingungsmoden*:



$$L = \frac{\lambda}{2}$$

$$L = \lambda$$

⋮

$n=1 \rightarrow$  Fundamentale  
Knoten; Grund-  
Schwingung

$n=2 \rightarrow$  1. Oberschwingung

$n=3 \rightarrow$  2. — " —

Allgemeine Bedingung:

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

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

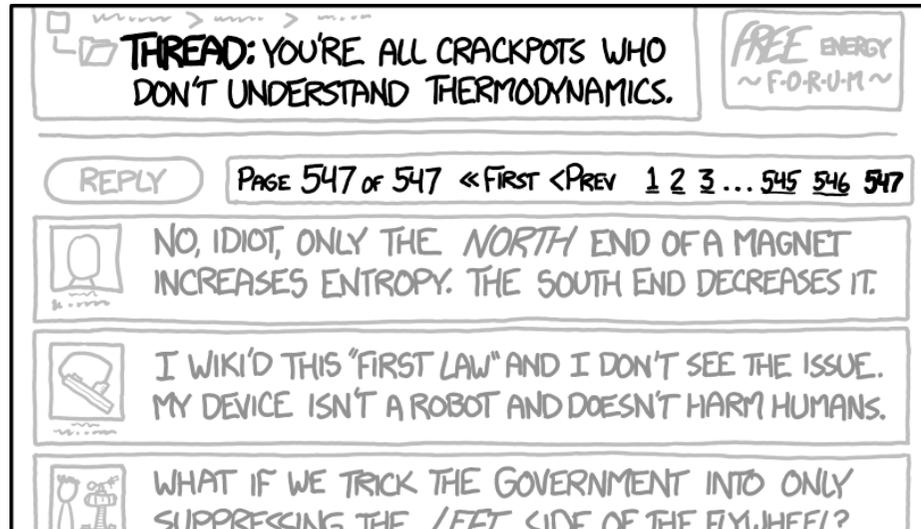
$$\Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = n \cdot \frac{c}{2L}$$

Experiment: Seilwellen – Grund und  
Oberschwingungen

# Thermodynamik & statistische Physik

Physik 1 für Chemiker und Biologen

11. Vorlesung



IRONICALLY, THE ARGUMENT I STARTED ON A PERPETUAL MOTION FORUM IN 2004 SHOWS NO SIGNS OF SLOWING DOWN.

<https://xkcd.com/1166/>

Heute: Thermodynamik & statistische Physik

- 0. Hauptsatz
- Temperaturskalen & Absoluter Nullpunkt
- Ideales Gas
- 1. Hauptsatz & Energieerhaltung
- 2. Hauptsatz & Entropie

# Zusammenfassung: Thermodynamik und statistische Physik

Thermodynamik betrachtet Stoffe als Kontinuum und beschreibt sie mit **makroskopischen Zustandsgrößen: Druck  $p$ , Volumen  $V$ , Temperatur  $T$ .**

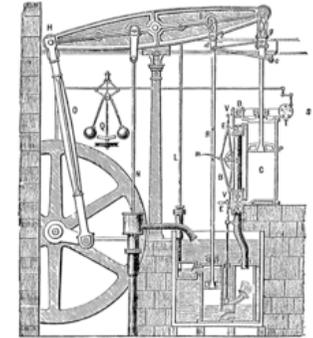
Statistische Mechanik geht von einer mikroskopischen Betrachtung der Teilchen aus und beschreibt sie mit statistischen Methoden.

Wärme ist ungeordnete Molekülbewegung.

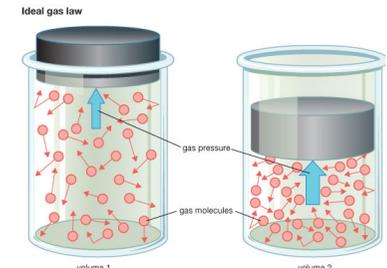
Wärmeenergie ist kinetische Energie dieser Bewegung.

Temperatur ist ein lineares Maß für den Mittelwert der kinetischen Energie der ungeordneten Molekülbewegung.

0. Hauptsatz der Thermodynamik: Befinden sich zwei Körper im thermischen Gleichgewicht mit einem dritten, so stehen sie auch untereinander in thermischen Gleichgewicht. Sie haben in diesem Fall die gleiche Temperatur.



[https://en.wikipedia.org/wiki/James\\_Watt](https://en.wikipedia.org/wiki/James_Watt)



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

<http://www.britannica.com/science/perfect-gas-law>

# Zusammenfassung:

## Thermische Ausdehnung & Temperaturskalen

- Zum Festlegen einer Temperaturskala benötigt man zwei **Temperatur-Referenzpunkte** und eine Einteilung in Untereinheiten.

- **Längenausdehnung:**  $\frac{\Delta L}{L} = \alpha \Delta T$       Thermischer Längenausdehnungskoeffizient:  $\alpha$

- **Volumenausdehnung:**  $\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$       Thermischer Volumenausdehnungskoeffizient:  $\beta$

- **Celsius** nutzte *kochendes Wasser* und *Eiswasser* als Referenzpunkte für die Temperatur, eingeteilt in 100 °C

$$T_C = \frac{l_T - l_0}{l_{100} - l_0} \cdot 100^\circ\text{C}$$

- **Kelvin-Skala:** gleiche Inkremente wie die Celsiusskala; beginnt am **absoluten Nullpunkt** = 0 K = -273,15 °C

# Zusammenfassung: Ideales Gas

Ein **ideales Gas** besteht aus Atomen oder Molekülen, die als *punktförmige Teilchen mit Masse* genähert werden, die sich *kräftefrei* in einem Volumen  $V$  bei einem Druck  $p$  und einer Temperatur  $T$  aufhalten und *nur durch Stöße miteinander wechselwirken*.

**Zustandsgleichung des idealen Gases:**

$$pV = Nk_B T$$
$$pV = \tilde{n}RT$$

$k_B$  = Boltzmann Konstante  
=  $1,381 \cdot 10^{-23}$  J/K

$N$  = Anzahl der Teilchen

$\tilde{n}$  = Anzahl der Mole

$$R = N_A \cdot k_B \quad \begin{array}{l} = \text{Gaskonstante} \\ = 8,314 \text{ J/(mol K)} \end{array}$$

Mittlere kinetische Energie  
eines Gasteilchens:

$$\langle E_{kin} \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

# Zusammenfassung: 1. Hauptsatz

Die Änderung  $\Delta U$  der inneren Energie eines Systems ist gleich der Summe der ihm netto zugeführten Wärme  $Q$  und der ihm netto zugeführten Arbeit  $W$ .

$$\Delta U = Q + W$$

$Q$ ,  $W$  sind Übertragungs- oder Prozessgrößen  
(= keine intrinsischen Größen, beschreiben Energietransfers)

$Q$   $\left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ < 0 \end{array} \right.$  Wärme wird zugeführt  
Wärme wird abgeführt

$W$   $\left\{ \begin{array}{l} > 0 \\ < 0 \end{array} \right.$  System wird Arbeit zugeführt /  
am System verrichtet  
System verrichtet Arbeit /  
Arbeit wird abgeführt

## Zusammenfassung: 2. Hauptsatz

- Wärme kann nicht vollständig in Arbeit umgewandelt werden.
- In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie niemals ab.

$$\Delta S \geq \frac{\Delta Q}{T}$$

„Wärmetod“ als Endzustand des Universum?

*„Although mechanical energy is indestructible, there is a universal tendency to its dissipation, which produces throughout the system a gradual augmentation and diffusion of heat, cessation of motion and exhaustion of the potential energy of the material Universe.“*

*Lord Kelvin, 1862*

# Maxwell-Boltzmann Verteilung

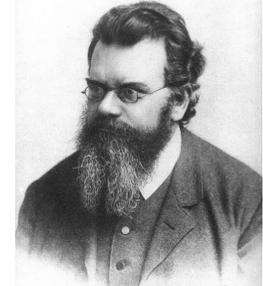
Die Geschwindigkeiten  $v$  von Gasteilchen sind statistisch verteilt und folgen der Maxwell-Boltzmann Verteilung:

$$P(v) = \underbrace{4\pi v^2} \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} \underbrace{e^{-mv^2/(2k_B T)}}$$



[https://de.wikipedia.org/wiki/James\\_Clerk\\_Maxwell](https://de.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell)

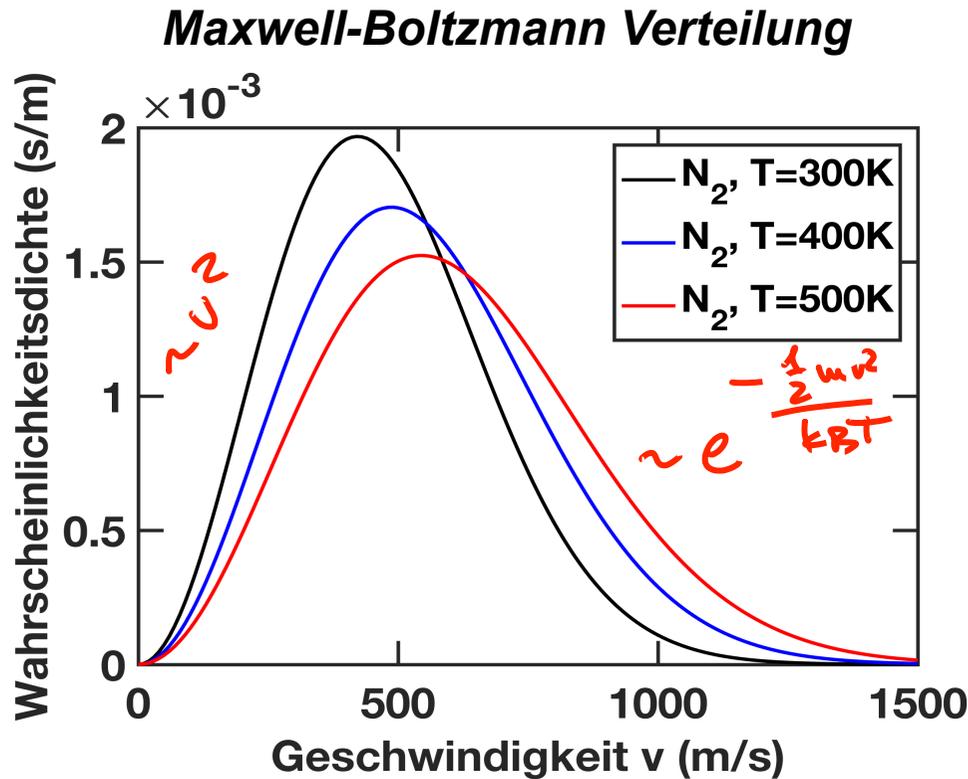
James Clerk  
Maxwell  
(1831-1879)



[https://de.wikipedia.org/wiki/Ludwig\\_Boltzmann](https://de.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Boltzmann)

Ludwig  
Boltzmann  
(1844-1906)

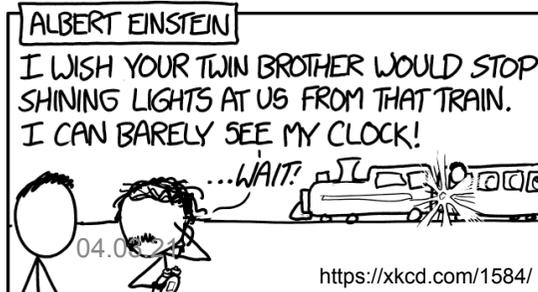
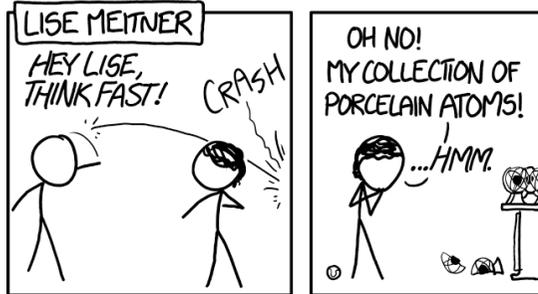
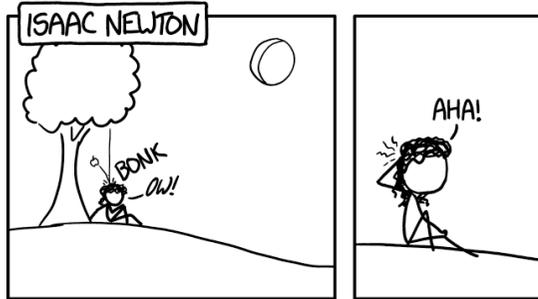
Geschwindigkeits-  
verteilung Gasmodell



# „The end of the world as we know it“

Physik 1 für Chemiker und Biologen

12. Vorlesung



Spezielle Relativitätstheorie:

- Lorentz-Transformation
- Zeitdilatation
- Längenkontraktion
- Impuls und Masse, relativistisch
- Kernspaltung und Kernfusion

# Zusammenfassung: Einsteins Postulate und Lorentz-Transformation

## Einsteins Postulate:

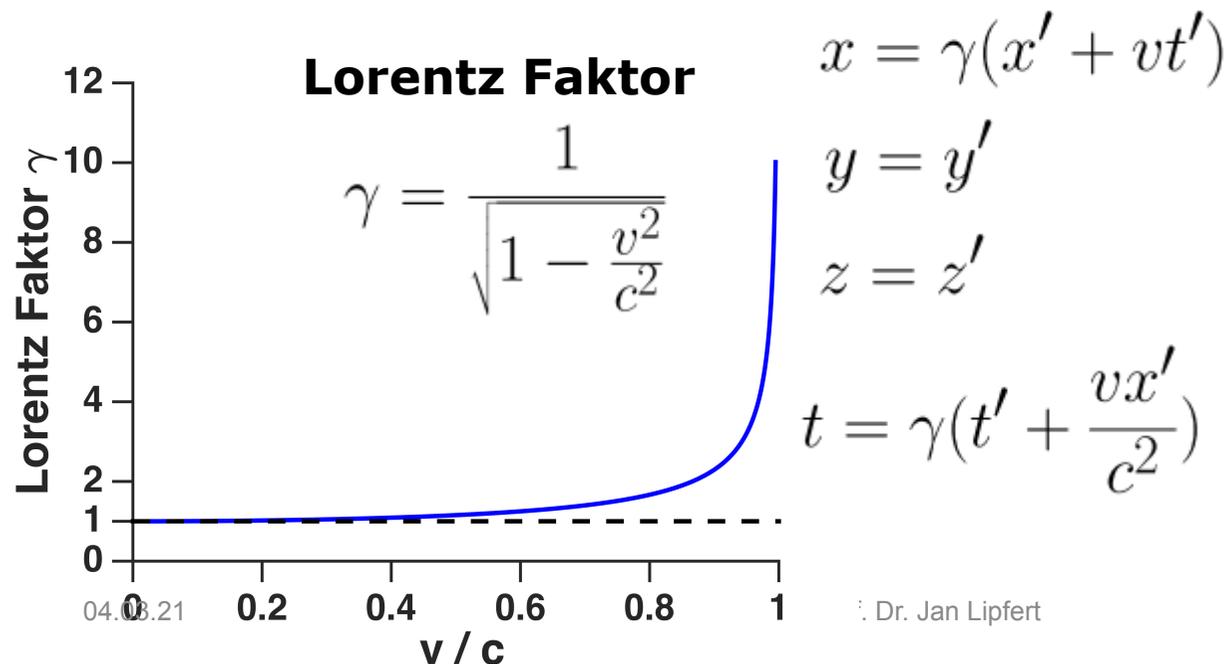
1. Die Naturgesetze sind invariant, d.h. die sind in allen Inertialsystemen gleich.
2. Jeder Beobachter misst für die Lichtgeschwindigkeit  $c$  im Vakuum denselben Wert.



[http://adfc-blog.de/2014/01/tempo-30/beginn\\_der\\_zone\\_30/](http://adfc-blog.de/2014/01/tempo-30/beginn_der_zone_30/)

## Lorentz-Transformation

( $S$  und  $S'$  bewegend sich relativ entlang  $x$ )



# Zusammenfassung: Effekte der Speziellen Relativitätstheorie

- **Längenkontraktion**

$L_0$  *Eigenlänge (= Länge eines Objektes, in dem es in Ruhe ist)*

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

- **Zeitdilatation**

$\Delta t_0$  *Eigenzeit (= Zeit im Inertialsystem, in dem die „Uhr in Ruhe ist“)*

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0$$

- **Relativistischer Impuls:**  $p = \gamma m_0 v$

- **Relativistische Masse**  $m = \gamma m_0$   
**und Energie:**

$$E_{\text{ges}} = \gamma m_0 c^2$$