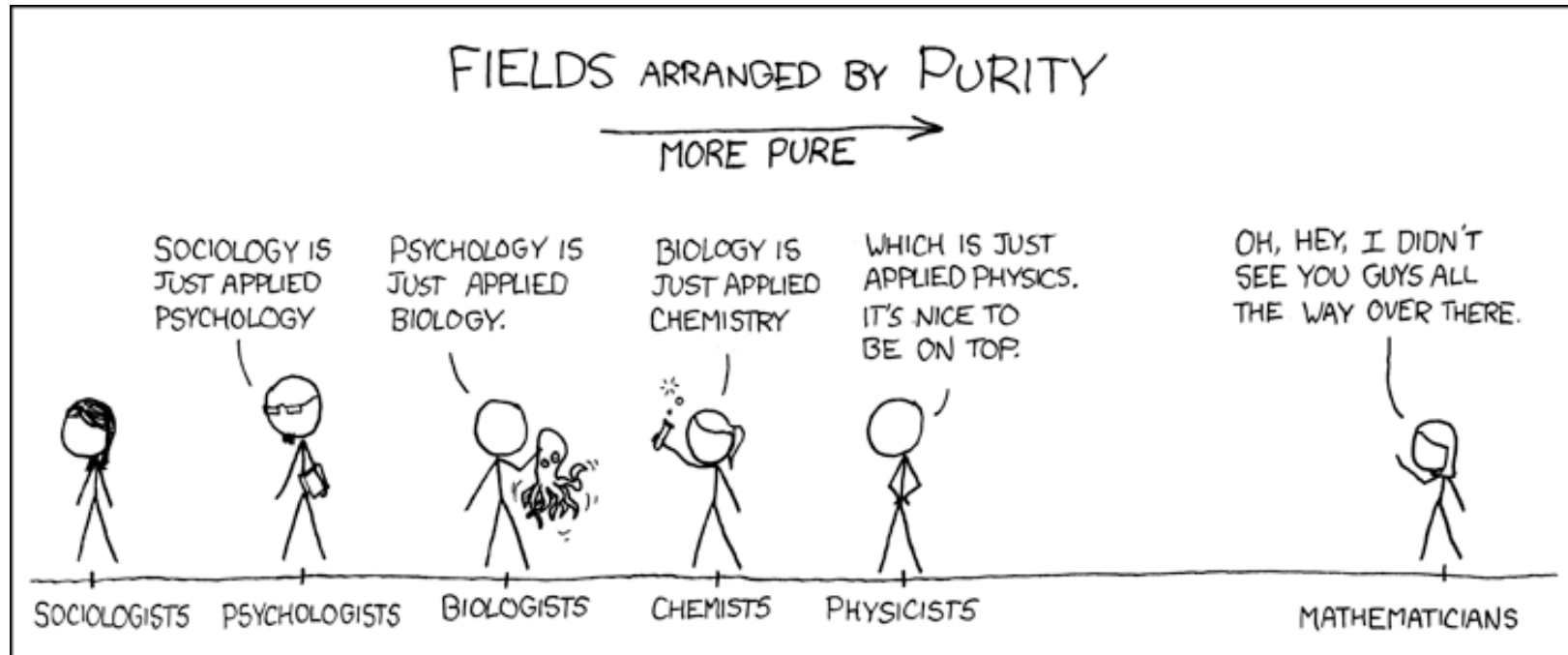


Warum Physik?

Physik 1 für Chemiker und Biologen

1. Vorlesung – 25.10.2021



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


Heute:

- Übersicht über die Veranstaltung
- Wofür Physik?
- Physik in Chemie und Biologie
- Größenordnungen, Zeit und Längenskalen

Prof. Dr. Ralf Jungmann
Jungmann@physik.lmu.de

Prof. Dr. Jan Lipfert
Jan.Lipfert@lmu.de

Zoom Webinar Features

- Wir nutzten die „Webinar“ Funktion der Plattform Zoom. 
- Sie sollten unsere Folien und Videos der Dozenten sehen.
- Die anderen Teilnehmer („Attendees“) sind stumm geschaltet (weil es sonst Probleme mit Hintergrundgeräuschen gibt) und die Videos ausgeschaltet (da wir aufzeichnen).
- Fragen können Sie jederzeit in die „Q & A“ Funktion einstellen.
- Wir werden regelmäßig während der Vorlesungen die Umfrage („Poll“) Funktion benutzen. Dazu gleich ein Beispiel...

Termine & Ablauf der Veranstaltung

Durch die COVID-19 Pandemie müssen wir die Veranstaltung weitgehend online anbieten. Dies ist für uns alle eine große Herausforderung!
Die Online-Lehre bietet aber auch Chancen und Vorteile (Aufzeichnung!).

Vorlesung

- 1) „Live“ **Besprechungen über Zoom – Montags 9:15 bis ca. 11:00**
Administratives; Verständnisfragen; Beispielaufgaben;
Zeit für Fragen und Diskussionen!
- 2) „Asynchrone“ **Online Vorlesungen** – jede Woche im Netz!
Aufgezeichnete Vorlesungen, die den Stoff erklären.
Bitte zur Vorbereitung der Stunde am Montag schauen!

Übungen (ebenfalls über Zoom)

Montags 15:00-17:00 (Studierende der Chemie)
Montags / Dienstags (Studierende der Biologie)

Team

Besprechung / Vorlesung

Prof. Ralf Jungmann Jungmann@biochem.mpg.de

Prof. Jan Lipfert Jan.Lipfert@lmu.de

Versuche

Gunnar Spieß Gunnar.Spiess@physik.uni-muenchen.de

Übungen

Ines Amersdorffer Ines.Amersdorffer@physik.uni-muenchen.de

Bendix Hagedorn bendix@usm.lmu.de

Yuhao Liu Yuhao.Liu@physik.uni-muenchen.de

Lisa Regler lisa.m.regler@gmail.com

Michael Reichert m.reichert@physik.uni-muenchen.de

Navid Roshani navidroshani@gmx.de

Jonas Tittel jonas.tittel@outlook.com

Jonas Zimmermann Jonas.Zimmermann@campus.lmu.de

Materialien zur Veranstaltung

Webseite der Vorlesung:

Wird noch bekanntgegeben

Moodle-Seite zur Vorlesung: (Password: pn1ws2122)

<https://moodle.lmu.de/course/view.php?id=19729>

Links to den Vorlesungsvideos (youtube oder LMU cast):

<https://youtube.com/playlist?list=PL28NYqIVb-BwyHFdwWzWdyfKzazGjSCRM>

<https://cast.itunes.uni-muenchen.de/vod/playlists/ogSbX85f7G.html>

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

Übungsblätter, Ankündigungen

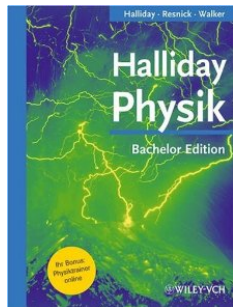
- Übungsblätter werden jeweils am Montag online gestellt und sind für Übungen in der darauffolgende Woche.



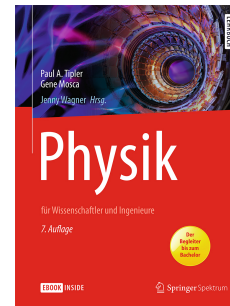
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:SennMicrophone.jpg>

Literatur

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

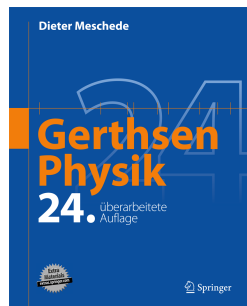


Halliday: Physik
(Bachelor Edition)
D. Halliday, R. Resnick,
J. Walker
Wiley-VCH, Berlin
ISBN: 9783527407460



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

- **Weiterführende / ergänzende Literatur:**



Gerthsen Physik
D. Meschede
Springer
ISBN: 3642128939

Klausur

Chemiker und Biologen schreiben die gleiche Klausur, am gleichen Tag, mit dem gleichen Bewertungsschlüssel!

Es ist aktuell noch unklar, ob es eine Präsenzklausur (mit klarem Hygienekonzept) oder eine Online-Klausur geben wird.

Wenn es eine Präsenzklausur gibt:

- 2-stündige schriftliche Prüfung
- Weiteres zu den Inhalten während des Semesters!

Bei der Klausur sind erlaubt:

- 1 handbeschriebenes DIN-A4 Blatt, Vorder- und Rückseite (also insgesamt 2 Seiten). Beim Schreiben des Blattes lernt man sehr viel!
- Ein normaler Taschenrechner (kein Laptop, kein Smartphone)
- Keine Formelsammlung, keine Lehrbücher
- Wörterbücher sind erlaubt

Übungseinteilung

- Alle Übungen finden **online über Zoom** statt.
- Die Einteilung erfolgt durch Dr. Thomas Engel (Chemie) und Dr. Michael Bögle (Biologie).
- **Chemie:** 4 Übungsgruppen, Montags 15:00-17:00 (als Blockübung mit AC und Mathe 1)
- **Biologie:** 12 Übungsgruppen, Montags und Dienstags
- Sie bekommen Email mit einem Zoom Link von den jeweiligen Tutoren. Die Zoom links stehen auch auf der Moodle Seite.

Übungsmodus: Vorrechnen

- Die Übungsblätter werden nicht eingesammelt oder korrigiert; stattdessen werden die Aufgaben vorgerechnet.
- Es wird 12 Übungsblätter mit 3-5 Übungsaufgaben geben, also etwa 40-50 Aufgaben. **Somit hat jeder die Chance vorzurechnen.**
- **Bonussystem für Vorrechnen:** Die Studenten rechnen vor. Zum Online-Vorrechnen können Sie ein Tablett benutzen oder Ihre handschriftliche Rechnung abfotografieren.
- Die Tutoren vergeben Punkte (max. 5 pro Aufgabe). Die Punkte der zwei besten vorgerechneten Aufgaben gehen in die Übungs-Bonuswertung (d.h. maximal 10 Punkte).
- Studenten, die noch nicht vorgerechnet haben, werden bevorzugt, damit jeder die Chance auf zweimal Vorrechnen bekommt.

Übungsblatt 1 - Wiederholung Mathematik
Besprechung in der Woche vom 9.11.2020

Übungsmodus: Bonuspunkte

- Für jede vorgerechnete Aufgabe gibt es maximal 5 Punkte.
- Insgesamt können maximal 10 Punkte Bonuspunkte aus den Übungen erlangt werden.
- Die Bonuspunkte werden zum Ergebnis der Klausur(en) addiert (für die Klausur alleine gibt es maximal 100 Punkte).
- Die Bonuspunkte zählen sowohl für die Abschluss- als auch die Wiederholungsklausur in diesem Semester (sind aber nicht aus vergangenen oder in zukünftige Semester „übertragbar“).
- Man kann auch ohne Punkte aus der Übung an der Klausur teilnehmen, die Klausur bestehen, und sogar eine 1,0 erreichen.
- Mit 10 Bonuspunkten kann man sich ca. um eine halbe Notenstufe verbessern.

Verhältnis von online Vorlesungen, Zoom-Besprechungen und Übungen

- Die **online Vorlesungen** führen in die Themen des Semesters ein. Zu jeder Vorlesung stellen wir die Vorlesungsfolien und Verständnisfragen zur Verfügung, mit denen sie sich den Stoff erarbeiten können. Zur Ergänzung geben wir Buchkapitel zum vertiefenden Studium an.
- In den **Zoom Besprechung** diskutieren wir der Stoff, stellen Verständnisfragen, rechnen Beispielaufgaben und haben Gelegenheit, Fragen zu besprechen. Wir wiederholen nicht die komplette Vorlesung!
- Die **Übungen** bauen auf den Stoff der Vorlesung auf, gehen aber auch darüber hinaus. Die Beschäftigung mit den Übungsaufgaben hilft enorm beim Verstehen des Stoffes und bietet eine gute Kontrolle des eigenen Verständnisses. Die Übungen bieten eine gute Vorbereitung auf die Klausur (sind aber kein reines „Klausur-Rechen-Training“).

Mathematik/„Rechnen“ ist unerlässlich in den Naturwissenschaften!

Warum sollte ich die Übungen und Vorlesungen besuchen?

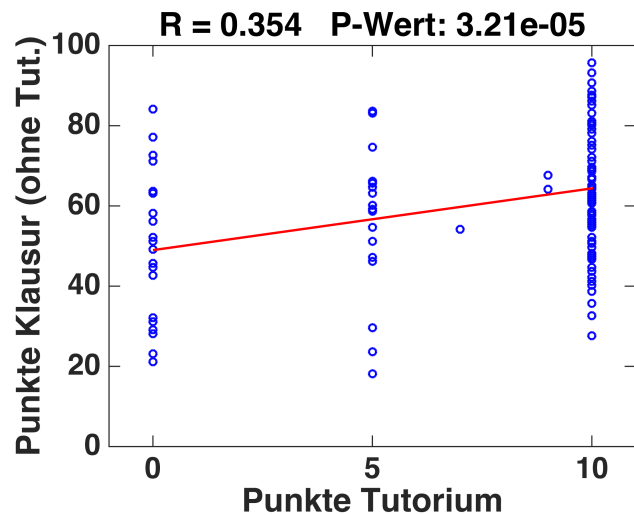
- Keine Anwesenheitspflicht!
- Die Vorlesungen führen den Stoff ein, helfen Wichtiges von Unwichtigem zu unterscheiden, Zusammenhänge zu sehen.
- Besprechungen veranschaulichen den Stoff und bilden Gedächtnisstützen für spätere Wiederholung.
- Sowohl Besprechung als auch Übung bieten ein Forum für Diskussionen, Ansprechpartner, Gleichgesinnte mit „Physik-Problemen“ und Fragen.

Die Vorlesungen und Übungen sind ein Angebot an Sie!

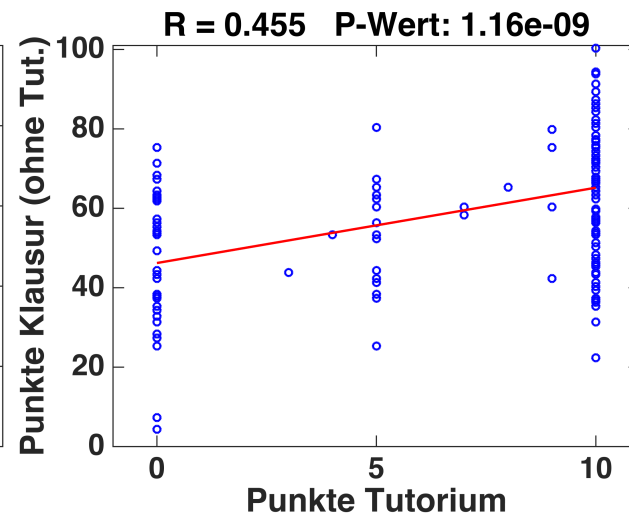
**Es liegt an Ihnen, was Sie aus dieser Veranstaltung
(und aus Ihrem Studium an der LMU) machen!**

Aktive Teilnahme an den Übungen korreliert mit Klausurerfolg!

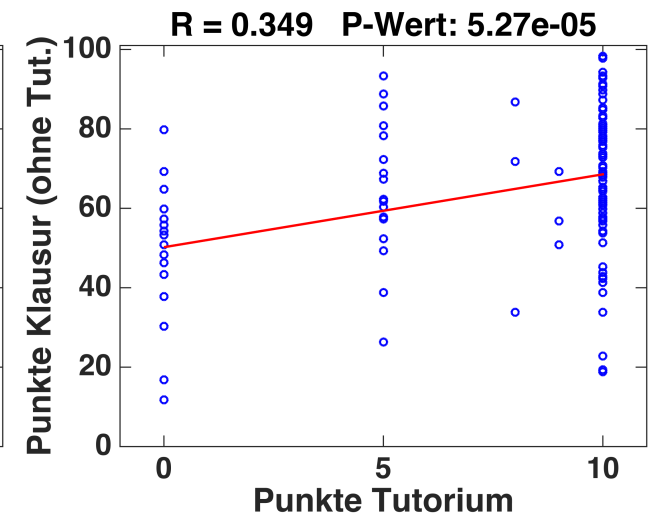
PN1 – WS2013/14



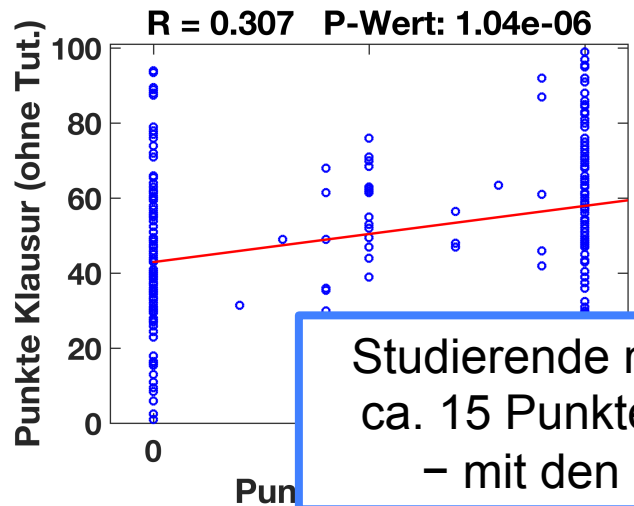
PN1 – WS2014/15



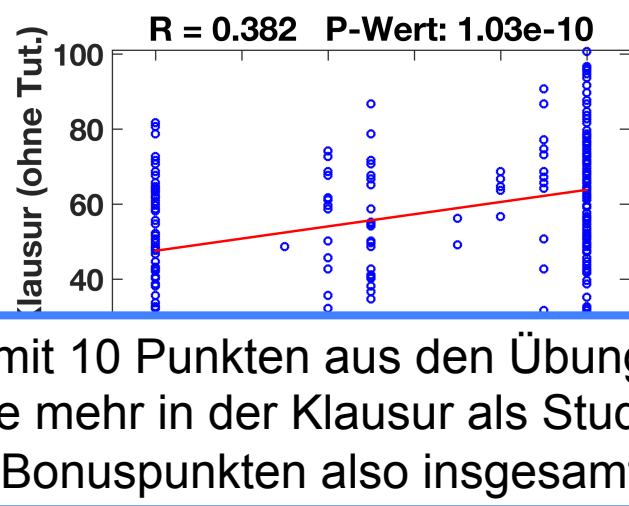
PN1 – WS2015/16



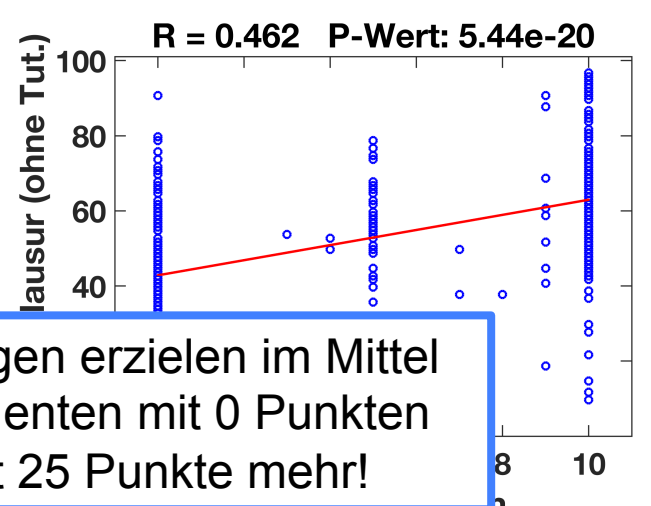
PN1 – WS2016/17



PN1 – WS2017/18



PN1 – WS2018/19



Studierende mit 10 Punkten aus den Übungen erzielen im Mittel ca. 15 Punkte mehr in der Klausur als Studenten mit 0 Punkten – mit den Bonuspunkten also insgesamt 25 Punkte mehr!

Lehrinhalte PN1

1) Methodik der Physik („Wie denken Physiker“)

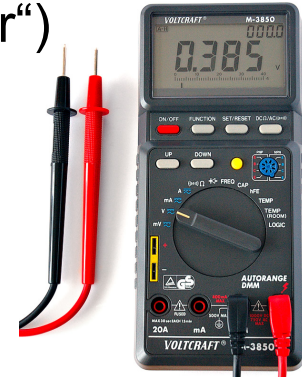
2) Fehlerrechnung, Maßeinheiten

3) Mechanik, inkl. Hydrostatik, Hydrodynamik

4) Schwingungen- und Wellen

5) Wärmelehre, Thermodynamik (kurz, am Ende)

6) Spezielle Relativitätstheorie (kurz, am Ende)



<https://de.wikipedia.org/wiki/Spannungsmessger%C3%A4t>



https://en.wikipedia.org/wiki/File:2006-01-14_Surface_waves.jpg



https://de.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton



<https://de.wikipedia.org/wiki/Kugelsto%C3%9Fpendel>



https://de.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein

Zeitplan der Vorlesung (vorläufig)

25.10.	Übersicht; Wofür Physik?
08.11.	Einheiten, Messen, Messfehler
15.11.	Bewegungen in 1, 2 und 3D; Kräfte, Masse, Trägheit;
22.11.	Kreisbewegung, Zentripetalkraft; Reibung
29.11.	Gravitation; Arbeit, Energie, Leistung
06.12.	Impuls, Stöße
13.12.	Drehbewegungen, Drehimpuls
20.12.	Flüssigkeiten, Druck; Fluide und Strömungen, Kapillarkraft
10.01.	Schwingungen (harmonische, gedämpfte, getriebene)
17.01.	Wellen (Ausbreitung, Superposition)
24.01.	Thermodynamik & statistische Physik
31.01.	Moderne Physik und Spezielle Relativitätstheorie
07.02.	Klausurwiederholung / Fragestunde

Wofür brauchen Chemiker*innen und Biolog*innen überhaupt Physik?

(...insbesondere Mechanik?)

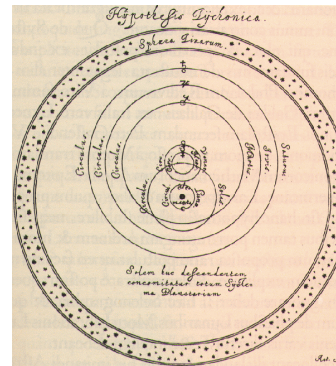
Aufklärung, Himmelsmechanik und die „wissenschaftliche Methode“

„Wissenschaftliche Revolution“:

Ab dem 16. Jahrhundert etablieren sich (allmählich) die modernen Naturwissenschaften, **ausgehend von der Himmelsmechanik**:
Kopernikus, Galileo, Brahe, Kepler, Newton, etc.



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



http://www.wikiwand.com/de/Tychonisches_Weltmodell



https://de.wikisource.org/wiki/Nicolaus_Copernicus

Nicolaus Kopernikus
(1473-1543)



https://de.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton

Isaac Newton
(1642-1727)

- Mathematische, quantitative Theorien werden mit genauen Messungen verglichen.
- Theorien können bestätigt oder widerlegt werden (mit z.T. revolutionären Folgen!) und richten sich nicht nach „Autoritäten“

„Makroskopische Mechanik“ in Labor und Industrie



<https://de.wikipedia.org/wiki/Erd%C3%B6lraffinerie>

Raffinerieverfahren



https://de.wikipedia.org/wiki/Erd%C3%B6lförderung_in_Deutschland

Destillation



https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Tamoil



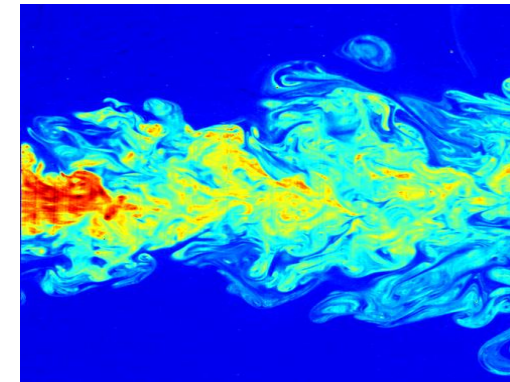
<https://de.wikipedia.org/wiki/Zentrifuge>

Zentrifugen



<http://www.berzsenyi.hu/dibusz/comenius/opal.html>

Sedimentierung



https://en.wikipedia.org/wiki/File:False_color_image_of_the_far_field_of_a_submerged_turbulent_jet.jpg

Strömungsmechanik

„Mikroskopische Mechanik“ von (biologischen) (Makro-)molekülen

Chemienobelpreis 2013



The Nobel Prize in Chemistry 2013
Martin Karplus, Michael Levitt, Arieh Warshel

The Nobel Prize in Chemistry 2013



© Harvard University
Martin Karplus



Photo: © S. Fisch
Michael Levitt



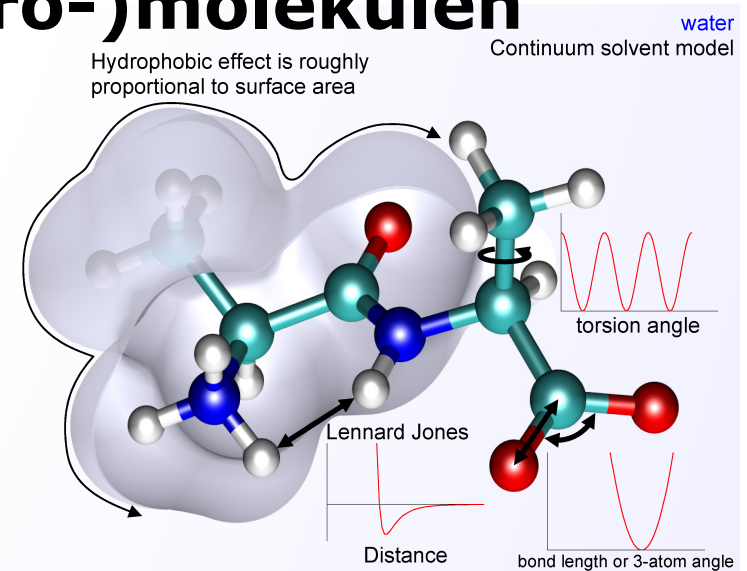
Photo: Wikimedia
Commons
Arieh Warshel

The Nobel Prize in Chemistry 2013 was awarded jointly to Martin Karplus, Michael Levitt and Arieh Warshel "for the development of multiscale models for complex chemical systems".

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2013/

25.10.21

Prof. Dr. Jan Lipfert



„Molecular Mechanics“:

- Atome werden als **Punktmassen** genähert
- Chemische Bindungen werden als **elastische Federn** beschrieben
- (Numerische) Lösung der **Newtonschen Bewegungsgleichungen**

19

Beispiel für eine lange Molekulardynamik Simulation: NTL9 Protein (~1.5 ms Faltung)

<https://www.youtube.com/watch?v=gFcp2Xpd29I&t=27s>

- Berechne viele kurze Trajektorien mittels “distributed computing” (Folding@home)
- Extrapoliere Information mit einem Markov state Modell

Voelz, Pande, *et al.*, *JACS* (2010)

Beispiel für Molekulardynamik Simulationen im Kampf gegen SARS-CoV-2



Trimerisches SARS-CoV-2
Spike Glykoprotein (10 μ s)



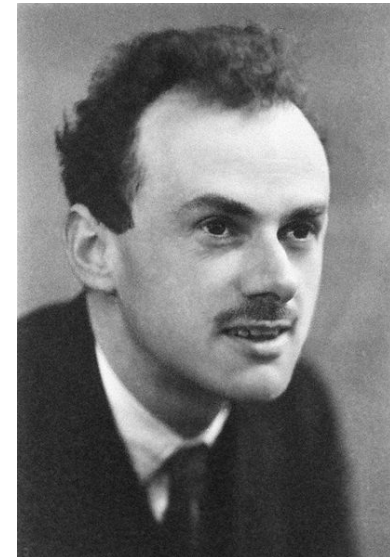
Simulationen von Medikamenten, die das
trimerische Spike Glykoprotein binden

DE Shaw Research

https://www.deshawresearch.com/downloads/download_trajectory_sarscov2.cgi/

Mechanik als Grundlage der Quantenmechanik

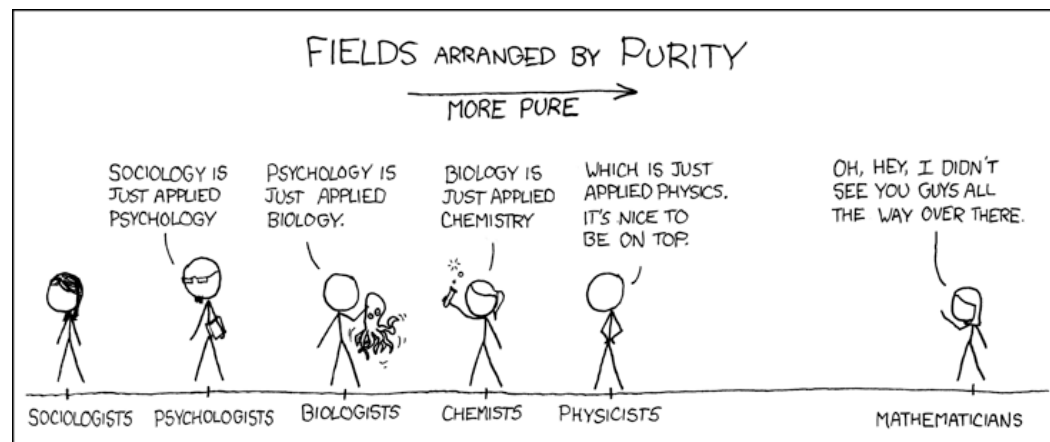
"The underlying physical laws necessary for the mathematical theory of a large part of physics and the whole of chemistry are thus completely known, and the difficulty is only that the exact application of these laws leads to equations much too complicated to be soluble."



https://de.wikipedia.org/wiki/Paul_Dirac

P.A.M. Dirac, 1929

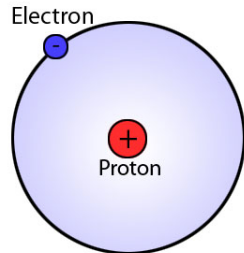
Paul Dirac (1902-1984; Nobelpreis 1933) war einer der Väter der Quantenmechanik



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

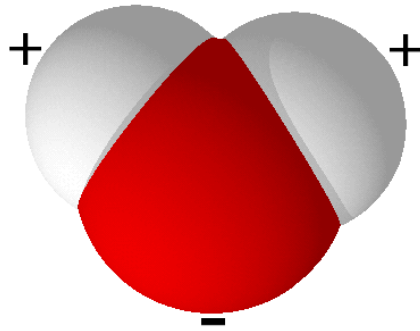
Was meint Paul Dirac damit?

Wasserstoffatom (und andere einfache Atome und Moleküle):
Eigenschaften berechenbar durch Lösen der **Schrödingergleichung**

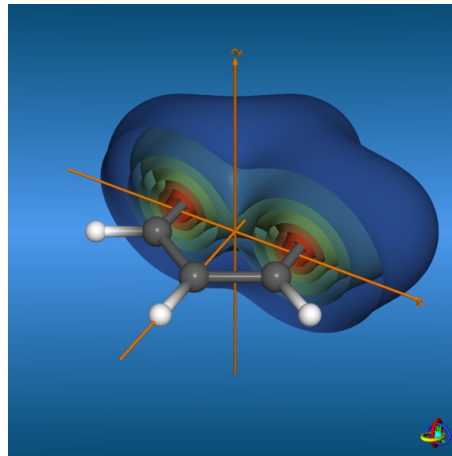


https://de.wikibooks.org/wiki/Atommodelle:_Bohrsches_Atommodell

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\vec{r}, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi(\vec{r}, t) + V(\vec{r}, t) \Psi(\vec{r}, t)$$



<https://de.wiktionary.org/wiki/Wassermolek%C3%BCl>



http://csi.chemie.tu-darmstadt.de/ak/immell/tutorials/orbitals/molecular/benzene_density-cont.jpg

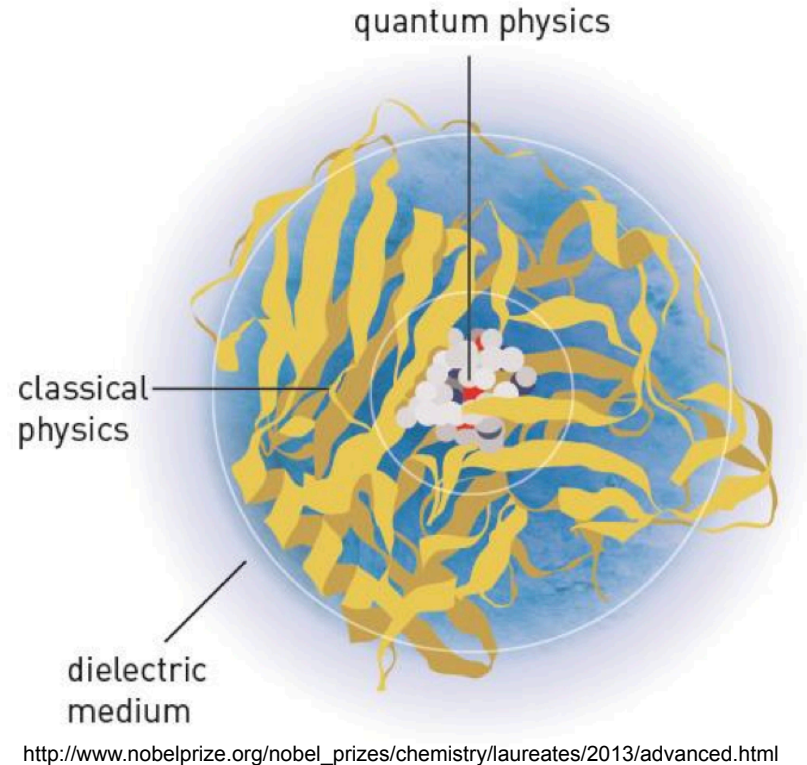


<https://de.wikipedia.org/wiki/Trinkglas>

Wassermolekül:
sehr gute Näherungen
möglich (Quantenchemie!)

ABER: In der Chemie (sicher in der Biologie!) hat man es oft mit sehr vielen (10^{24} !) Teilchen zu tun. Direkte Simulation ist dann schwierig / unmöglich.

Gemischte Simulationen: Quanten + Klassische Physik



QM/MM Modelle („quantum mechanics/molecular mechanics“):

Simuliere z.B. das aktive Zentrum eines Enzyms quantenmechanisch, den Rest des Protein atomar genau, aber klassisch und die Umgebung des Proteins mit einem Kontinuummodell

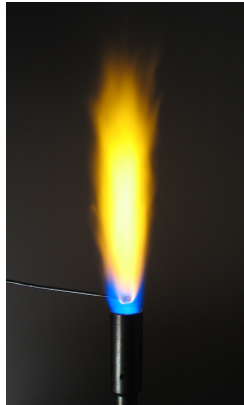
Gemischte Simulationen: Quanten + Klassische Physik



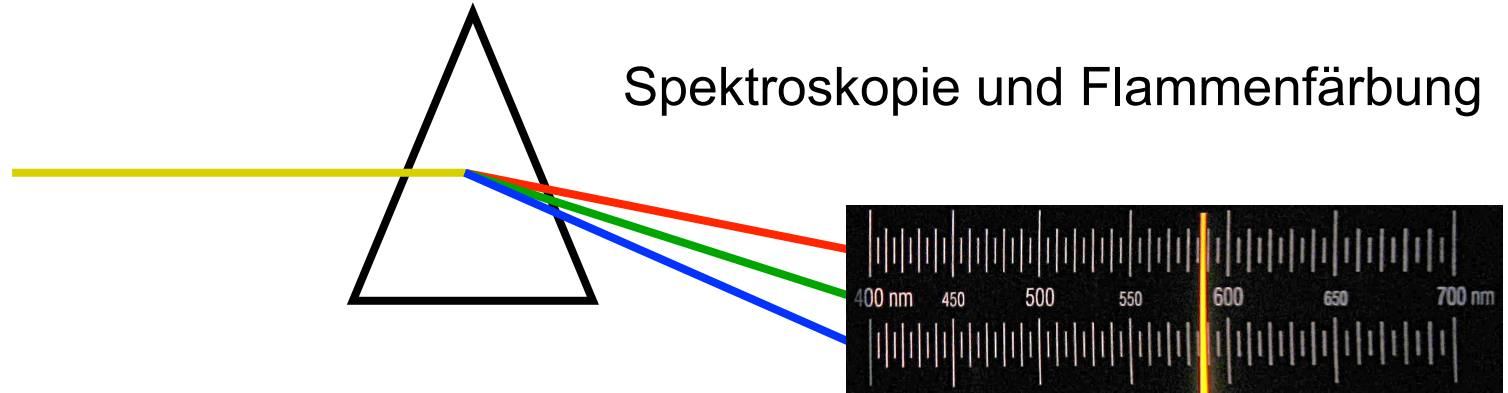
Figure 2. Newton and Schrödinger's cat. Previously, classical physics and quantum chemistry belonged to rivalling worlds. The Nobel Laureates in Chemistry 2013 have opened a gate between those worlds and have brought about a flourishing collaboration.

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2013

Physikalische Messmethoden in der Chemie und Biologie: Spektroskopie

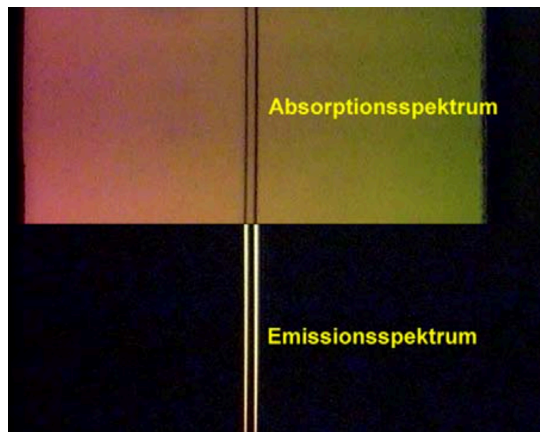


<https://de.wikipedia.org/wiki/Natrium-D-Linie>



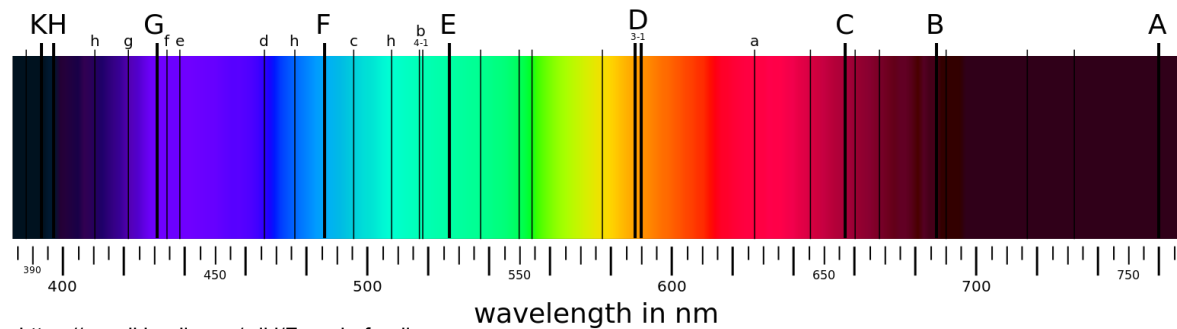
Spektroskopie und Flammenfärbung

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Na-D-sodium_D-lines-589nm.jpg



Wagner, et al. *Praxis der Naturwissenschaften* (2006)

Emissions- und Absorptionsspektren



https://en.wikipedia.org/wiki/Fraunhofer_lines

Absorptionsspektrum der Sonne: Fraunhofer Linien

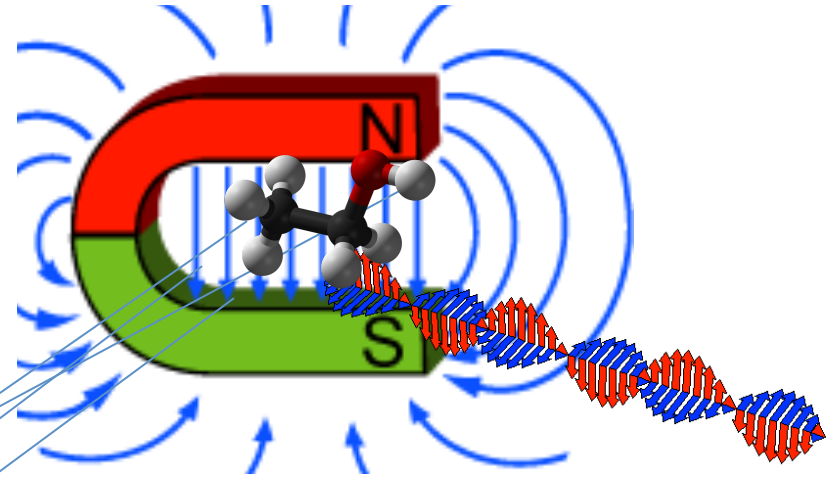
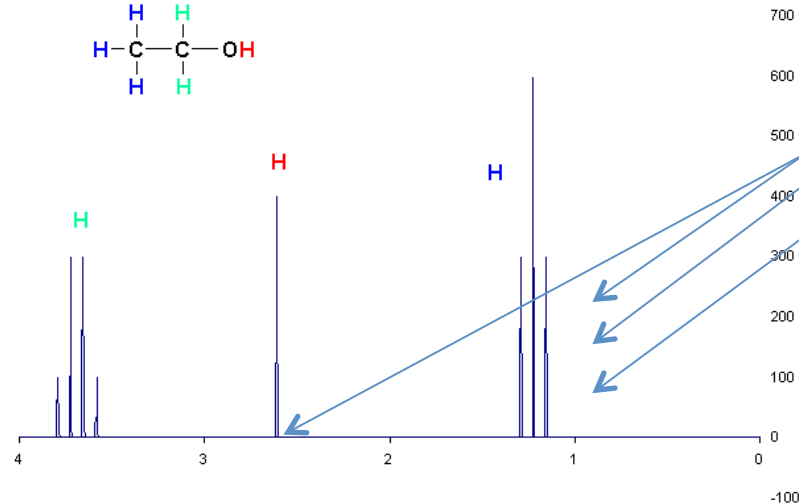
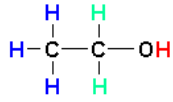
Physikalische Messmethoden in der Chemie und (Struktur-)Biologie: NMR (Kernspinresonanz)

Wichtige Technik zur Bestimmung von chemischen Strukturen:

Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_magnetic_resonance_spectroscopy

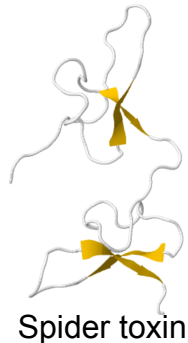
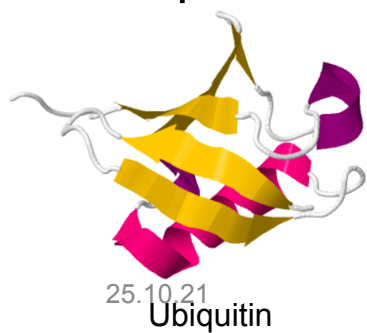
Ethanol



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

https://en.wikipedia.org/wiki/Blood_alcohol_content

Beispiele für NMR Proteinstrukturen:



<http://www.rcsb.org/>

Prof. Dr. Jan Lipfert



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

Fluoreszenz-Mikroskopie: Kombination aus Chemie (Farbstoffe) und Physik (Optik) um biologische Fragen zu beantworten!

Chemienobelpreis 2014

The Nobel Prize in Chemistry 2014



Photo: Matt Staley/HHMI

Eric Betzig

Prize share: 1/3



© Bernd Schuller, Max-Planck-Institut

Stefan W. Hell

Prize share: 1/3



Photo: K. Lowder via Wikimedia Commons, CC-BY-SA-3.0

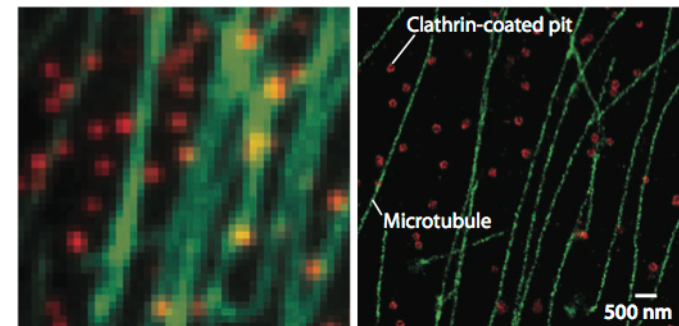
William E. Moerner

Prize share: 1/3

The Nobel Prize in Chemistry 2014 was awarded jointly to Eric Betzig, Stefan W. Hell and William E. Moerner "for the development of super-resolved fluorescence microscopy".

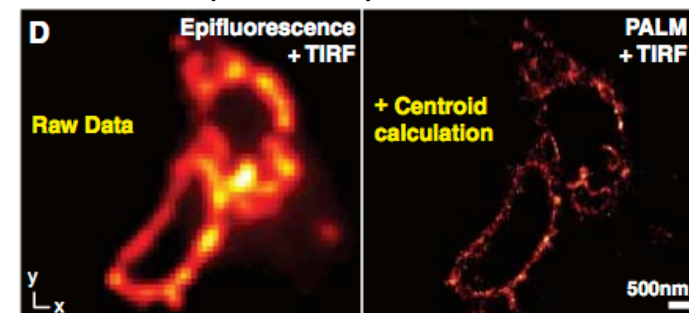
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2014/

Microtubuli mit „normaler“ (links) und „super-resolution“ (rechts) Bildgebung



Bates, et al. *Science* (2007)

Beispiel für „super-resolution“
Bild (rechts) einer Zelle:



Betzig et al. *Science* (2006)

Cryo-Elektronenmikroskopie zur Aufklärung der Struktur von biologischen Makromolekülen

Chemienobelpreis 2017

The Nobel Prize in Chemistry 2017



© Nobel Media. Ill. N. Elmehed
Jacques Dubochet
Prize share: 1/3



© Nobel Media. Ill. N. Elmehed
Joachim Frank
Prize share: 1/3

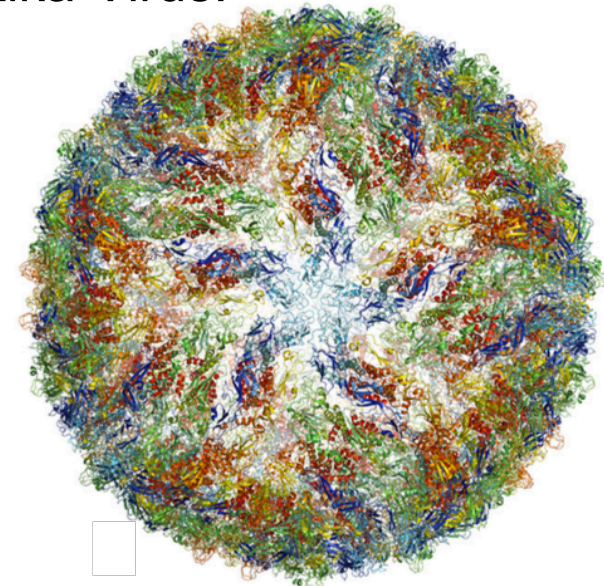


© Nobel Media. Ill. N. Elmehed
Richard Henderson
Prize share: 1/3

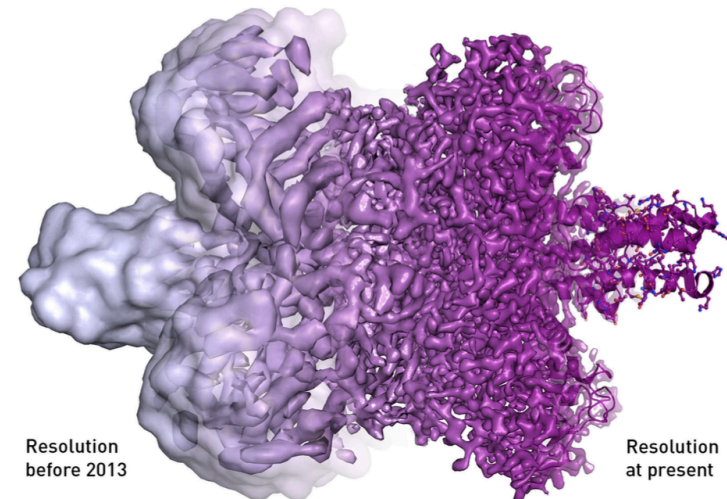
The Nobel Prize in Chemistry 2017 was awarded to Jacques Dubochet, Joachim Frank and Richard Henderson *"for developing cryo-electron microscopy for the high-resolution structure determination of biomolecules in solution"*.

https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2017/

z.B. Zika-Virus:



„Resolution Revolution“:



Resolution
before 2013

Resolution
at present

Physikalische Notation: Schreibweise in Zehnerpotenz

$$10^0 = 1$$

$$10^1 = 10$$

$$10^2 = 100$$

$$10^3 = 1000$$

$$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0,1$$

$$10^{-2} = \frac{1}{100} = 0,01$$

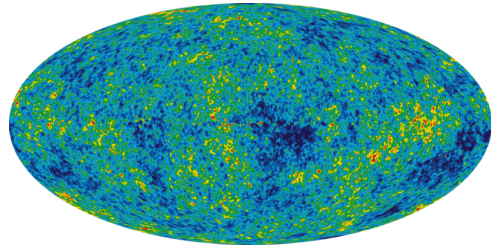
etc.

z.B. $3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Vorsätze für Maßeinheiten

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

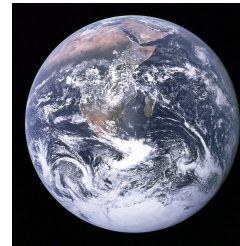
Längenskalen (groß)



<http://abenteuer-universum.de/kosmos/urknall2.html>

Größe des Universums
 10^{27} m

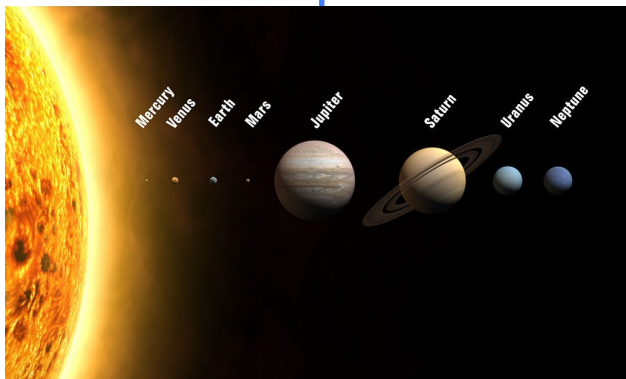
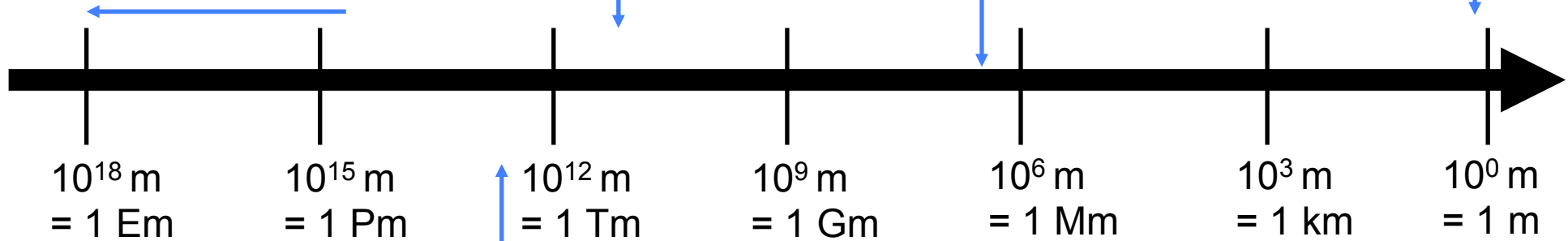
Abstand Sonne-Erde
 10^{11} m



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

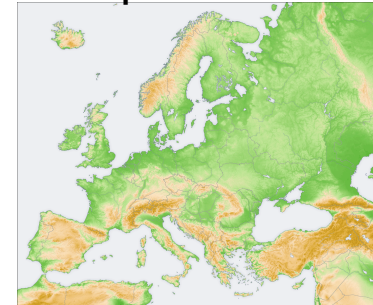
Erdradius
6000 km

Mensch



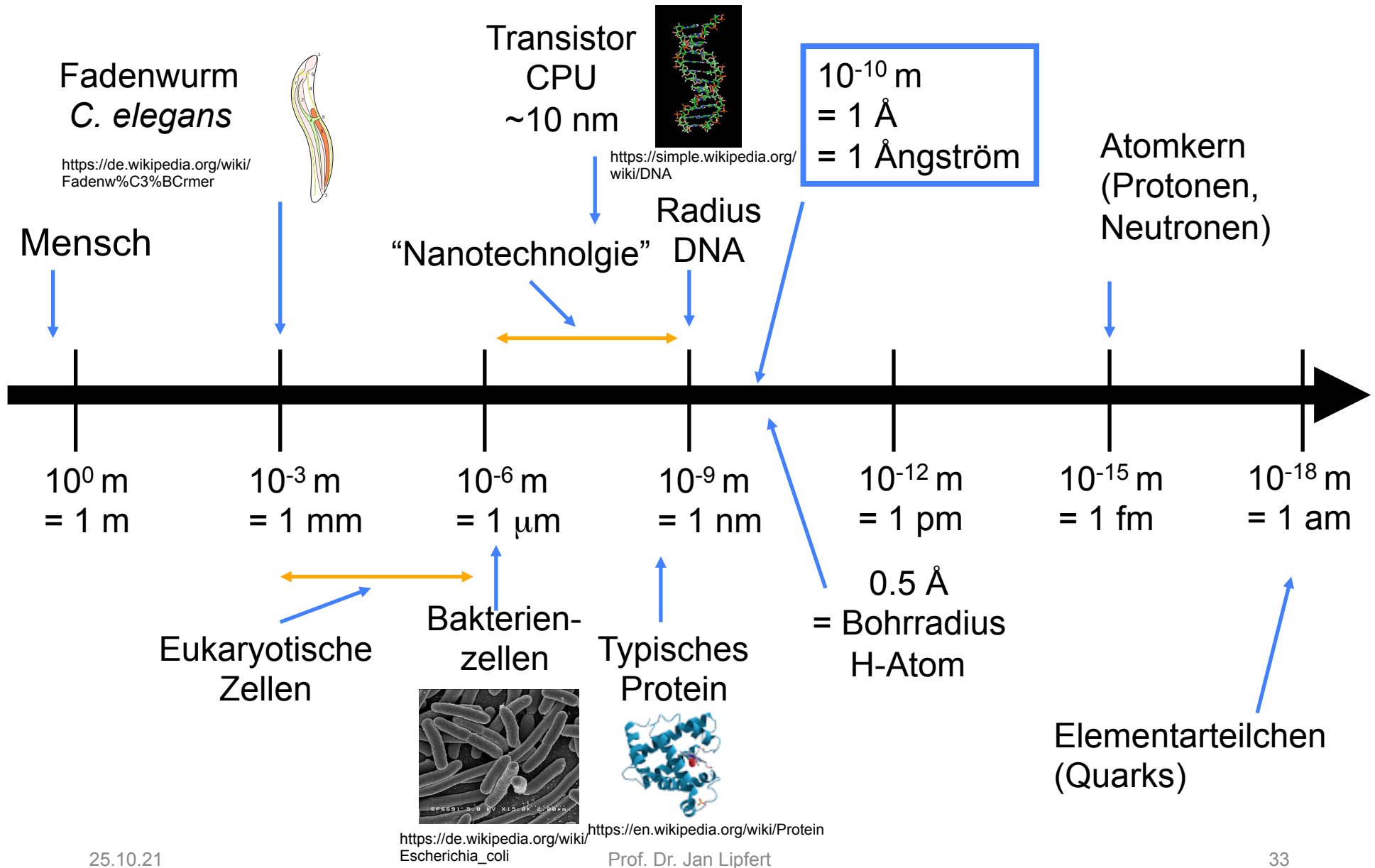
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Planets2013.jpg>

Europa Nord-Süd ~3000 km



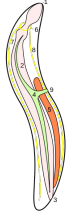
https://de.wikipedia.org/wiki/Vorlage:Positionskarte_Europa

Längenskalen (klein)



Fadenwurm
C. elegans

<https://de.wikipedia.org/wiki/Fadenw%C3%BCrmer>



Transistor
CPU
 ~ 10 nm



<https://simple.wikipedia.org/wiki/DNA>

10^{-10} m
= 1 Å
= 1 Ångström

Atomkern
(Protonen,
Neutronen)

Mensch

“Nanotechnologie”
Radius DNA

10^0 m
= 1 m

10^{-3} m
= 1 mm

10^{-6} m
= 1 μ m

10^{-9} m
= 1 nm

10^{-12} m
= 1 pm

10^{-15} m
= 1 fm

10^{-18} m
= 1 am

Eukaryotische
Zellen

Bakterien-
zellen

Typisches
Protein

0.5 Å
= Bohrradius
H-Atom

Elementarteilchen
(Quarks)



https://de.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli



<https://en.wikipedia.org/wiki/Protein>

Zeitskalen

