

Physik für Pharmazeuten

Sommersemester 2011

Prof. Dr. Lutz Schweikhard

Institut für Physik

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Tel. (Skr.) 03834-86-4700

<http://www6.physik.uni-greifswald.de/>

=> „teaching“ => <http://www6.physik.uni-greifswald.de/lectures.html>

(Details auf dieser Seite im Laufe des Semesters)

Literatur 1

Haas: „Physik für Pharmazeuten und Mediziner“,
Wissensch. Verlagsges., Stuttgart, 6. Aufl., 2002

Trautwein/Kreibig/Oberhausen: „Physik für Mediziner“, deGruyter, Berlin

Kamke/Walcher: „Physik für Mediziner“, Teubner, Stuttgart

Harten: „Physik für Mediziner“, Springer-Verlag

Jahrreiß/Neuwirth: „Einführung in die Physik“, Deutscher Ärzte-Verlag

Seibt: „Physik für Mediziner“, Chapman & Hall

Hellenthal: „Physik für Mediziner und Biologen“, Wissensch. Verlagsges.,
Stuttgart

Fercher: „Medizinische Physik“, Springer-Verlag \neq Physik für ...

Schulbücher, Schülerduden, „Tafelwerk“, ...

dtv-Atlas Physik Bd. 1 und 2 (viele Abbildungen !)

Lexika, www.wikipedia.de, Google.de, ...

Bücher „für Bachelor- und Nebenfachstudium“

z.B. Halliday Physik, Bachelor Edition

Literatur 2

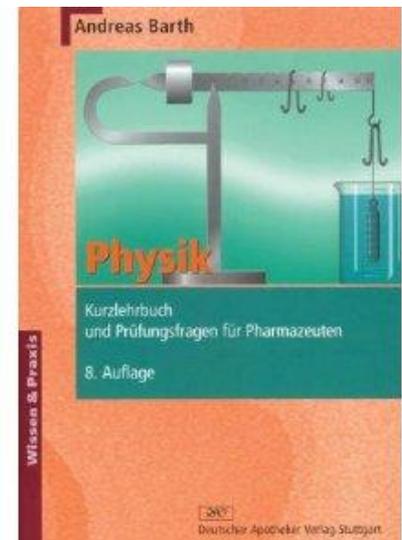
Ulrich Haas: „Physik für Pharmazeuten und Mediziner“,
Wissensch. Verlagsges., Stuttgart, 6. Aufl., 2002
ISBN-10: 380471823X, ISBN-13: 978-3804718234 54,- €
Im Paket mit CD „Pharma-Trainer“ (gibt es nicht einzeln!) 59,- €

Insgesamt angelehnt an die **Gegenstandskataloge (gkg)** für den
Ersten Abschnitt der Pharmazeutischen Prüfung
bzw. der **Ärztliche Vorprüfung** (<http://www.impp.de/index.php?id=11>)
Wird herausgegeben vom **IMPP** (www.impp.de),
Institut für Medizinische und Pharmazeutische Prüfungsfragen.

Bitte **Einleitung und Grundlagen der Physik, [...] anschauen!**
(für Pharmazeuten: S. 45-63,
<http://www.impp.de/pdf/gkp.pdf>)

Für Pharmazeuten:
kostenlose **CD** von **radiopharm** bei der Fachschaft

A. Barth, K.-D. Ziegengeist
Physik. Kurzlehrbuch und Prüfungsfragen für Pharmazeuten
Deutscher Apotheker Verlag, 8. Aufl., 2005



aus Einführung des gkg ... pharm. Prüf. 1

Für das Erfassen naturwissenschaftlich-technischer Zusammenhänge sind einige mathematische Kenntnisse und Fertigkeiten im Umgang mit einfachen Formeln erforderlich. Aus der Mathematik-Ausbildung in der Sekundarstufe sollten sie in der Regel bei Studienaufnahme vorhanden sein; ...

A Allgemeine Grundlagen und elementare Funktionen

1. Grundrechnungsarten, Bruchrechnung und Potenzrechnung
2. Einfache Funktionen und deren graphische Darstellung: Potenzfunktion (auch Wurzelfunktion), Winkelfunktion, Exponentialfunktion
3. Dekadischer und natürlicher Logarithmus
4. Anwendung linearer und logarithmischer Darstellung (lin. und log. Koordinaten)

B Vektoren

1. Addition und Komponentenerlegung von Vektoren (graphisch)
2. Skalarprodukt (Prinzip)
3. Vektorprodukt

C Differentialrechnung

1. Geometrische Bedeutung des Differentialquotienten
2. Differentiation der unter A 2. genannten Funktionen

D Integralrechnung

1. Geometrische Bedeutung des Integrals
2. Integration als Umkehrung der Differentiation (Prinzip)

Mathematik

„Keine menschliche Forschung kann man wahre Wissenschaft heißen, wenn sie ihren Weg nicht durch die mathematische Darlegung und Beweisführung hin nimmt. Sagst du, die Wissenschaften, die von Anfang bis zum Ende im Geiste bleiben, hätten Wahrheit, so wird dies nicht zugestanden, sondern verneint aus vielen Gründen, und vornehmlich deshalb, weil bei solchem reingeistigen Abhandeln die Erfahrung (oder das **Experiment**) nicht vorkommt; ohne dies aber gibt sich kein Ding mit Sicherheit zu erkennen.“

Leonardo da Vinci, 1452 - 1519



„Ohne Mathematik lassen sich die Naturwissenschaften weder verstehen noch erklären, weder lehren noch erlernen.“

Roger Bacon, ca. 1214 - 1292



„Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben.“
Galileo Galilei, 1564 - 1642

Mathematik-Bücher

„Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben.“
Galileo Galilei (erster „Experimentalphysiker“, 1564 - 1642)

=> **Wiederhole (oder lerne endlich ;-) Mathe!**
(Vieles ist „nur“ Rechnen!)

Werner Poguntke
Keine Angst vor Mathe,
Hochschulmathematik für Einsteiger
3. Aufl., 2008, Vieweg+Teubner

bzw. viele weitere Titel:

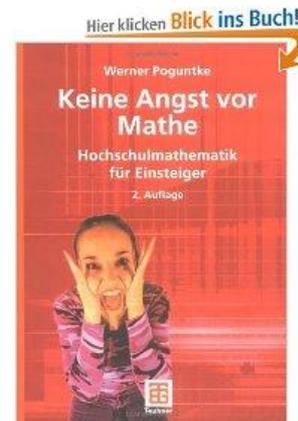
„Mathematik-Vorkurs“, „Mathematischer Vorkurs“, „Brückenkurs
Mathematik“, „Starthilfe Mathematik“, ...

Kurzfassungen oft in Anhängen von Physikbüchern!

Schulbücher, Schülerduden, „Tafelwerk“, ...

Lexika, www.wikipedia.de, Google.de, ...

Hier klicken **Blick ins Buch!**



Lernmaterialien allgemein

„**Nobody is perfect!**“

Das gilt für
die mündliche Rede,
an der Tafel Skizziertes,
elektronische Präsentationen,
Skripte, Bücher, ...

Daher: Nicht alles glauben!

„Disclaimer“: Die vorliegende Präsentation
beruht auf früheren Skripten und stetiger
Weiterbearbeitung, d.h. alte Fehler werden
durch neue ersetzt ;-)

daher gilt:

Vorsicht !
Ohne Gewähr !

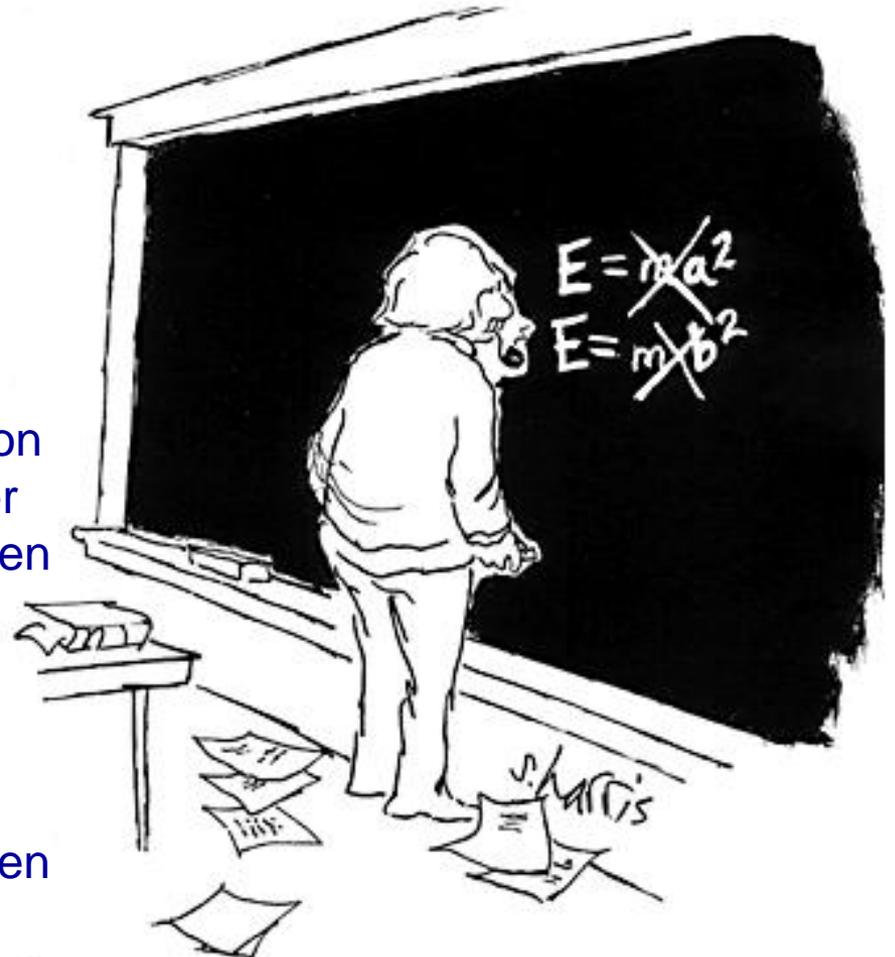
Dazu kommt:

Es gibt unterschiedliche Voraussetzungen
und verschiedene Lernstile.

Nicht jedes Buch (allg. Lernmaterial) ist für jeden gleich gut geeignet!

Daher: Suche am Besten das jeweils Beste selbst!

(in der Bibliothek/Buchhandlung, im Internet, bei „höheren Semestern“, ...)



aus Einführung des gkg ... pharm. Prüf. 2

Im allgemeinen werden Zahlenwerte von Konstanten in den Prüfungsaufgaben mit der für die Rechnung erforderlichen Genauigkeit angegeben, einige sollten aber bekannt sein (Allgemeinwissen für einen Naturwissenschaftler). Sie sind in der folgenden Liste zusammengestellt. Soweit im Aufgabentext nicht ausdrücklich anders angegeben, ist die Genauigkeit dieser gerundeten Werte hinreichend:

A Reine Zahlenwerte

π	\approx	3,14
π^2	\approx	10
e	\approx	2,7
1/e	\approx	0,37
$\sqrt{2}$	\approx	1,4

B Physikalische Größen

1. Fallbeschleunigung g	$\approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
zur Abschätzung reicht hier:	$\approx 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
2. Dichte des Wassers	$\approx 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
3. Absoluter Nullpunkt	$= 0 \text{ K} \approx -273 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Schmelzenthalpie von Wasser	$\approx 330 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$
5. Verdampfungsenthalpie von Wasser	$\approx 2200 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$
6. Allgemeine Gaskonstante R	$\approx 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
7. Elementarladung	$\approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
8. Faraday-Konstante F	$\approx 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
9. Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$\approx 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
10. Avogadro-Konstante N_A	$\approx 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
11. Molvolumen V_m	$\approx 22,4 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\sin 0$	$=$	$\cos 90^\circ$	$=$	0
$\sin 90^\circ$	$=$	$\cos 0$	$=$	1
$\sin 30^\circ$	$=$	$\cos 60^\circ$	$=$	0,5
$\tan 45^\circ$	$=$	1		

Aus „Pythagoras“
folgt weiter sofort

$$\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

und $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$

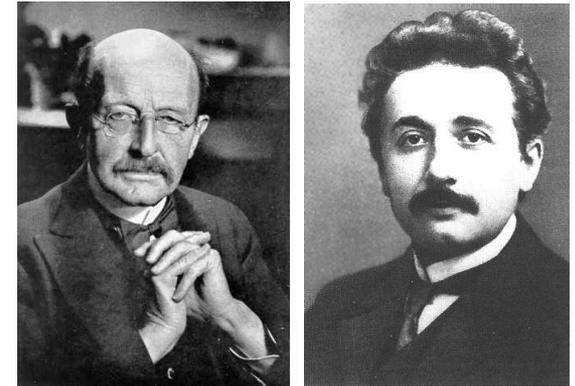
Beachte Redundanzen, wie z.B. hier $F = N_A \cdot e$

Physik, Versuch einer Definition

Physik ist die Wissenschaft vom **Aufbau** und der **Bewegung** der (unbelebten wie belebten) Materie, den **Kräften**, die die Bewegung hervorrufen, und den **Feldern**, die die Kraftwirkungen vermitteln

„**Klassische Physik**“
(bis etwa 1900)

- **Mechanik**
- **Wärmelehre**
- **Elektrizitätslehre**
- **Optik**
-



„**Moderne Physik**“:

- **Quantenphysik (1900: Max Planck)**
- **Spez./allg. Relativitätstheorie (1905/1915: Albert Einstein)**

Plasmaphysik

Astrophysik/Kosmologie

Nichtlineare Systeme

Festkörperphysik

Atomphysik

Kernphysik

und viele mehr...

Molekülphysik

(Grobe) Übersicht der Vorlesung

- Einleitung
- Mechanik
 - „Punktmechanik“, starrer Körper
 - Mechanik der Kontinua (Flüssigkeiten, Gase)
- Schwingungen und Wellen (Akustik)
- Wärmelehre (Thermodynamik)
- Elektrizität und Magnetismus
- Optik
- Atom- und Kernphysik

Beachte:

- Die Übergänge sind oft fließend.

Beispiel: Schwingungen und Wellen kommen in der Akustik und bei „Elektrizität und Magnetismus“ vor.

- Bei Erklärungen der Phänomene wird zwischen klassischer (makroskopischer) und mikroskopischer Beschreibung hin- und hergesprungen.

Warum Physik für „Nicht-Physiker“?

Am Beispiel der Medizin

Die Medizin

war zu jeder Zeit eng verbunden mit
physikalischen, chemischen und biologischen,
naturwissenschaftlichen
Erscheinungen

Helmholtz



Teil der allgemeinen **Lehre von der Natur**.
Siehe z.B. im 19. Jhdt.:

H. v. Helmholtz	1821-1894	Augenspiegel
R. Mayer	1814-1878	Energiesatz
J.L.M. Poiseuille	1799-1869	Blutströmung
J.W. v. Goethe	1749-1832	anatomische und physikalische/(sinnes-) physiologische Studien (Farbenlehre)

Warum Physik für „Nicht-Physiker“?

Ab Mitte des 19. Jhdt. zunehmend Verzicht auf die Beschreibung des Lebenden (d.h. der speziellen Phänomene des Lebens; die Anwendbarkeit auf Lebewesen bleibt dabei erhalten!)

Vereinfachung bei der Beschreibung von Naturvorgängen

gleichzeitig Übergang von einer phänomenologischen (qualitativen: groß/klein; komparativen: größer/kleiner) zur **quantitativen Beschreibung** (3,5 km; 5,2 mm)

Spezialisierung

(in Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre, Optik, ...)

Aber:

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Naturwissenschaften einschließlich der Medizin existieren nur im **Makroskopischen** und verschwinden im **Mikroskopischen**

Diagnostik- und Therapieverfahren

- Ultraschall
- Thermographie
- EKG, EEG, MKG, MEG, ...
- Diathermie
- Elektrostimulation
- Elektrophorese
- Mikroskopier-Verfahren
- Laserchirurgie
- Röntgendiagnostik, -therapie, -strukturanalyse
- Computertomographie
- Kernspintomographie (Nobelpreis 2003, „Magnetic Resonance Imaging“)
- radioaktive „Tracer“(-Isotope)
- Positronen-Emissions-Tomographie
- ...

Physikalische Arbeitsmethoden

Induktive Methode:

von Einzelercheinungen zum allgemeinen Gesetz

(Vollst. Induktion nur in der Mathematik; in Naturwiss. keine „Beweise“
Experimente führen zu Falsifikation oder Bestätigung, keine Verifikation.)

Deduktive Methode:

vom allgemeinen Gesetz oder Axiom zu den Einzelercheinungen

Induktive Methode:

Beobachtung eines Vorgangs



Experiment zur qualitativen und quantitativen Untersuchung des Vorgangs



Modell zur Beschreibung des Vorgangs (und evtl. weiterer)



Gesetz (Verallgemeinerung auf ähnliche Fälle)

1.1 aus gkg ... pharm. Prüf.

Kapitel: Grundlagen der Physik, der physikalischen Chemie und der Arzneiformenlehre

1 Allgemeines

1.1 Physikalische Größen und Einheiten

1.1.1 Physikalische Größen: Darstellung mittels Einheit und Maßzahl

1.1.2 Einheiten: Kenntnis der 7 Basisgrößen und Basiseinheiten des SI (Système International d'Unités); abgeleitete Einheiten:

Zusammenhang mit den Basiseinheiten über die Definitionsgleichung der abgeleiteten Größe; in Literatur und Praxis verbreitete Einheiten aus anderen Maßsystemen, z.B.: °C, eV, bar, cal

1.1.3 Vielfache und Bruchteile von Einheiten: Vorsätze für dezimale Teile und Vielfache

1.1.4 Skalare und vektorielle Größen: Unterscheidung; Einordnung der von dieser Prüfungsstoffsammlung abgedeckten physikalischen Größen

Physikalische (Basis-)Größen

Physikalische Größe a ist Produkt aus Zahlenwert $\{a\}$ und der Einheit $[a]$.

$$a = \{a\} \cdot [a]$$

Beispiel: $l = 35 \text{ km}$, also $\{a\} = 35$ und $[a] = \text{km}$

physik. Größe Länge (l)

Abk. *kursiv*

Zahlenwert: 35

Vorsatz k

Einheit Meter (m)

Abk. nicht kursiv

SI-System:

Basisgröße	Einheit	Symbol	Vorsatz	Symbol	Faktor
Länge	Meter	m	nano	n	$10^{-9} = 1 / 1.000.000.000$
Zeit	Sekunde	s	mikro	μ	$10^{-6} = 1 / 1.000.000$
Masse	Kilogramm	kg	milli	m	$10^{-3} = 1 / 1000$
Temperatur	Kelvin	K	centi	c	$10^{-2} = 1 / 100$
Stromstärke	Ampere	A	hekto	h	$10^2 = 100$
Stoffmenge	Mol	mol	kilo	k	$10^3 = 1000$
Lichtstärke	Candela	cd	mega	M	$10^6 = 1.000.000$
			giga	G	$10^9 = 1.000.000.000$

Hausaufgaben

„Hausaufgaben“:

- Wie heißen die Vorsätze für noch größere und noch kleinere Zehnerpotenzen?
- Wie heißen und wie schreibt man die Buchstaben des griechischen Alphabets?

Bitte kontinuierlich über das ganze Semester lernen.
Es ist viel Stoff, der nicht kurzfristig vor den Prüfungen „gepaukt“ werden kann.

Lesen Sie nach !
Planen Sie feste Zeiten für Physik ein !

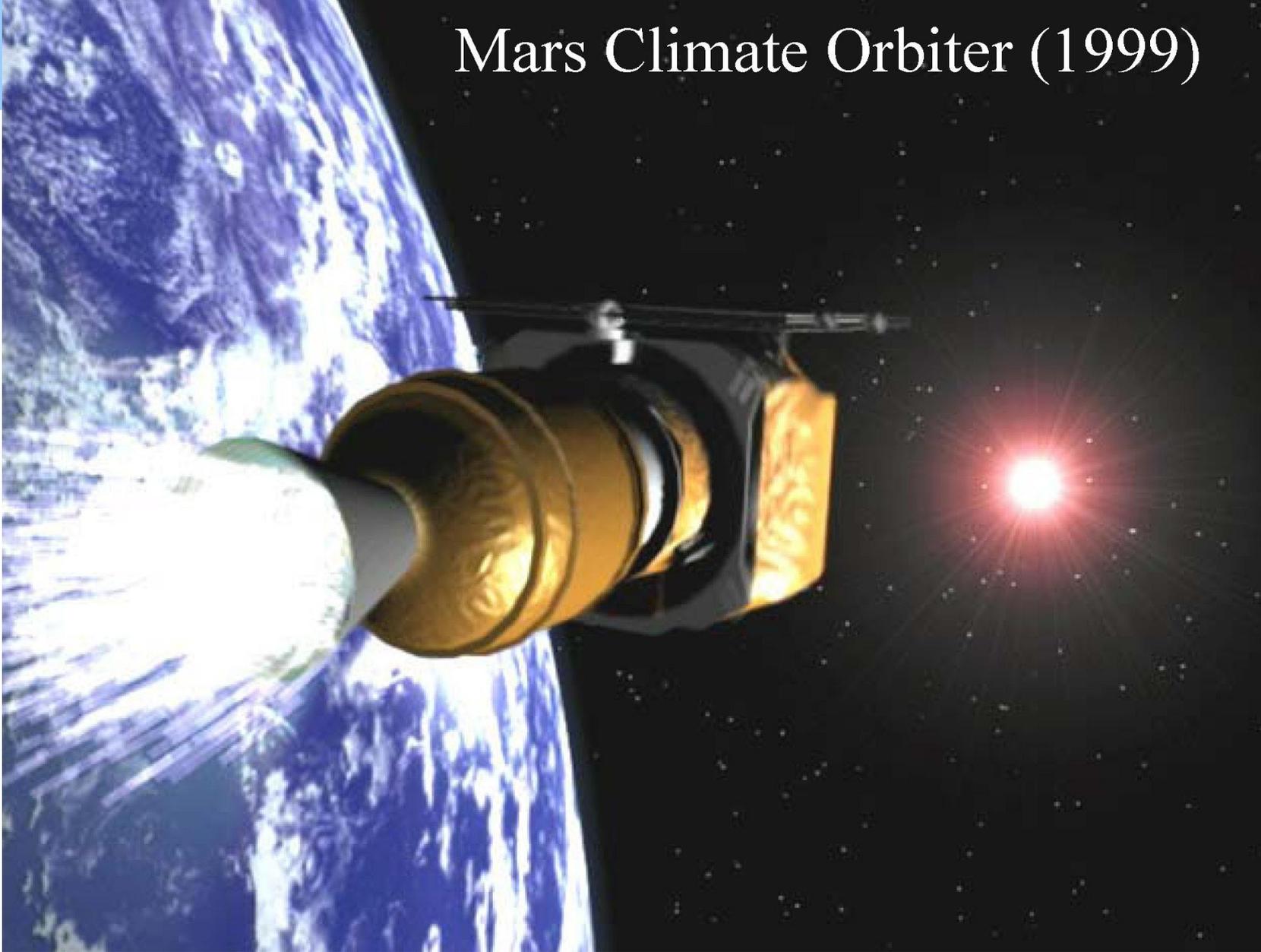
Und vor allem:

Verstehen ist besser als Auswendiglernen !

(auch wenn einiges trotzdem auch auswendig gelernt werden muss, siehe oben, Symbole für Größen und Einheiten und ihre Vorsätze)

Mars Climate Orbiter (1999)

NASA-
Sonde
zum
Mars
ging
aufgrund
eines
**Einheiten-
fehlers**
verloren



Impulse bei NASA im SI-System ausgedrückt, in Navigationssoftware des Herstellers Lockheed Martin im „imperialen System“ => in Marsatmosphäre verglüht !

Griechisches Alphabet

Hier schon mal
die Buchstaben des griechischen Alphabets:

A	α	alpha	I	ι	iota	P	ρ	rho
B	β	beta	K	κ	kappa	Σ	σ	sigma
Γ	γ	gamma	Λ	λ	lambda	T	τ	tau
Δ	δ	delta	M	μ	m	Υ	υ	psilon
E	ϵ	epsilon	N	ν	n	Φ	ϕ	phi
Z	ζ	zeta	Ξ	ξ	xi	X	χ	chi
H	η	eta	O	o	omicron	Ψ	ψ	psi
Θ	θ	theta	Π	π	pi	Ω	ω	omega

Zusammengesetzte Größen

Beispiele von (aus Basisgrößen) zusammengesetzte Größen:

Geschwindigkeit: Weg (besser Ortsänderung) pro Zeit

Ableitung der Ortsfunktion nach der Zeit

Beachte: Im Allg. sind Ort und damit auch

Geschwindigkeit **Vektoren**.

Unterscheide: Geschwindigkeit (velocity)

und Bahngeschwindigkeit (speed)

Beschleunigung: Geschwindigkeitsänderung pro Zeit

Siehe Bemerkungen bei Geschwindigkeit

Impuls: Masse mal Geschwindigkeit

Kraft: Masse mal Beschleunigung

Ableitung des Impulses nach der Zeit

Arbeit: Kraft mal „Weg“

Beachte: Arbeit ist ein **Skalar**.

Kraft und Ortsänderung sind Vektoren, daher **Skalarprodukt**;

und bei veränderlicher Kraft muss **integriert** werden.

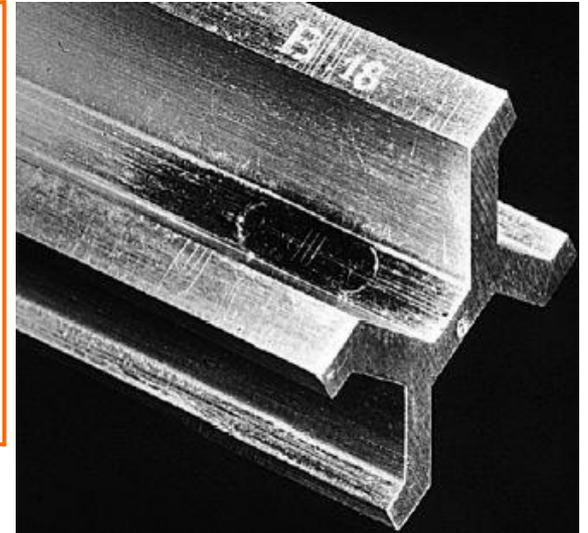
Definition Meter und Sekunde

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist eine zentrale Größe. Sie hat *per definition* den **exakten** Wert **$c = 299\,792\,458\text{ m/s}$** .

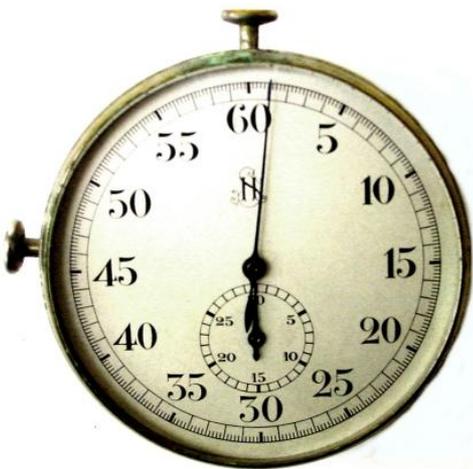
Der Meter

(DAS Meter ist ein Messgerät, z.B. das Barometer, das Amperemeter, ...)

ist definiert über die Sekunde und c als die Strecke, die Licht im Vakuum in $1/299.792.458$ Sekunden zurücklegt.



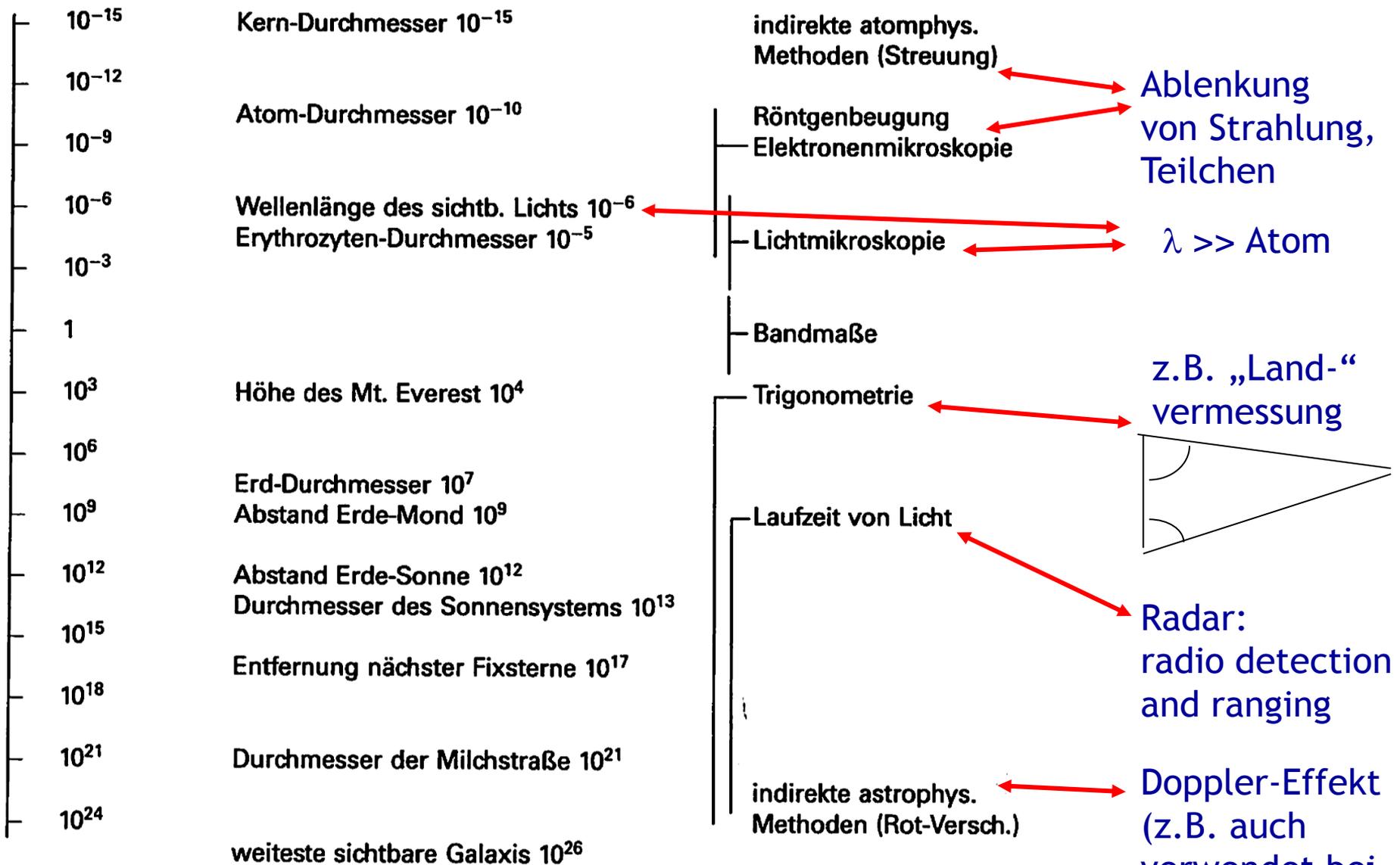
Alte Definition: Das Urmeter in Paris



6 cm

Eine Sekunde ist das 9.192.631.770-fache der Periodendauer der von Atomen des Nuklids ^{133}Cs ausgesandten Strahlung beim Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes.

Größenordnungen Längen



Siehe auch den Film „Zehn Hoch“ (Powers Of Ten)
 z.B. unter <http://www.youtube.com/watch?v=eY5DZDIY6KM>

Größenordnungen Zeiten und Massen

Massen in kg

Zeiten
In Sekunden

10^{-23}

Lebensdauer kurzlebiger
Elementarteilchen 10^{-23}

10^{-15}

Schwingungsdauer von
sichtbarem Licht 10^{-15}

10^{-12}

10^{-9}

Lebensdauer von angeregten
Zuständen in Atomen 10^{-9}

10^{-6}

10^{-3}

Dauer eines Blitzes 10^{-3}

1

Pulsschlag

10^3

10^6

1 Jahr $3 \cdot 10^7$

10^9

Menschenalter 10^9

10^{12}

Alter der Menschheit 10^{14}

10^{15}

10^{18}

Alter der Milchstraße 10^{18}

10^{-30}

Elementarteilchen (Elektron)
Atome ($10^{-26} - 10^{-25}$)

10^{-24}

10^{-18}

Makromoleküle

10^{-12}

rotes Blutkörperchen

10^{-6}

1

Auto
Lokomotive

10^6

10^{12}

10^{18}

Mond ($7 \cdot 10^{22}$)
Erde ($6 \cdot 10^{24}$)

10^{24}

10^{30}

Sonne ($2 \cdot 10^{30}$)

Gleichungen

Am Beispiel des Fallgesetzes:

Größengleichung:

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

g = Beschleunigung fallender Körper
in der Nähe der Erdoberfläche
(ca. 10 m/s^2 , „ $9,81 \text{ m/s}^2$ “)

Zahlenwertgleichung:

$$s = 4,905 \cdot t^2$$

Vorsicht!!! Nur gültig bei Verwendung bestimmter Einheiten,
hier: t in Sekunden und s in Metern

- Dieser Gleichungstyp wird in der Physik möglichst vermieden.
- Im Gegensatz zur Größengleichung erkennt man die Herkunft nicht.
(Wo kommt das $\frac{1}{2}$ in der Größengleichung her?)
- Zahlenwertgleichungen können bei Bedarf mithilfe der entsprechenden Konstanten aus den Größengleichungen leicht abgeleitet werden.

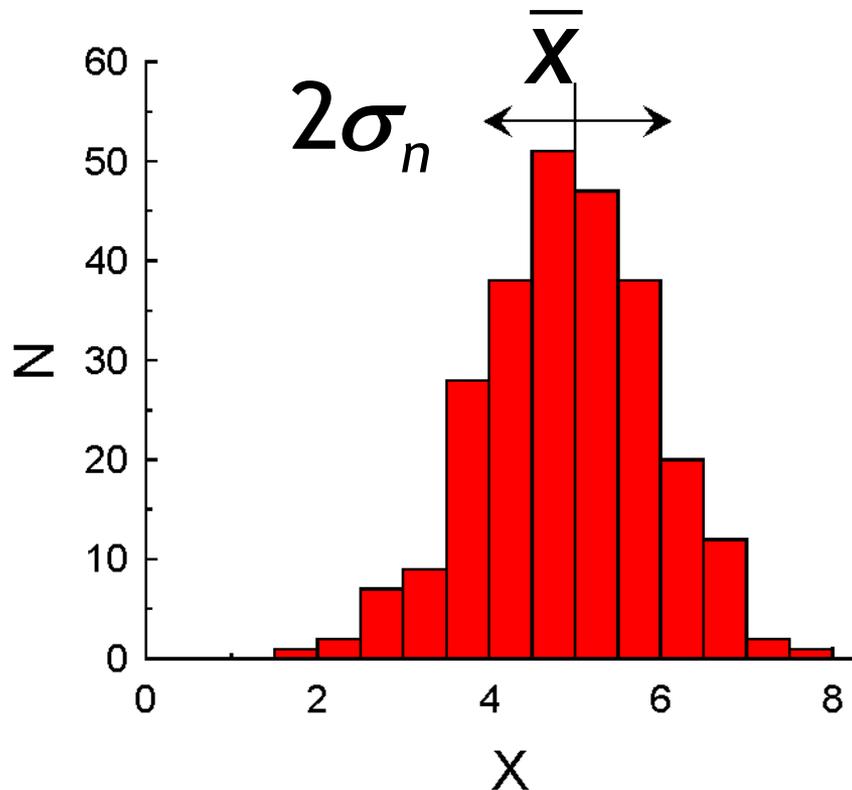
Messunsicherheiten/„Fehlerrechnung“

(**Grober Fehler:** z.B. Verletzung der Meßvorschriften)

Messunsicherheiten ergeben sich durch

- **Systematische Abweichungen:** treten immer in bestimmter Richtung auf
- **zufällige Abweichungen:** Richtung und Betrag statistisch verteilt

Histogramm (Balkendiagramm):



Mittelwert
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

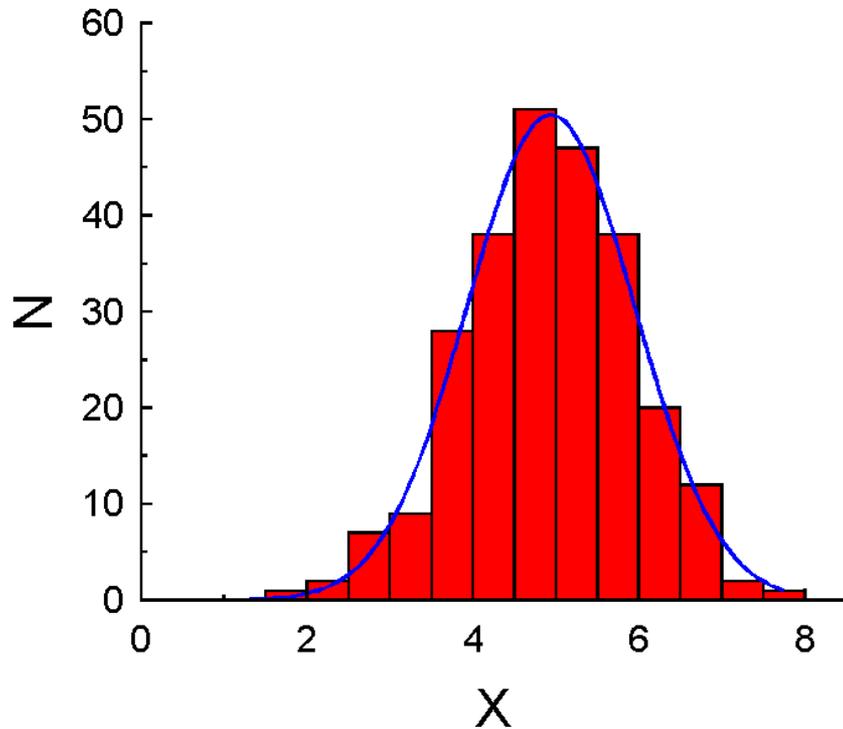
Standardabweichung

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

Standardabweichung des Mittelwerts

$$\sigma_{\bar{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}$$

Gauß-Verteilung



Die Definitionen der vorhergehenden Folie sind insb. sinnvoll bei der häufig auftretenden Gaußverteilung

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right)$$

Siehe auch die Formel auf den alten Zehn-Mark-Scheinen!

$$[\bar{x} - 1\sigma, \bar{x} + 1\sigma]$$



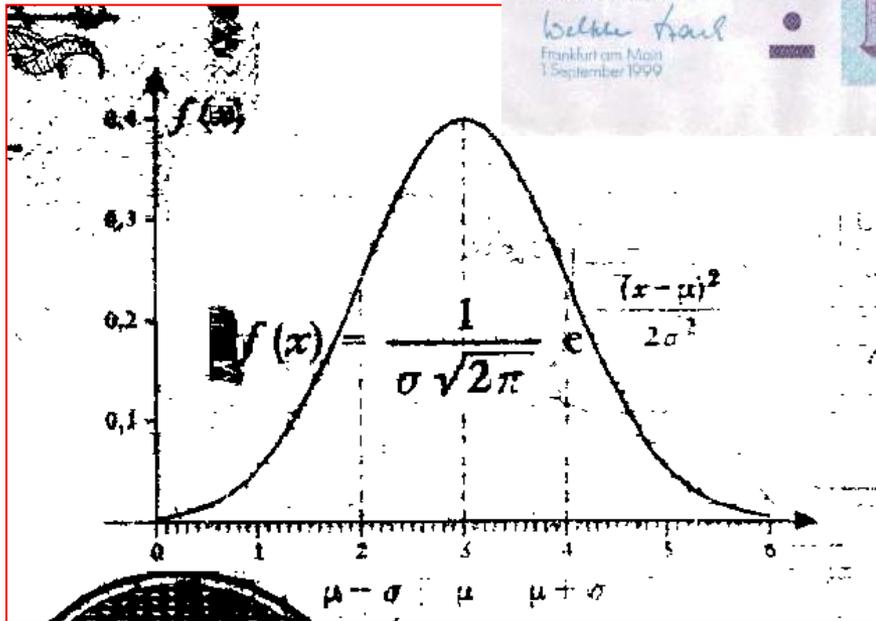
ca. 68 % statistische Sicherheit

$$[\bar{x} - 1.96\sigma, \bar{x} + 1.96\sigma]$$



ca. 95 % statistische Sicherheit

Gauß auf 10-DM-Schein



Gaußsche
„Glockenkurve“

„Fehlerfortpflanzung“

Auch wenn dies oft übergangen wird (auch in dieser Vorlesung):
Jede Messgröße hat eine Messunsicherheit, oft angegeben mit einem „Sigma-Wert“. Wenn nun mehrere Messgrößen zu einem neuen Wert kombiniert werden, stellt sich die Frage nach der Unsicherheit des Kombinationswertes. Bei Gauß-Verteilungen gilt:

zu bestimmende Größe $z = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$

mit Unsicherheiten $\sigma_1, \dots, \sigma_k$
der Eingangsgrößen x_1, \dots, x_k $f(x_1 \pm \sigma_1, x_2 \pm \sigma_2, \dots, x_k \pm \sigma_k)$

Unsicherheit der zu bestimmenden Größe

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_k}\right)^2 \sigma_k^2}$$

Gaußsches „Fehlerfortpflanzungsgesetz“

1.2 aus gkg ... pharm. Prüf.

1.2 Physikalische Messungen

(wird insb. im Physikalischen Praktikum behandelt)

1.2.1 Graphische Darstellungen: Anfertigung, Gebrauch und Auswertung graphischer Darstellungen; Anwendung linearer und logarithmischer Skalen

1.2.2 Unsicherheiten, Fehler: Unsicherheiten von Messungen, systematische Fehler, zufällige Fehler, Unsicherheiten bei Zählungen statistischer Ereignisse (s.a. PhAna 1.2.2)

1.2.3 Auswertung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten: Graphische Darstellung mit Unsicherheitsbalken; absolute und relative Unsicherheiten (Fehler); Bestimmung der maximalen Unsicherheit einer aus mehreren Messgrößen zusammengesetzten Größe aus den einzelnen Messfehlern; arithmetischer Mittelwert bei Messreihen

1.2.4 Messgeräte und ihr Gebrauch: Gebrauch von Maßstäben, Messschiebern (Schieblehren), Uhren, Zählern, Thermometern, Manometern, Messgeräten für elektrische Stromstärke und Spannung, Oszilloskopen; Messunsicherheit bei digital anzeigenden Messgeräten