

Physik für Umweltwissenschaftler, Biologen und Humanbiologen

Dr. Jean-Pierre van Helden

Institut für Physik

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V.
(INP Greifswald)

Übersicht der Vorlesung

Experimentalphysik I (UW) / Physik I (WS 2017/2018)

- Einleitung
- Mechanik
 - „Punktmechanik“, Mechanik des starren Körpers
 - Mechanik der Kontinua (Flüssigkeiten, Gase)
- Wärmelehre
 - Thermodynamik
 - Kinetische Gastheorie

Experimentalphysik II (UW) / Physik II (SS 2018)

- 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

Termine Vorlesungen / Übungen

Einzeltermine Di. 8:00-10:00

17.10.2017, 24.10.2017, 07.11.2017, 14.11.2017, 21.11.2017, 28.11.2017,
05.12.2017, 12.12.2017, 19.12.2017, 09.01.2018, 16.01.2018, 23.01.2018,
30.01.2018

Übungen für Umweltwissenschaftler

Herr Jacob Zalach

Jeden Mittwoch ab 18.10.2017 bis 31.01.2018,
12:00 -14:00 Hörsaal Physik

Übungen für Biologen und Humanbiologen

Herr Dr. Sebastian Nemschokmichal

Jeden Donnerstag, ab 19.10.2017 bis 01.02.2018,
15:00 – 16:30 Hörsaal Physik

Einleitung

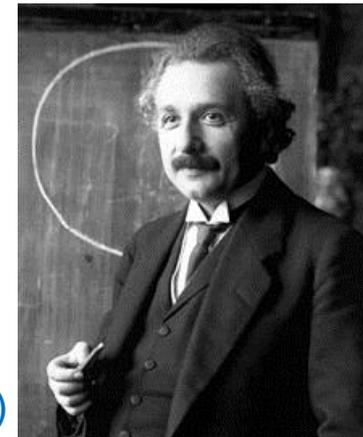
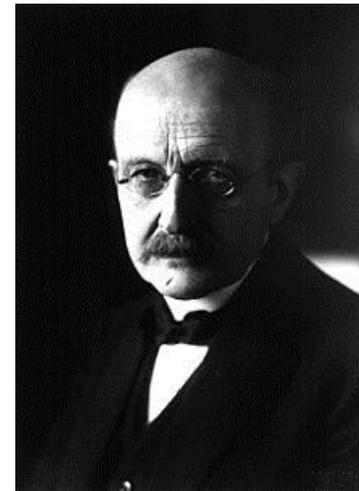
Physik, Versuch einer Definition

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“

Beginn 1687: Erscheinung *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie)

- Mechanik
- Wärmelehre
- Elektrizitätslehre
- Optik
- ...



„Moderne Physik“

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

Fachbereiche der Physik

- Plasmaphysik
- Festkörperphysik
- Grenz- und Oberflächenphysik
- Astrophysik/Kosmologie
- Atomphysik
- Kernphysik
- Quantenoptik
- Halbleiterphysik
- Weiche Materie
- Medizinphysik
- Umweltphysik
- Biomedizinische Bildgebung
- Biophysik

- Und viele mehr....

Warum Physik für „Nicht-Physiker“?

Klassische Naturwissenschaften: Chemie, Physik, Biologie

Am Beispiel der Biologie:

Die Biologie war zu jeder Zeit eng verbunden mit physikalischen und chemischen und medizinische naturwissenschaftlichen Erscheinungen

Teil der allgemeine Lehre von der Natur.

Siehe z.B. im 19 Jhdt.:

H. von Helmholtz (1821-1894)

J.L.M. Poiseuille (1797- 1869)

R. Mayer (1814-1878)

J.W. von Goethe (1749-1832)

Augenspiegel (Ophthalmoskopie)

Physiologie des Blutkreislaufs,
Blutströmung

Erster Hauptsatz der Thermodynamik
anatomische und physikalische /
physiologische Studien (Farbenlehre)

Warum Physik für „Nicht-Physiker“?

Insb. 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 Biologie existieren nur im Makroskopischen und verschwinden im Mikroskopischen

Anwendungsbeispiele

- Verschiedene bildgebenden Verfahren (zum Beispiel Sonographie)
- Diagnostikmethoden in der Augenoptik
- Therapeutische Anwendung von UV- und Laserstrahlung
- Mikroskopie
- Blutströmung
- Biomimetische Systemen (Bakterienzelle)
- Nachweis radioaktiver Elemente in der Umwelt (Röntgenstrahlung /Absorptionsspektroskopie)
- Umweltphysik: Massenspektroskopie, Radiometrie, Spektroskopie
- Analyse von Schadstoffe in Luft und Wasser
- Klimaerwärmung
- Und viele mehr...

Physikalische Arbeitsmethoden

Induktive Methode:

von Einzelercheinungen zum allgemeinen Gesetz

(Vollständige Induktion nur in der Mathematik; in Naturwissenschaften 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)

Physikalische Methodik anwendbar auf viele Probleme

Physikalische Größe

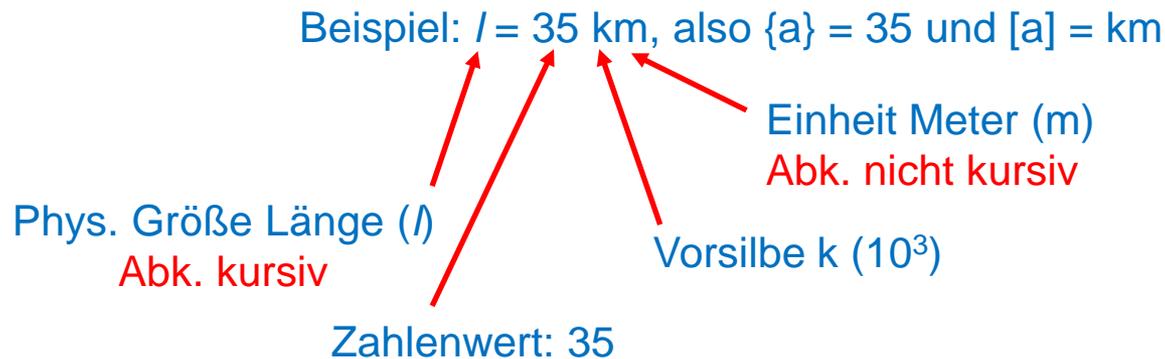
Physikalische Größe beschreibt Eigenschaften und Beschaffenheit physikalischer Objekte, Zustände oder Vorgänge.

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

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

Messverfahren:

zu bestimmende Größe mit der Einheit der Größe gleicher Art vergleichen
d.h. Messung \equiv Vergleich, Referenz \equiv Einheit



Physikalische Größe

Wechsel der Einheit einer Größe \longrightarrow **anderen Zahlenwert**

$$2 \text{ Zoll} = 5.08 \text{ cm}$$

$$3 \text{ mm}^2 = 3 \cdot (10^{-1})^2 \text{ cm}^2 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2 = 0.03 \text{ cm}^2$$

Dimension:

Darstellung der physikalischen Größe in ihren Basisgrößen (ohne Einheit)

<u>Größe</u>	<u>Dimension</u>
Länge	Länge
Volume	Länge ³
Geschwindigkeit	$\frac{\text{Länge}}{\text{Zeit}}$

Skalar: gegeben durch eine (nichtnegative) **Zahl** und **Maßeinheit**

z.B.: Masse, Volumen, Temperatur

Vektor: gegeben durch **Zahl** und **Richtung** und **Maßeinheit**

z.B.: Weg, Geschwindigkeit, Kraft

SI-System

Einheiten der Physikalischen Größen: **Système International d'Unités (SI-Einheit)**
(Lassen sich nicht durch physikalische Gesetze festlegen)

Basisgröße	SI-Einheit	Symbol
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Bei den anderen physikalischen Größen ist ihre Festlegung durch die physikalischen Gesetze vorgeschrieben.

Zusammengesetzte physikalischen Größen

Beispiele von (aus Basisgrößen) zusammengesetzte Größen:

Geschwindigkeit: Weg (besser Ortsveränderung) pro Zeit

Ableitung der Ortsfunktion nach der Zeit

Beachte: Im allg. sind Ort und damit auch Geschwindigkeit Vektoren.

Dimension: Länge · Zeit⁻¹; Einheit: m · s⁻¹

Impuls: Produkt aus Masse und Geschwindigkeit

Dimension: Masse · Länge · Zeit⁻¹; Einheit: kg · m · s⁻¹

Beschleunigung: Geschwindigkeitsänderung pro Zeit

Dimension: Länge · Zeit⁻¹ · Zeit⁻¹; Einheit: m · s⁻²

Kraft: Masse mal Beschleunigung

Ableitung des Impulses nach der Zeit

Dimension: Masse · Länge · Zeit⁻¹ · Zeit⁻¹; Einheit: kg · m · s⁻² = N (Newton)

Druck: Quotient Kraft und Fläche

Dimension: Masse · Länge · Zeit⁻² · Länge⁻²; Einheit: kg · m⁻¹ · s⁻² = N · m⁻² = Pa (Pascal)

Griechisches Alphabet

Zeichen	Name	Zeichen	Name
A, α	Alpha	N, ν	Ny
B, β	Beta	Ξ, ξ	Xi
Γ, γ	Gamma	O, ο	Omikron
Δ, δ	Delta	Π, π	Pi
E, ε	Epsilon	Ρ, ρ	Rho
Z, ζ	Zeta	Σ, σ	Sigma
H, η	Eta	Τ, τ	Tau
Θ, θ	Theta	Υ, υ	Ypsilon
I, ι	Iota	Φ, φ	Phi
K, κ	Kappa	Χ, χ	Chi
Λ, λ	Lambda	Ψ, ψ	Psi
M, μ	My („Mü“)	Ω, ω	Omega

λ = Wellenlänge

ρ = Dichte

Definition Meter und Sekunde

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist eine zentrale Größe.
Sie hat *per definitionem* 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 Länge der Strecke, die Licht im Vakuum in $1/299.792.458$ Sekunden zurücklegt.



Alte Definition: Das Urmeter in Paris



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 Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes.

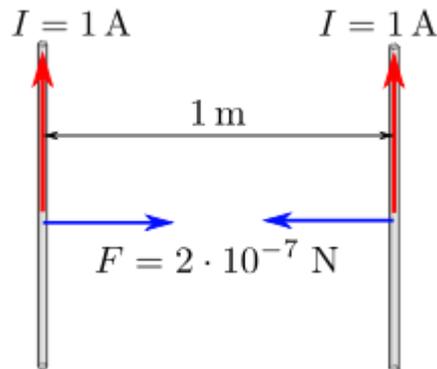
Definition Kilogramm und Ampere

Das Kilogramm ist gleich der Masse des Internationalen Kilogramm-Prototyps.

Das Kilogramm ist die einzige Einheit, die nicht durch Natur- oder Fundamentalkonstanten festgelegt ist, sondern noch einer materiellen Verkörperung bedarf.



Replik des Urkilogramms unter zwei Glasglocken



Veranschaulichung der Ampere-Definition.

Das Ampere ist die Stärke eines zeitlich konstanten elektrischen Stromes, der, durch zwei im Abstand von 1 Meter angeordnete parallele Leiter fließend, zwischen diesen eine Kraft erzeugt, die pro Meter Leiterlänge $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ beträgt.

Definition Kelvin, Mol und Candela

Das Kelvin ist das $1/273,16$ -fache der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser.

Enthält ein physikalisches Objekt keine Energie, dann hat es die Temperatur 0 K und befindet sich somit am absoluten Nullpunkt. Temperaturdifferenzen dürfen auch in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) angegeben werden.

Das Mol ist die Stoffmenge eines Systems, welches so viele Einzelteilchen enthält, wie Atome in 0,012 kg des Kohlenstoffnuklids ^{12}C enthalten sind.

Die Candela ist die Lichtstärke einer Strahlungsquelle, welche monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz in eine bestimmte Richtung aussendet, in der die Strahlstärke $1/683$ Watt durch Steradian beträgt.

Vorsilben für Einheiten

Vorsilbe	Symbol	Faktor	Vorsilbe	Symbol	Faktor
Yocto	y	10^{-24}	Deka	da	10
Zepto	z	10^{-21}	Hekto	h	$10^2 = 100$
Atto	a	10^{-18}	Kilo	k	$10^3 = 1000$
Femto	f	10^{-15}	Mega	M	$10^6 = 1.000.000$
Piko	p	10^{-12}	Giga	G	10^9
Nano	n	10^{-9}	Tera	T	10^{12}
Mikro	μ	$10^{-6} = 1/1.000.000$	Peta	P	10^{15}
Milli	m	$10^{-3} = 1/1000$	Exa	E	10^{18}
Zenti	c	$10^{-2} = 1/100$	Zetta	Z	10^{21}
Dezi	d	$10^{-1} = 1/10$	Yotta	X	10^{24}

Beispiele Anwendung der Vorsilben

Längenangaben

- 1 Nanometer = 1 nm = 10^{-9} m (ein paar Mal so groß wie das größte Atom)
- 1 Mikrometer = 1 μ m = 10^{-6} m (Größe einiger Bakterien und lebender Zellen)
- 1 Millimeter = 1 mm = 10^{-3} m (Durchmesser der Spitze eines Kugelschreibers)
- 1 Zentimeter = 1 cm = 10^{-2} m (Durchmesser deines kleinen Fingers)
- 1 Kilometer = 1 km = 10^3 m (ein 10-minütiger Spaziergang)
- 1 Ångström = 1 Å = 10^{-10} m (Durchmesser eines Atoms)

Massenangabe

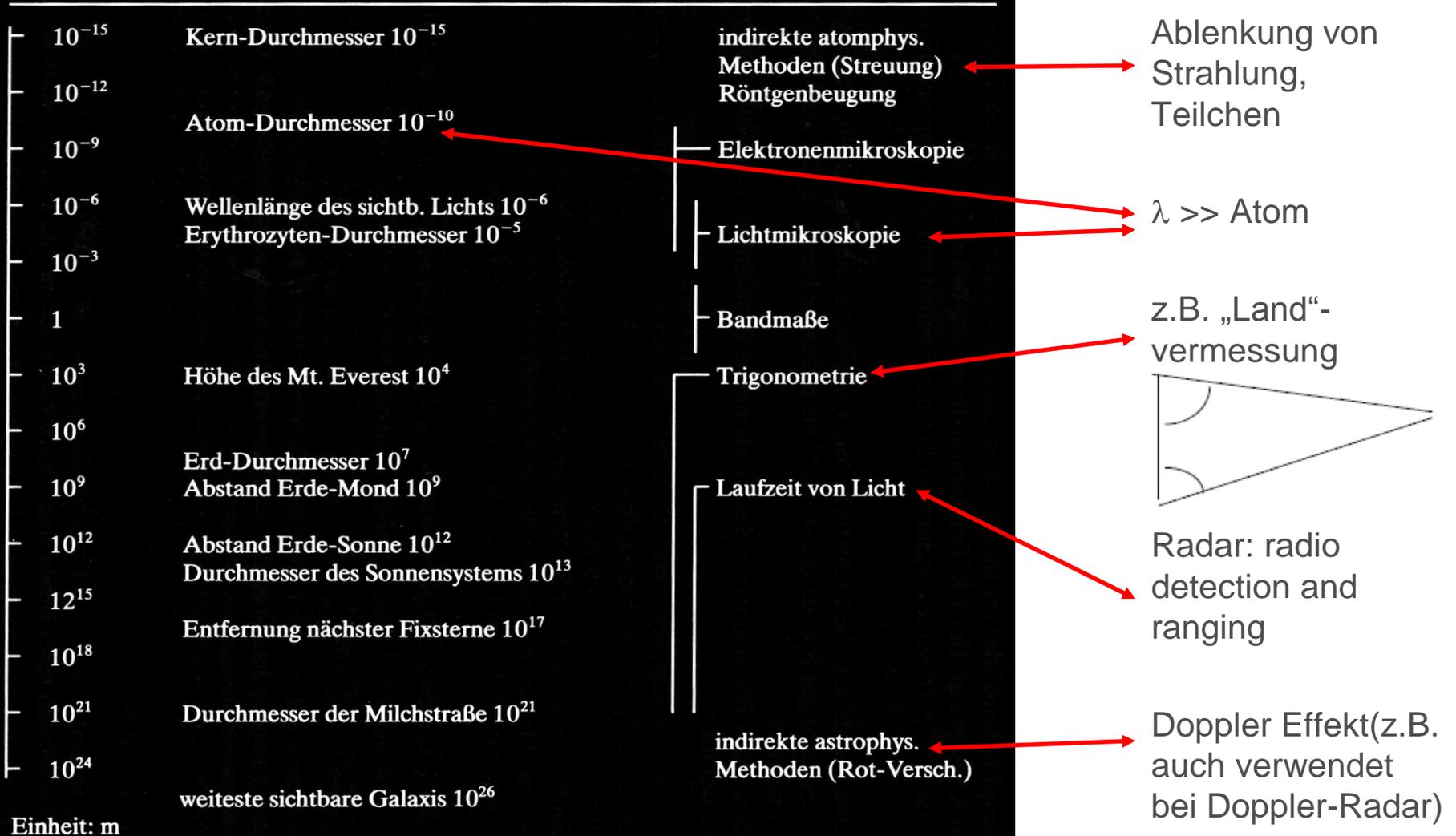
- 1 Mikrogramm = 1 μ g = 10^{-9} kg (Masse eines sehr kleinen Staubteilchens)
- 1 Milligramm = 1 mg = 10^{-6} kg (Masse eines Salzkorns)
- 1 Gramm = 1 g = 10^{-3} kg (Masse einer Büroklammer)
- 1 Tonne = 1 t = 1 Mg = 10^3 kg

Zeitangaben

- 1 Nanosekunde = 1 ns = 10^{-9} s (Zeit für das Licht, um 0,3 m zu reisen)
- 1 Millisekunde = 1 ms = 10^{-3} s (Zeit für den Ton, um 0,35 m zu reisen)
- 1 Minute = 1 min = 60 s
- 1 Stunde = 1 h = 60 min = 3600 s
- 1 Tag = 1 d = 24 h = 86400 s

Größenordnungen Längen

Tab. 1.6 Einige typische Längen, ihre Größenordnung und Meßverfahren



Einheit: m

Größenordnungen Zeiten und Massen

Zeiten

Massen

Tab. 1.7 Zeitdauern und ihre Größenordnung

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 $6 \cdot 10^7$
10^9	Menschenalter 10^9
10^{12}	
10^{15}	Alter der Menschheit 10^{14}
10^{18}	Alter der Milchstraße 10^{18}

Einheit: s

Tab. 2.1 Massen

10^{-30}	Elementarteilchen Atome
10^{-24}	
10^{-18}	Makromoleküle
10^{-12}	rotes Blutkörperchen
10^{-6}	
1	
	Auto
10^6	Lokomotive
10^{12}	
10^{18}	
	Mond ($7 \cdot 10^{22}$)
10^{24}	Erde ($6 \cdot 10^{24}$)
10^{30}	Sonne ($2 \cdot 10^{30}$)

Einheit: kg

Gleichungen

Am Beispiel des Fallgesetzes:

Größengleichungen:

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

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

Zahlenwertgleichungen:

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

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

- Dieser Gleichungstyp wird in der Physik möglichst vermieden.
- Zahlenwertgleichungen können bei Bedarf mithilfe der entsprechenden Konstanten aus den Größengleichungen leicht abgeleitet werden.

Messunsicherheiten / Messfehler (Messabweichung)

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

Systematische Fehlern

- Treten immer in bestimmter Richtung auf
- Messgerät defekt, schlecht kalibriert, Fehlbedienung, Messverfahren
- können in Prinzip durch eine bessere Messapparatur reduziert oder sogar vermieden werden
- Geschätzte Größe bei der Angabe des Messergebnisses mitangeben

Zufällige Fehlern

- Richtung und Betrag statistisch verteilt (statistische Fehler)
- Jede Messung liefert etwas anderen Wert
- Die Messungen schwanken um einen gewissen häufigsten Wert
- Die Ursachen sind Einstell- und Ablesefehler, aber meistens unkontrollierbare äußere Einflüsse

Angabe Messergebnis (absolut): $52,3 \text{ cm} \pm 1 \text{ mm}$

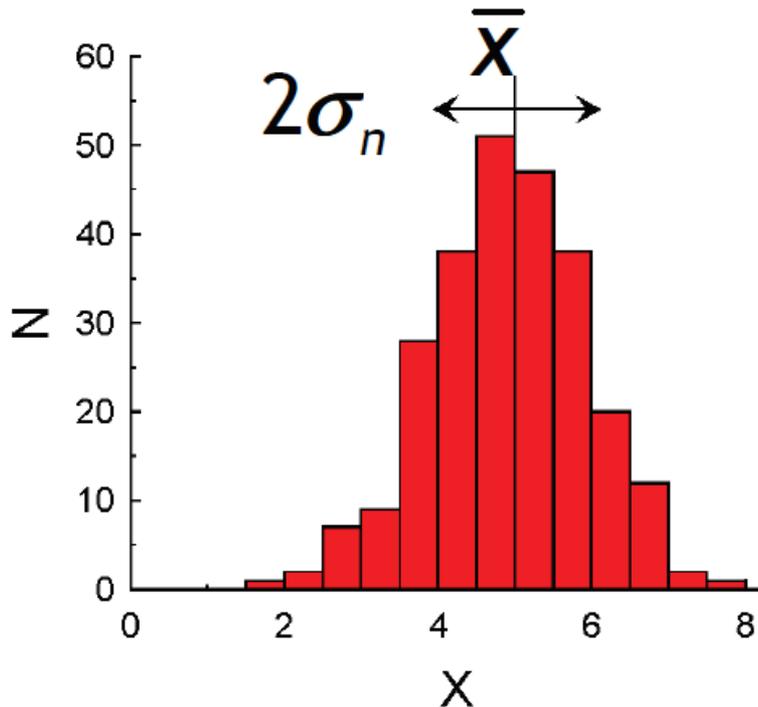
$52,3 \pm 0,1 \text{ cm}$

$52,3(1) \text{ cm}$

Angabe Messergebnis (relativ): $52,3 \text{ cm} \pm 0,2\%$

Fehlerrechnung

Histogramm (Balkendiagramm)



Mittelwert

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

Standardabweichung

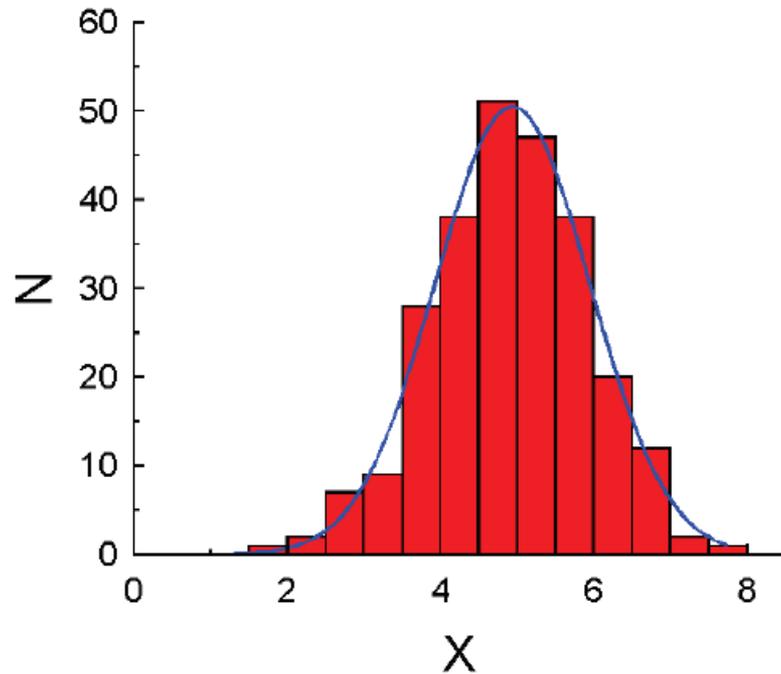
$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Standardabweichung des Mittelwerts

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

Gauß-Verteilung

Die Definitionen der vorhergehende Folie sind insb. Sinnvoll bei der häufig auftretenden Gauß-Verteilung



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

Messergebnis

$$x = \bar{x} \pm \Delta\bar{x}$$

Ca. 68 % statistische Sicherheit

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

Ca. 95 % statistische Sicherheit

$$[\bar{x} - 1,96\sigma, \bar{x} + 1,96\sigma]$$

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

$$f(x_1 \pm \sigma_1, x_2 \pm \sigma_1, \dots, x_k \pm \sigma_k)$$

Unsicherheit der zu bestimmenden Größe

$$\sigma_z = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot \sigma_j \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_k} \right)^2 \sigma_k^2}$$

Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz

Mengenbegriffe

Masse m

- Charakteristische und ortsunabhängige physikalische Größe
- Einheit: Kilogramm (kg)

Volumen V

- Ein Begriff zur Beschreibung bestimmter Mengen eines Stoffes
- Einheit: Kubikmeter (m³)

Stoffmenge n

- Der Anzahl N näher zu bezeichnender gleicher Einzelteilchen eines Systems (einer Substanz) proportional
- Der Proportionalitätsfaktor ist $(N_A)^{-1}$; **Avogadro-Konstante N_A** ($\approx 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) die Anzahl Teilchen in einem Mol der Substanz
- Definition: $n = \frac{N}{N_A}$
- Einheit: Mol (mol)

Teilchenanzahl N

- Definition: $N = n \cdot N_A$
- Einheit: Dimensionslos

Bezogene Größen

a) Volumenbezogen

(Massen-)Dichte ρ

- Definition: $\rho = \frac{m}{V}$
- Einheit: Kilogramm/ (Meter)³ (kg/m³)

Teilchenanzahldichte ρ_N

- Definition: $\rho_N = \frac{N}{V}$
- Einheit: m⁻³

b) Massenbezogen

Spezifisches Volumen v

- Definition: $v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$
- Einheit: m³/kg

Bezogene Größen

c) Stoffmengenbezogen

Molare Masse M

- Definition: $M = \frac{m}{n}$
- Einheit: kg/mol

Molares Volume V_m

- Definition: $V_m = \frac{V}{n}$
- Einheit: m³/mol

d) Gehalt

Massengehalt w_B

- Definition: $w_B = \frac{m_B}{\sum_i m_i}$
- Einheit: dimensionslos oder in %

Bezogene Größen

Volumengehalt φ_B

- Definition: $\varphi_B = \frac{V_B}{\sum_i V_i}$
- Einheit: dimensionslos oder in %

Stoffmengengehalt x_B

- Definition: $x_B = \frac{n_B}{\sum_i n_i}$
- Einheit: dimensionslos oder in %

e) Konzentration

Massenkonzentration ρ_B^*

- Definition: $\rho_B^* = \frac{m_B}{V}$
- Einheit: kg/m³

Bezogene Größen

Stoffmengenkonzentration c_B

- Definition: $c_B = \frac{n_B}{V}$
- Einheit: mol/m³ (mol Substanz/ m³ Lösung)
- Gebräuchliche Einheit: mol/dm³ = mol/L = **Molarität**

Molalität m_B^*

- Definition: $m_B^* = \frac{n_B}{m_L}$
- Einheit: mol/kg (mol Substanz/ kg Lösungsmittel)