

# 1 Physik - eine Einführung

... ist eine Naturwissenschaft und untersucht die grundlegenden Phänomene der Natur (Wikipedia)

## 1.1 Methodik

### 16./17. Jahrhundert: Übergang von der Naturphilosophie zur Naturwissenschaft

Statt die unbeeinflusste Natur zu beobachten, werden Experimente unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt und physikalische Größen mit Instrumenten gemessen. Es wird versucht, die Naturerscheinungen mit **Modellen** und möglichst wenigen Grundprinzipien mathematisch zu beschreiben.

#### Theorie

stellt axiomatische Systeme auf

macht Voraussagen (Deduktion)

#### Experiment

spürt neue Gesetzmäßigkeiten auf (Induktion)

überprüft Voraussagen



## 1.2 Geschichte und heutiges Weltbild der Physik

**Antike Naturphilosophie:** ab ca. 600 v. Chr.

Entmythologisierung der Natur (Thales, Anaxagoras, Aristoteles ...)

**Klassische Physik:** ca. 1600 bis 1900.

Gezielte Experimente (Galilei), mathematische Beschreibung (Newton ...), Naturgesetze

**Moderne Physik:** ab ca. 1900

Relativitätstheorie (Einstein), Quantentheorie (Planck ...), Atome und Elementarteilchen

## Teilchen

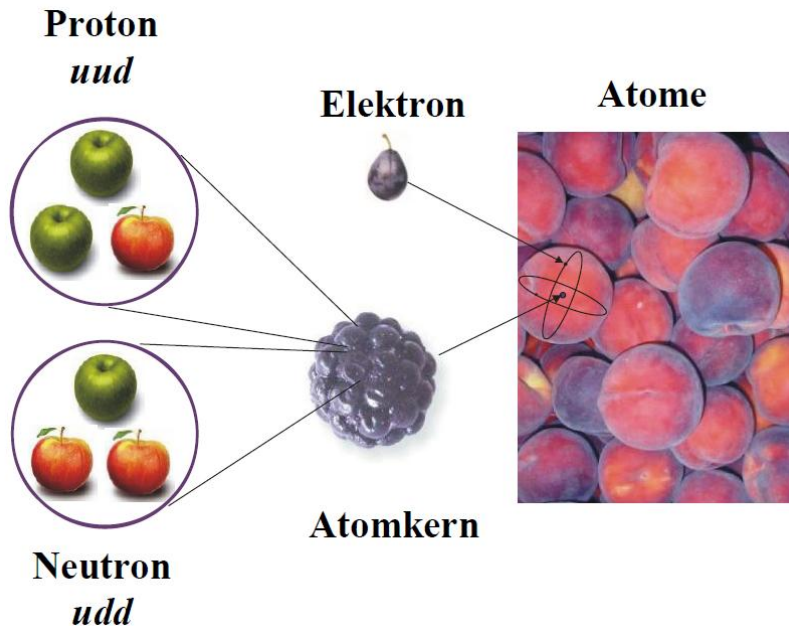
**Materie besteht aus Atomen (und Molekülen, die aus Atomen zusammengesetzt sind).**

Atome haben eine Hülle aus Elektronen und einen sehr kleinen Kern aus Protonen und Neutronen. Elektronen sind Elementarteilchen, sogenannte **Leptonen**. Protonen und Neutronen bestehen aus Quarks. **Quarks** kommen nicht allein vor, sie bilden Baryonen (3 Quarks z.B. Proton und Neutron) oder Mesonen (2 Quarks z.B. Pionen).

Zu jedem Quark oder Lepton gehört ein **Antiteilchen** mit entgegengesetzter Ladung, z.B. zum negativ geladenen Elektron gehört ein positiv geladenes Positron gleicher Masse.

Ferner gibt es sogenannte **Eichbosonen** (Photon, Gluonen, Z-Boson, W-Boson) und das Higgs-Teilchen.

**Welle-Teilchen-Dualismus:** Der Begriff "Teilchen" wurde durch die Quantenphysik relativiert. Licht kann durch Wellen oder Teilchen (Photonen) beschrieben werden. Ebenso können Teilchen wie z.B. Elektronen Welleneigenschaften zeigen.



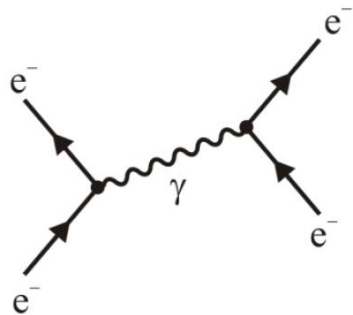
Drei Generationen der Materie (Fermionen)

	I	II	III		
Masse	2,3 MeV	1,275 GeV	173,07 GeV	0	125,9 GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
Name	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> Photon	<b>H</b> Higgs Boson
Quarks	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> Gluon	
	4,8 MeV $-\frac{1}{3}$	95 MeV $-\frac{1}{3}$	4,18 GeV $-\frac{1}{3}$	0	
Leptonen	$\nu_e$ Elektron-Neutrino	$\nu_\mu$ Myon-Neutrino	$\nu_\tau$ Tau-Neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z Boson	
	<2 eV 0 $\frac{1}{2}$	<0,19 MeV 0 $\frac{1}{2}$	<18,2 MeV 0 $\frac{1}{2}$	91,2 GeV 1	
	<b>e</b> Elektron	<b>μ</b> Myon	<b>τ</b> Tau	<b>W<sup>±</sup></b> W Boson	<b>Eichbosonen</b>
	0,511 MeV -1 $\frac{1}{2}$	105,7 MeV -1 $\frac{1}{2}$	1,777 GeV -1 $\frac{1}{2}$	80,4 GeV ±1 1	

## Wechselwirkungen (Kräfte)

Es gibt (nur) vier fundamentale Wechselwirkungen, die durch "Austauschteilchen" vermittelt werden:

- **Gravitation** (schwach anziehende Wirkung von Körpern mit Masse)  
Austauschteilchen: Graviton (hypothetisch)
- **elektromagnetische Wechselwirkung** (fast alle makroskopischen Phänomene)  
Austauschteilchen: Photon
- **starke Wechselwirkung** (hält Atomkern zusammen)  
Austauschteilchen: Gluonen
- **schwache Wechselwirkung** (zeigt sich in manchen Teilchenreaktionen)  
Austauschteilchen: W- und Z-Boson



Beispiel: gegenseitige Abstoßung von Elektronen. Die Wechselwirkung findet nicht "einfach so" statt, sondern die Elektronen tauschen ständig Photonen aus. Photonen sind masselos und die Reichweite der Kraft ist so groß, dass wir sie beobachten können. Da Gluonen, W und Z nicht masselos sind, ist die Reichweite der starken und schwachen Wechselwirkung sehr kurz.

Es gibt Ansätze, die Wechselwirkungen zu "vereinheitlichen", was insbesondere bei der Gravitation auf Schwierigkeiten stößt.



18. Jh

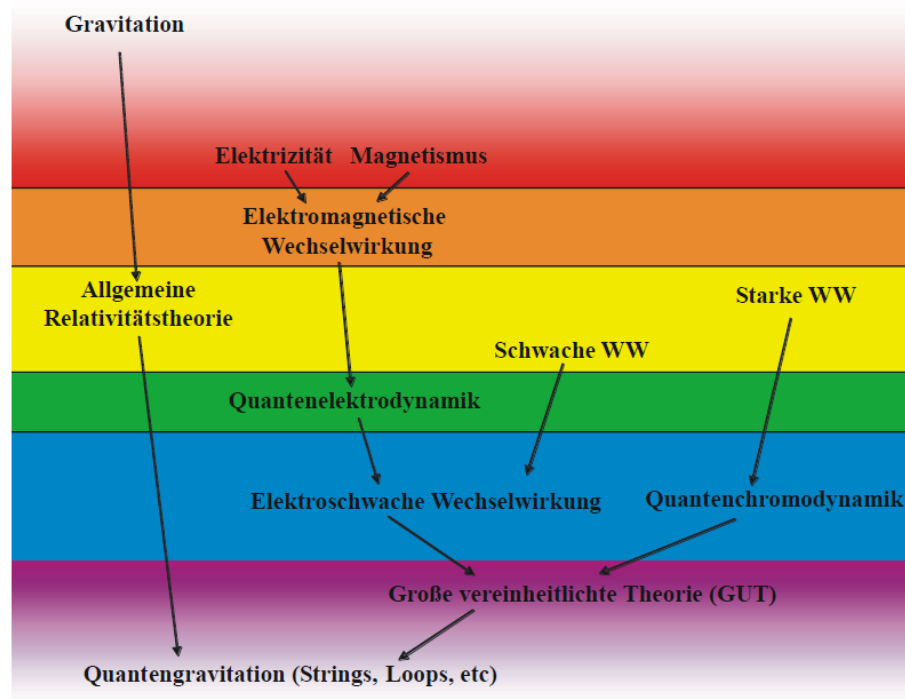
19. Jh

1. Hälfte  
des 20. Jh

1940er

1970er

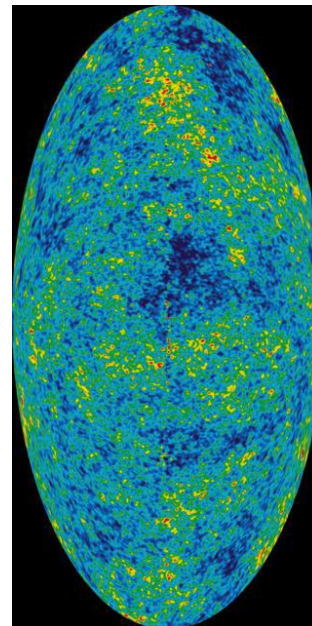
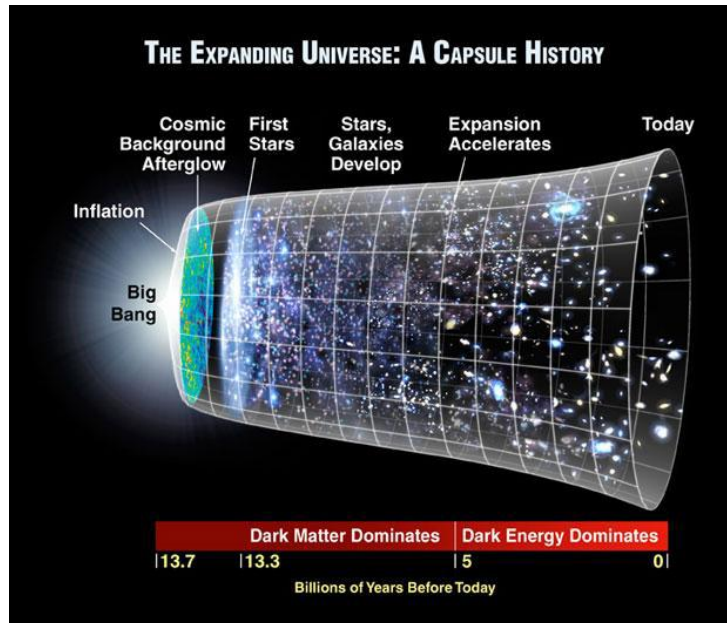
heute  
&  
morgen



## Das Universum

Die Sonne ist ein **Stern**, ein massereicher selbstleuchtender Himmelskörper, der von Planeten umkreist wird. Planeten können von kleineren Himmelskörpern (Monden) umkreist werden. Sterne bilden **Galaxien**, z.B. ist die Sonne einer von 300 Milliarden Sternen der Milchstraße. Das **Universum** enthält eine Vielzahl von Galaxien, die Gruppen bilden (Haufen, Filamente...), sowie Gas und Staub. Man vermutet seit einiger Zeit die Existenz eines großen Anteils von "dunkler" (unverstandener) Materie.

Das Alter des Universums wird auf 13,8 Milliarden Jahre geschätzt. Ca. 380.000 Jahre nach dem "Urknall" war das Universum so weit abgekühlt, dass Atome entstehen konnten - das Universum wurde durchsichtig. Aus dieser Zeit stammt die kosmische Hintergrundstrahlung, die heutzutage stark rotverschoben erscheint (entspricht der Strahlung eines "schwarzen" Körpers mit einer Temperatur von ca. 2,7 K) und sehr isotrop über den Himmel verteilt ist.

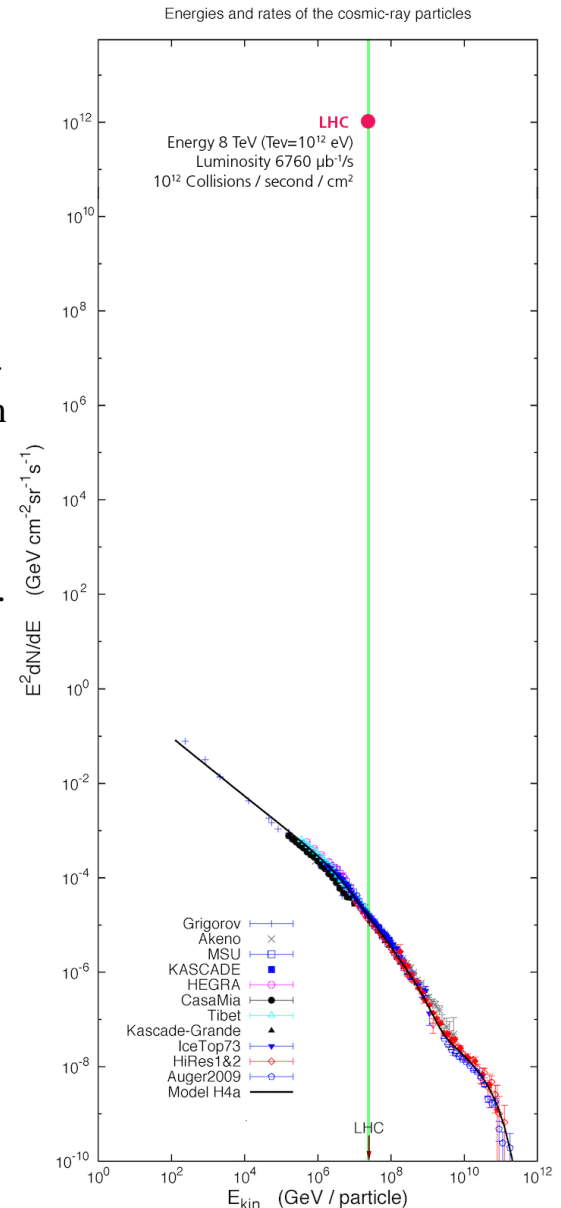


Die längste Zeitspanne, aus der Ereignisse beobachtbar sind, beträgt also  $13,8 \cdot 10^9$  Jahre. Da sich nach der Aussendung des Lichts, das jetzt auf der Erde ankommt, das Universum weiter ausgedehnt hat, ist die maximal beobachtbare Distanz (der "Beobachtungshorizont") nicht einfach durch das Alter des Universums multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit gegeben, sondern deutlich größer (ca. Faktor 3).

Auf kurzen Zeitskalen ist man experimentell bis in den Attosekundenbereich ( $1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$ ) vorgedrungen, auf kurzen Längenskalen in den Bereich von  $10^{-18} \text{ m}$ .

Auf der Energieskala ist man mit Teilchenbeschleunigern inzwischen bei mehreren TeV angelangt (Large Hadron Collider bei CERN/Genf). In der kosmischen Strahlung werden Teilchen mit Energien bis  $10^{20} \text{ eV}$  gefunden, allerdings mit extrem geringen Fluss (weniger als 1 Teilchen pro  $\text{km}^2$  und Jahr).

Rechts: Vergleich von Energie und Intensität der kosmischen Strahlung mit der des Large Hadron Collider (Silvia Bravo, IceCube Collaboration). Trotz des geringen Teilchenflusses wurden mit Teilchen der kosmischen Strahlung bedeutende Entdeckungen gemacht, z.B. die Entdeckung des Positrons 1932, des Myons 1936 und des Pions 1947.



## Vorsilben von SI-Einheiten

$10^{24}$	yotta	Y
$10^{21}$	zetta	Z
$10^{18}$	exa	E
$10^{15}$	peta	P
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^0$	1	
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a
$10^{-21}$	zepto	z
$10^{-24}$	yocto	y


## Griechisches Alphabet

A	$\alpha$	Alpha
B	$\beta$	Beta
$\Gamma$	$\gamma$	Gamma
$\Delta$	$\delta$	Delta
E	$\varepsilon$	Epsilon
Z	$\zeta$	Zeta
H	$\eta$	Eta
$\Theta$	$\vartheta$	Theta
I	$\iota$	Iota
K	$\kappa$	Kappa
$\Lambda$	$\lambda$	Lambda
M	$\mu$	My
N	$\nu$	Ny
$\Xi$	$\xi$	Xi
O	$\omicron$	Omikron
$\Pi$	$\pi$	Pi
P	$\rho$	Rho
$\Sigma$	$\sigma$	Sigma
T	$\tau$	Tau
Y	$\upsilon$	Ypsilon
X	$\chi$	Chi
$\Phi$	$\varphi$	Phi
$\Psi$	$\psi$	Psi
$\Omega$	$\omega$	Omega

### 1.3 Physikalische Größen

Ein zentraler Begriff der Physik ist die **Messung**, d.h. der Vergleich einer physikalischen Größe mit einer Maßeinheit. Eine **physikalische Größe** ist eine beobachtbare und quantitativ darstellbare Eigenschaft eines Gegenstands oder eines Vorgangs. Eine **Maßeinheit** ist ein festgelegter Wert einer physikalischen Größe. Eine wichtige Eigenschaft einer Messgröße ist der **Fehler**. Konventionen:

$$\text{Masse } m = 12,87 \text{ kg} \pm 0,05 \text{ kg} = (12,87 \pm 0,05) \text{ kg} = 12,87 \text{ kg} \pm 0,4\% = 12,87(5) \text{ kg} \approx 12,9 \text{ kg}$$


  
**Größe**   **Symbol**   **Maßzahl**   **Einheit**   **Fehler mit Einheit**

In grafischen Darstellungen werden Fehler durch "Fehlerbalken" dargestellt, also Striche entlang der jeweiligen Koordinate, die den Fehlerbereich angeben.

**Wissenschaftliche Notation** (Exponentialdarstellung):

$$\text{Elementarladung } e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} = 0,000.000.000.000.000.000.16 \text{ C}$$

Beim Messen wird die Messgröße mit der Größe einer Einheit verglichen. Die Einheit wird durch ein sog. Normal oder Standard festgelegt. Das kann eine in der Natur vorkommende Größe oder ein technisch festgelegter Standard sein.

Alle physikalischen Größen können auf wenige Grundgrößen (Basisgrößen) zurückgeführt werden. In Deutschland und den meisten anderen Ländern der Welt gilt das Internationale Einheitensystem (SI, *systeme international d'unités*) mit 7 Basisgrößen und damit 7 Basiseinheiten.

## Das SI-Einheitensystem (système international d'unités)

### Sieben Basiseinheiten:

**Meter:** Weg des Lichts in  $1/299.792.458$  Sekunde.

Früher:  $1/40.000.000$  der Erdumfangs, Länge eines Prototyps,  $1.650.763.73$ faches der Wellenlänge eines Übergangs in  $^{86}\text{Kr}$ .

**Kilogramm:** Masse des internationalen Prototyps aus PtIr.

Früher: Masse von 1 Liter Wasser bei  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Sekunde:** Dauer von  $9.192.631.770$  Perioden der Strahlung aufgrund der Hyperfeinstruktur des Grundzustands des  $^{133}\text{Cs}$ -Atoms. Früher:  $1/86400$  eines mittleren Sonnentages.

**Ampere:** Strom durch zwei parallele Drähte, die  $1\text{ m}$  voneinander entfernt eine Kraft von  $2\cdot 10^{-7}\text{ N}$  pro Meter aufeinander ausüben. Früher: Strom, der  $1,118\text{ g/s}$  Silber aus einer  $\text{AgNO}_3$ -Lösung abscheidet.

**Kelvin:** Der  $273,16$ -te Teil der Temperatur des Tripelpunkts von Wasser (VSMOW).

Früher:  $1\text{ K} = 1/100$  der Differenz zwischen Siedepunkt und Gefrierpunkt von Wasser.

**Mol:** Stoffmenge, die so viele Atome/Moleküle enthält wie  $0,012\text{ kg }^{12}\text{C}$ .

Früher: Molekulargewicht eines Stoffes in Gramm.

**Candela:** Lichtstärke einer monochromatischen Strahlungsquelle (Frequenz  $540\cdot 10^{12}\text{ Hz}$ ) mit einer Intensität von  $1/683$  Watt pro Steradian.

Früher: Lichtstärke von  $1/60\text{ cm}^2$  der erstarrenden Oberfläche von Platin.



Bureau International des Poids et Mesures  
in Sèvres bei Paris.



## Abgeleitete Einheiten:

mit Namen z.B. Einheit der Kraft 1 **Newton** ( $1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ )  
 ohne Namen z.B. Einheit der Geschwindigkeit  $1 \text{ m/s}$

## Andere gebräuchliche und gesetzlich zugelassene Einheiten:

z.B. **Minute** (1 min), **Stunde** (1 h), **Tag** (1 d), **Tonne** (1 t), **Elektronenvolt** (1 eV)

## Andere Einheiten:

### Anglo-amerikanisches Maßsystem

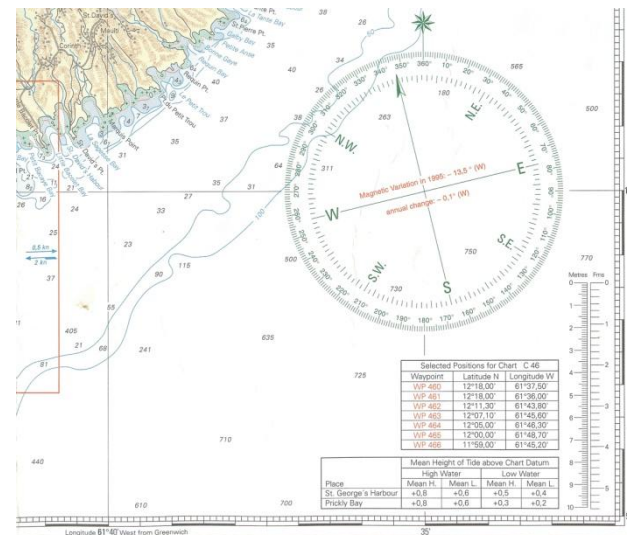
z.B. Längeneinheiten: 1 foot = 12 inch, 1 yard = 3 feet, 1760 yard = 1 mile (1.609,344 m),  
 aber 1 statute mile = 8 furlongs (1.609,437 m)  
 viele andere Längenmaße z.B. 1 point (pt.) = 1/72 inch (vgl. Typografie, Fontgröße)  
 Hohlmaße: 1 engl. quart = 2 pint = 1,137 Liter, 1 US wet quart = 0,946 Liter, 1 US dry quart = 1,101 Liter

### cgs-System (häufig verwendet in amerikanischen Lehrbüchern)

Metrische Einheiten (cm, g, s statt m, kg, s),  
 aber große Unterschiede bei elektrischen Einheiten  
 (siehe Physik II).

### Nautische Maßeinheiten

Seemeile oder nautische Meile:  $1 \text{ sm} = 1852 \text{ m}$   
 (exakt; früher 1 Winkelminute eines Großkreises)  
 Knoten:  $1 \text{ kn} = 1 \text{ sm/h}$   
 1 Strich:  $1/32$  des Vollwinkels =  $11,25^\circ$



## Einheiten in der Astronomie

1 Lichtjahr (Strecke, die das Licht in 1 Jahr zurücklegt):  $1 \text{ Lj} \approx 3,154 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$

1 Astronomische Einheit ( $\approx$  mittlerer Abstand Erde-Sonne).  $1 \text{ AE} = 149.597.870.700 \text{ m}$  (exakt festgelegt)

1 Parsec (Abstand, aus dem 1 AE unter einem Winkel von 1 Bogensekunde erscheint)  $1 \text{ pc} \approx 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}$

## Winkel

### Gebräuchliche Einheiten: Grad, Winkelminuten, Winkelsekunden

$1^\circ = 1/360$  des Vollwinkels =  $60'$  (Bogenminuten) =  $60 \cdot 60''$  (Bogensekunden)

### Winkel in Radiant (rad)

Winkel in Bogenmaß = Bogenlänge / Radius

$1 \text{ rad} \approx 57,3^\circ$     $1^\circ \approx 17,5 \text{ mrad}$  (sollte man auswendig wissen)

das Bogenmaß ist insbesondere für kleine Winkel praktisch, denn dann gilt (vgl. Abbildung rechts unten):

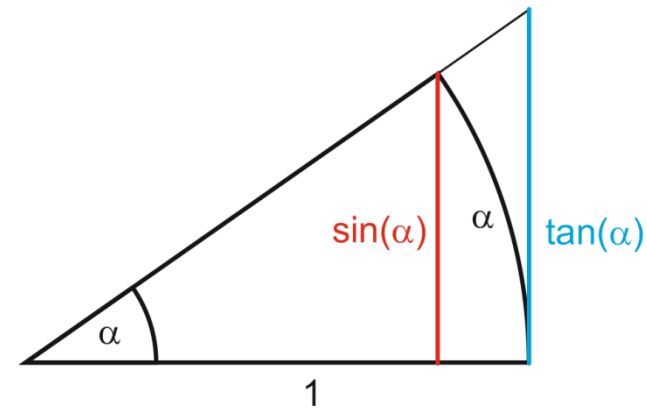
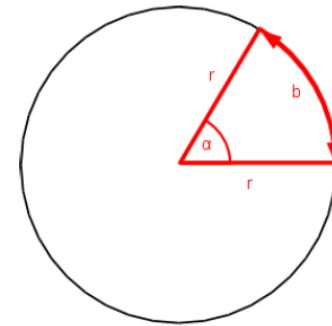
$$\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$$

## Raumwinkel

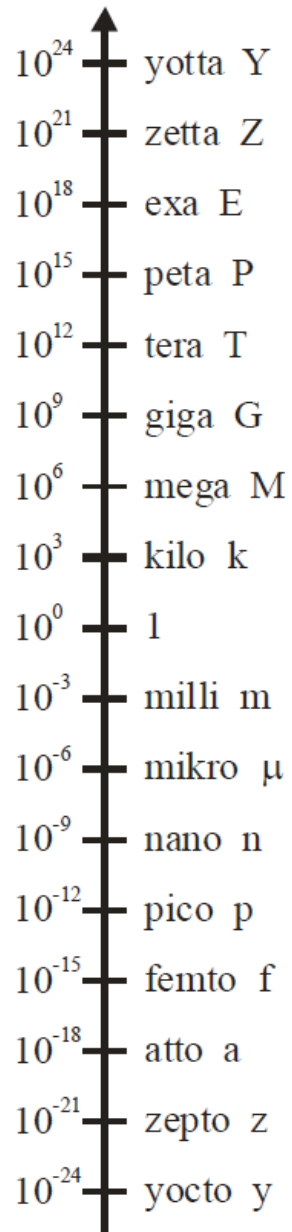
Raumwinkel = Teil einer Kugelfläche / Radius<sup>2</sup>  
bzw. Teil der Fläche einer Einheitskugel.

$\Omega = A / R^2$  ergibt den **Raumwinkel in Steradian (sr)**

Die gesamte Oberfläche der Einheitskugel ist  $4\pi$ .



## Vorsilben von SI-Einheiten



## Griechisches Alphabet

A	$\alpha$	Alpha
B	$\beta$	Beta
$\Gamma$	$\gamma$	Gamma
$\Delta$	$\delta$	Delta
E	$\varepsilon$	Epsilon
Z	$\zeta$	Zeta
H	$\eta$	Eta
$\Theta$	$\vartheta$	Theta
I	$\iota$	Iota
K	$\kappa$	Kappa
$\Lambda$	$\lambda$	Lambda
M	$\mu$	My
N	$\nu$	Ny
$\Xi$	$\xi$	Xi
O	$\omicron$	Omikron
$\Pi$	$\pi$	Pi
P	$\rho$	Rho
$\Sigma$	$\sigma$	Sigma
T	$\tau$	Tau
Y	$\upsilon$	Ypsilon
X	$\chi$	Chi
$\Phi$	$\varphi$	Phi
$\Psi$	$\psi$	Psi
$\Omega$	$\omega$	Omega

## 1.4 Fehler

Jede Messung einer Größe  $x$  ist mit Unsicherheiten behaftet.

"Fehler" bedeutet hier nicht, dass etwas falsch gemacht wurde, sondern gibt die Genauigkeit der Messung an. Oft (aber nicht immer) ist eine Standardabweichung der Streuung von Messwerten gemeint. Wenn die Werte einer oftmals wiederholten Messung eine Normalverteilung bilden (was oft der Fall ist), liegen 68% der Werte innerhalb einer Standardabweichung.

Fehler einer Größe  $x$  können in verschiedener Form angegeben werden:

**Absoluter Fehler:**  $\Delta x$

**Relativer Fehler:**  $\Delta x/x$

(Zahlenwert  $\times 100$  ergibt den relativen Fehler in Prozent)

Beispiel:  $\Delta x = 2$  mm Fehler beim Abmessen einer Strecke von 10 m, relativer Fehler 0,0002 oder 0,02%

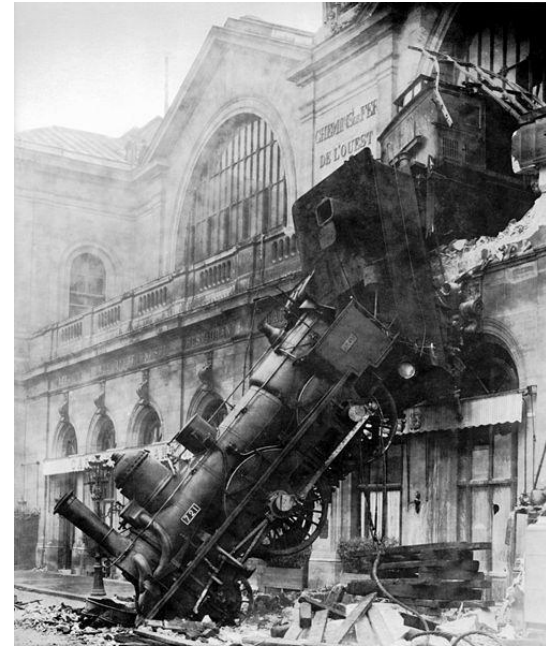
Fehler haben verschiedene Ursachen:

**Zufällige Fehler:**

instrumentelle Ungenauigkeit, Ablesefehler, Zählfehler (oft: Wurzel der Zahl der Ereignisse), der relative Fehler reduziert sich bei oftmaliger Wiederholung der Messung

**Systematische Fehler:**

z.B. falscher Nullpunkt des Instruments, Wiederholung der Messung reduziert den Fehler nicht. Systematische Fehler werden oft nicht erkannt und sind schwer abzuschätzen. Es ist sinnvoll, systematische Fehler getrennt anzugeben und nicht mit zufälligen Fehlern zu vermischen.



Gare Montparnasse/Paris 22. Oktober 1895

## Statistische Fehler

können kontinuierlich oder diskret (z.B. ganze Zahlen) sein.

	kontinuierlich	diskret
--	----------------	---------

Beispiele:	Masse, Weg, Zeit	Würfeln (1...6), ja/nein (0/1)
------------	------------------	--------------------------------

Messwerte:	reelle Zahl $x$	$x_i$ mit $i = 1 \dots n$ Werten
------------	-----------------	----------------------------------

Wahrscheinlichkeit:	$P(x)dx$	$P(x_i)$
---------------------	----------	----------

insgesamt:	$\int_{-\infty}^{\infty} P(x)dx = 1$	$\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1$
------------	--------------------------------------	---------------------------

Erwartungswert:	$E[x] = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot P(x)dx$	$E[x] = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(x_i)$	z.B. $E[x] = 3,5$ beim Würfeln
-----------------	---	--	--------------------------------

Allgemein ist das  $r$ -te Moment um den Wert  $x_0$  durch den Erwartungswert von  $(x-x_0)^r$  gegeben. Der Erwartungswert ist also das erste Moment der Verteilung um den Wert 0, auch Mittelwert  $\mu$  genannt. In der Praxis ist auch das zweite Moment um den Mittelwert, die sog. Varianz, von Bedeutung:

$$\sigma^2[x] = E[(x - \mu)^2] = \int (x - \mu)^2 \cdot P(x)dx$$

Die Wurzel daraus (mit derselben Einheit wie  $x$ ) wird Standardabweichung  $\sigma$  genannt. Sie beschreibt die Breite der Verteilung. Das nächst höhere Moment beschreibt die Asymmetrie der Verteilung.

## Verteilungen mit mehreren Variablen

z.B.  $x$  und  $y$ :

Erstes Moment (Mittelwert)  $\mu_x$  und  $\mu_y$  für jede Variable wie oben.

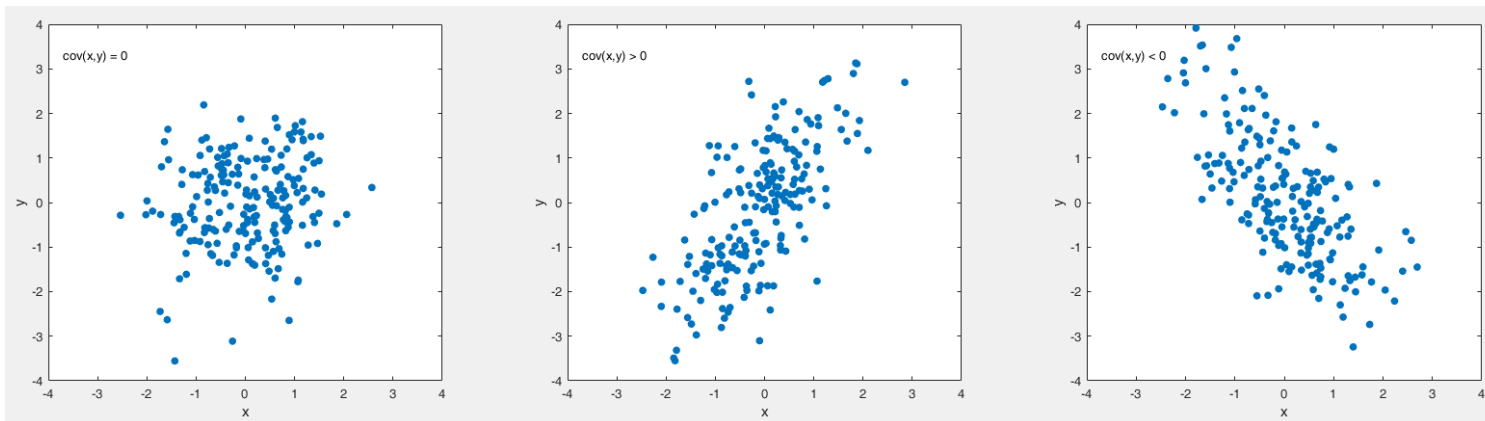
Zweites Moment (Varianz)  $\sigma_x$  und  $\sigma_y$  für jede Variable wie oben.

Ein "gemischtes" zweites Moment (Kovarianz)  $\text{cov}(x, y) = E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)]$

bzw. der Korrelationskoeffizient  $\rho = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$  ist null, wenn  $x$  und  $y$  linear unabhängig sind.

Wenn  $x$  und  $y$  vollständig korreliert oder antikorreliert (z.B. zueinander proportional), dann ist  $\rho = \pm 1$ .

Nichtlineare Zusammenhänge werden so jedoch nicht beschrieben, z.B. ist  $\rho = 0$ , wenn  $y = x^2$  ist.

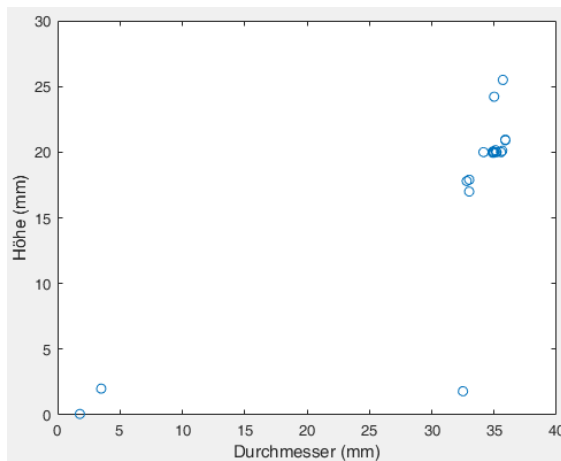


Beispiele für Werte von  $x$  und  $y$ , von links nach rechts: unkorreliert (Kovarianz 0), korreliert (Kovarianz  $> 0$ ), antikorreliert (Kovarianz  $< 0$ )

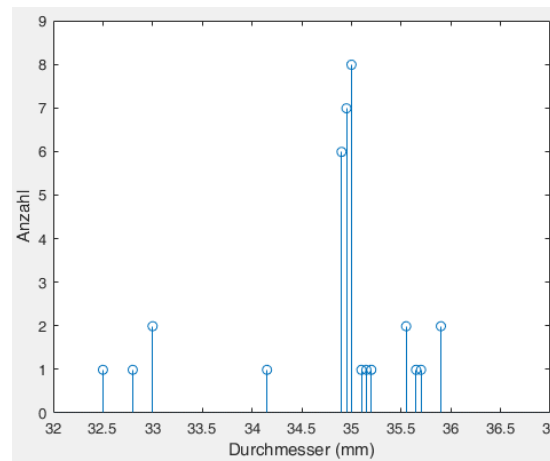
## Experiment

Mit einem Messschieber (oder Schieblehre) sollte durch Anwendung der Nonius-Skala (auch Vernier-Skala genannt) der Durchmesser  $d$  und die Höhe  $h$  eines zylindrischen Objekts auf  $1/20$  mm genau bestimmt werden. Ergebnisse:

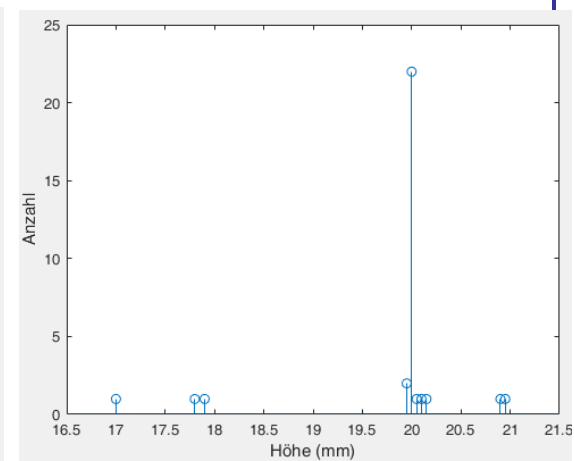
Von ca. 160 Studierenden haben 37 die Messung durchgeführt, davon 26 einigermaßen erfolgreich (Abweichungen über 1 mm lassen vermuten, dass das Messprinzip nicht ganz verstanden wurde). Grafische Darstellung der Ergebnisse:



Durchmesser und Höhe sind korreliert. Wer einen zu hohen Durchmesser angab, hat i.d.R. auch eine zu große Höhe ermittelt. Bei zwei Punkten wurde offensichtlich mm und cm verwechselt.



Die Streuung der Werte für den Durchmesser im Bereich von 0,1 mm um  $d = 34,95$  mm spiegelt die Messgenauigkeit oder die Variation der Messgröße wieder, während größere Abweichungen wohl auf Fehlmessungen zurückzuführen sind.



Die Abweichungen um  $h = 20,00$  mm sind sehr gering. Möglicherweise variiert die Höhe weniger als der Durchmesser. Wahrscheinlich führt aber auch die glatte Zahl zu einer Verzerrung des Ergebnisses. Meist wurde nicht 20,00 mm, sondern nur 20 mm oder sogar 2 cm angegeben.

### Nonius-Skala auf Messschiebern

Hier werden zwei Skalen gegeneinander verschoben. Die 0-Marke der beweglichen Skala zeigt das ungefähre Ergebnis entlang der festen Skala im Millimetern an. Der Teilstrich der beweglichen Skala, der einem Strich auf der feste Skala genau gegenübersteht, gibt den Wert zwischen zwei ganzzahligen mm-Werten an, üblicherweise auf  $1/10$  oder  $1/20$  mm genau.

## Allgemeine Anmerkung zur zwei-dimensionalen grafischen Darstellung von Daten

Wertepaare zweier Größen werden in Streudiagrammen mit Punkten dargestellt. Bilden die Größen eine Funktion, wird die unabhängige Variable (meist) entlang der Abszisse, die abhängige Variable entlang der Ordinate aufgetragen und die Punkte werden oft durch eine Linie verbunden oder es wird nur eine Linie gezeigt. Punkte sind ggf. mit Fehlerbalken, eine Linie manchmal mit einem Fehlerband versehen.

Sogenannte Histogramme stellen die Häufigkeit eines Werts (Anzahl in meist äquidistanten Intervallen) als Funktion einer Größe (zentraler Wert im jeweiligen Intervall) dar.

Mehrere Größen entlang derselben Achse aufgetragen werden durch verschiedenartige Punkte (klein/groß, Quadrat/Kreis/Raute, Farben) oder verschiedenartige Linien (dick/dünn, durchgezogen/punktiert/gestrichelt, Farben) unterschieden und durch Symbole, Texte oder Legenden zugeordnet.

Um die Werte der aufgetragenen Größen ablesen zu können, werden die Achsen mit einer ausreichenden Zahl von beschrifteten Strichen versehen. Manchmal wird zusätzlich ein Gitternetz gezeigt. Die Auftragung kann mit der Größe in einem linearen, logarithmischen oder einem anderen eindeutigen Zusammenhang stehen. Neben kartesischen Koordinaten (senkrechte Achsen) gibt es andere Möglichkeiten der Darstellung, z.B. polare Koordinaten (Radius und Winkel).

Alle Achsen werden beschriftet, wobei die aufgetragenen Größen entweder durch Worte oder durch definierte Symbole (z.B.  $d$  für Durchmesser) benannt und mit Einheiten versehen werden. Manchmal erübrigt sich die Einheit (z.B. bei einer Anzahl). Für die Angabe der Einheiten gibt es verschiedene Konventionen, z.B. " $d$  (mm)", " $d$  [mm]", " $d$ /mm", " $d$  in mm". Wenn nur Relativwerte bekannt sind, weil z.B. das Messgerät nicht geeicht war, schreibt man " $d$  (willk. Einh.)" oder englisch " $d$  (arb. units)" oder " $d$  (a.u.)". Symbole für Größen werden üblicherweise kursiv, Einheiten nicht kursiv geschrieben.