

# EXPERIMENTELLE MECHANIK

## Kapitel 1

# Einführung

### 1.1. Naturwissenschaften und Physik

### 1.2. Die naturwissenschaftliche Methode

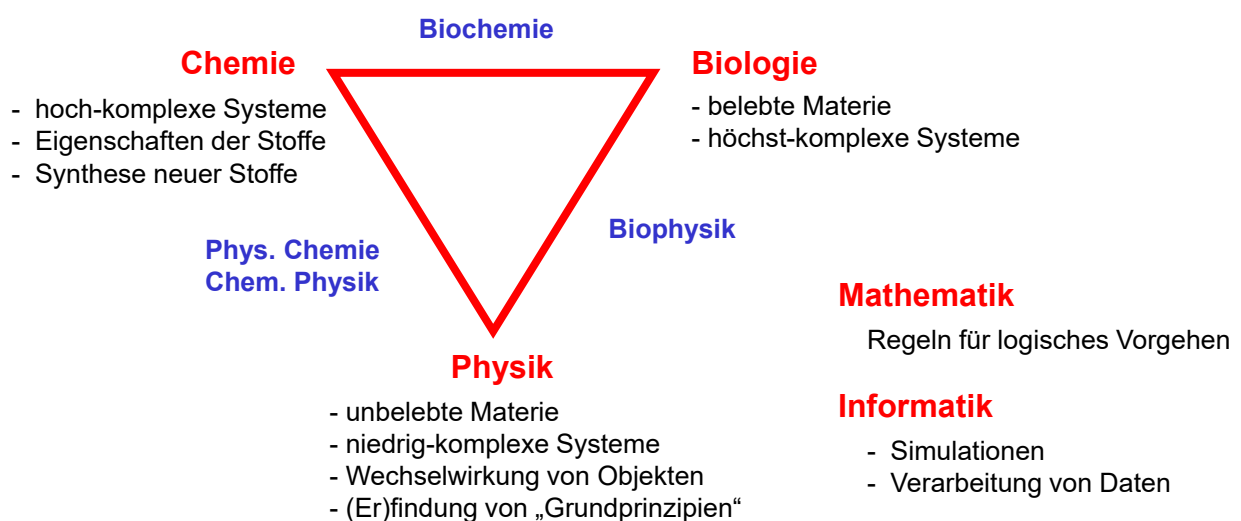
### 1.3. Physikalische Größen

1.1 自然科学和物理学

1.2 科学方法

1.3 物理量

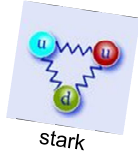
## 1.1. Naturwissenschaften und Physik 自然科学和物理学



寻找基本原则 ("基本原则")  
描述自然界的基本构件之间的  
相互作用

## 1.1. Ziele der Physik

- Auffinden von Grundprinzipien („*basic principles*“) Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen fundamentalen Bausteinen der Natur



stark



elmag.

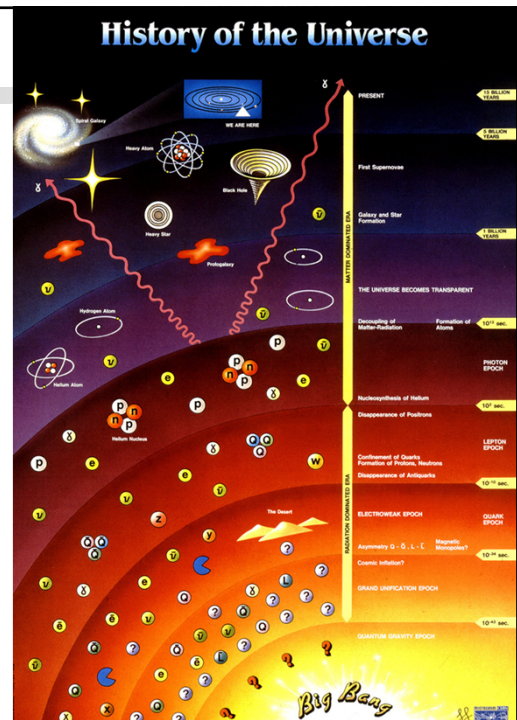


schwach



grav.

- Kosmologie  
(Woher kommt die Welt, wohin geht sie...)

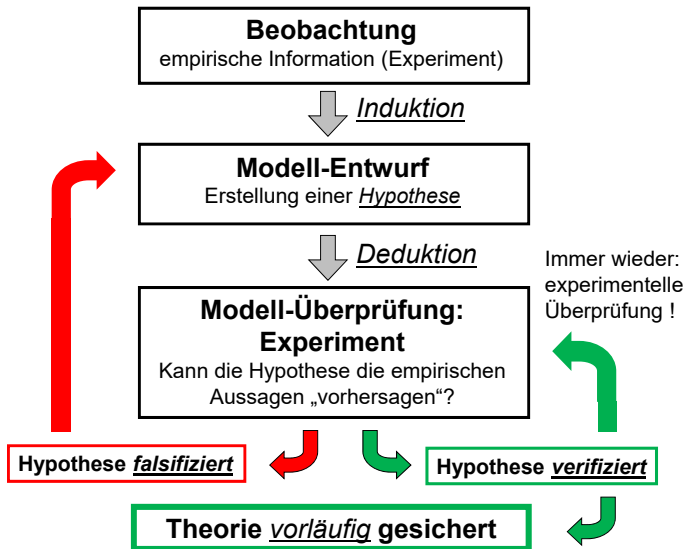


确定基本原则  
描述自然界的基本构件之间的相互作用

## 1.1. Ziele der Physik

- Auffinden von Grundprinzipien („*basic principles*“) Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen fundamentalen Bausteinen der Natur
- Kosmologie  
(Woher kommt die Welt, wohin geht sie...)
- Definition physikalischer Größen und ihrer Einheiten  
Zeit, Leistung, Lichtstrom ..., mit Sekunde, Watt, Lumen, ...
- Entwicklung von Messmethoden,  
Verständnis des Messprozesses allgemein (z.B. Quantenmechanik!)
- Grundlagen für technologische Entwicklung
- ... und Vieles mehr ...

## 1.2. Die naturwissenschaftliche Methode



### Theoriebildung:

Theorien sind nur „richtig“  
(= sinnvoll, anwendbar)

- wenn/solange das Ergebnis **jedes** Experiments im Gültigkeitsbereich korrekt vorhergesagt wird.
- wenn sie in sich widerspruchsfrei sind.
- wenn sie von der großen Mehrheit der Wissenschaftler akzeptiert werden.

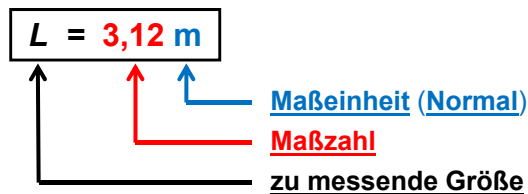
Theorien sind nur „interessant“

- wenn sie experimentell überprüfbar sind. (Sonst sind es Hypothesen oder Spekulationen.)

### 1.3.1. Messgrößen und Einheiten

**Größe:** Jedes physikalische Objekt wird durch quantitativ bestimmbare Eigenschaften definiert. Diese nennt man „physikalische Größen“.

**Angabe:** Jede physikalische Größe wird mit Maßzahl und Einheit angegeben:



**Größenart:** Ein Typ von Größen, die mit derselben Messvorschrift gemessen werden können.  
Beispiel: Breite, Dicke, Höhe, Wellenlänge, ...  
Größenart „Länge“ (messbar z.B. mit Zollstock)

Man kann zwei Größen nur dann vergleichen, addieren etc., wenn sie dieselbe Größenart haben

### 1.3.1. Einheit

Eine Messung ist ein quantitativer Vergleich einer physikal. Größe mit einem Normal / einer Referenz

Der Begriff Einheit bezeichnet eine solche Referenz.

Beispiele für die Realisierung von Einheiten:



Ein „Urmeter“  
(PTB Braunschweig)  
veraltet!



„Standard-Kilogramm“  
(Sevèrs, F) veraltet!

Modern: Präzise, reproduzierbare  
Realisierungsvorschriften (später)

Für eine Größenart können verschiedene Einheiten in Gebrauch sein.

Beispiele:

Länge: m (Meter); ft (foot), inch, Seemeile

1 ft = 0,3048 m

1 inch = 0,0254 m

1 Naut. Meile = 1852 m

Temperatur: °C, F (Fahrenheit), K (Kelvin)

**In der Naturwissenschaft soll nur  
eine Einheit pro Größenart  
verwendet werden**

### 1.3.1. Das SI (Système International d'Unites)

Konvention: Verwendung von 7 Basiseinheiten

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

Definition der Basiseinheiten:

Realisierungsvorschrift im SI  
(Experiment)SI中的实现规则

Alle anderen Größenarten sind

abgeleitete Einheiten 派生单位

Definition der abgeleiteten Einheiten:

Zusammenhang mit Basiseinheiten  
(Formel)与基本单位的关系 (公式)

Beispiele:

Geschwindigkeit  $v$  abgeleitet

von Länge und Zeit

$$[v] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Energie  $E$  abgeleitet

von Masse, Länge und Zeit

$$[E] = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ J} \quad (\text{Joule})$$

1.3.1. Schreibweisen für physikalische Größen



In der Physik kommen sehr große und sehr kleine Zahlen vor.

Beispiele:

Leistung  $P = 6450000000 \text{ W}$   
Wellenlänge  $\lambda = 0,000000589 \text{ m}$

(1) Potenzschreibweise

Leistung  $P = 6,45 \cdot 10^9 \text{ W}$   
Wellenlänge  $\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

(2) Mit Präfix vor der Einheit

Leistung  $P = 6,45 \text{ GW}$   
Wellenlänge  $\lambda = 0,589 \mu\text{m} = 589 \text{ nm}$

Präfixe für SI-Einheiten

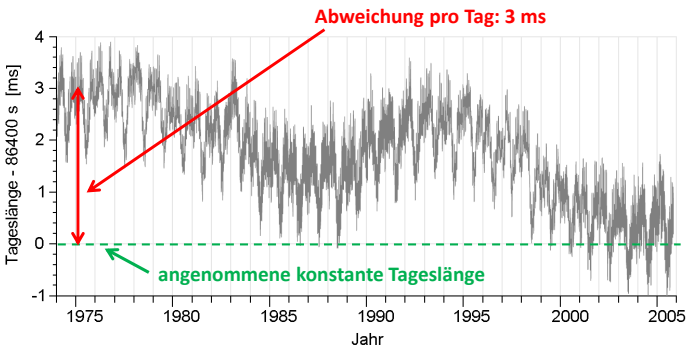
Faktor	Präfix	Symb.	Faktor	Präfix	Symb.
$10^1$	Deka	da	$10^{-1}$	Dezi	d
$10^2$	Hekto	h	$10^{-2}$	Zenti	c
$10^3$	Kilo	k	$10^{-3}$	Milli	m
$10^6$	Mega	M	$10^{-6}$	Mikro	$\mu$
$10^9$	Giga	G	$10^{-9}$	Nano	n
$10^{12}$	Tera	T	$10^{-12}$	Piko	p
$10^{15}$	Peta	P	$10^{-15}$	Femto	f
$10^{18}$	Exa	E	$10^{-18}$	Atto	a
$10^{21}$	Zetta	Z	$10^{-21}$	Zepto	z
$10^{24}$	Yotta	Y	$10^{-24}$	Yokto	y

1.3.2. Die Zeit t



Die Sekunde ist die SI-Basiseinheit der Zeit. 秒是SI的基本时间单位  
Die Abkürzung der Einheit Sekunde ist „s“.

**Historische Definition** (Weltzeit-Sekunde): „1 Sekunde entspricht der Dauer eines mittl. Sonnentags geteilt durch  $(24 \times 60 \times 60) = 86400$ “



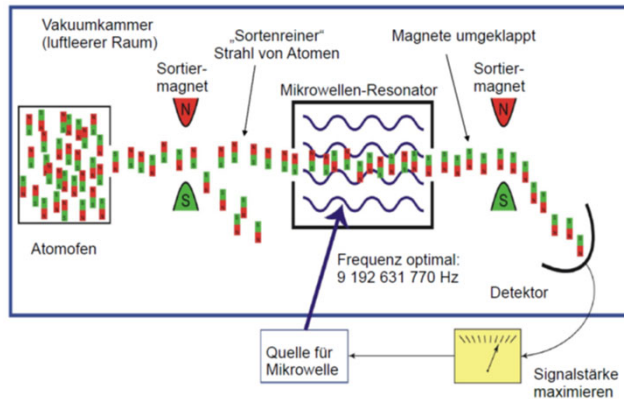
Die Drehung der Erde um ihre eigene Achse ist offensichtlich nicht sehr gleichmäßig (kein Präzisionsnormal).

1.3.2. Die Zeit  $t$ 

Die Sekunde ist die SI-Basiseinheit der Zeit.  
Die Abkürzung der Einheit Sekunde ist „s“.

**Aktuelle Definition** (Atomuhr-Sekunde, 1967): „1 Sekunde entspricht dem 9.192.631.770 - fachen der

Periodendauer des Überganges zwischen den beiden Hyperfeinstrukturzuständen des Nuklids  $^{133}\text{Cs}$ “



Prinzip einer Atomuhr

PTB Braunschweig  
www.ptb.de

1.3.2. Die Zeit  $t$ Weitere Einheiten der Zeit

Einheit    Abk.

1 Minute    min

1 Stunde    h

1 Tag        d

1 Jahr       y

Umrechnung → SI-Basis Einheiten

1 min = 60 s

1 h = 60 min = 3600 s

1 d = 24 h = 86400 s

1 y ≈ 365,24 d =  $31,6 \cdot 10^6$  s  
≈  $\pi \cdot 10^7$  s (Zufall!!)

Zeitskalen in der Physik

„Alter“ des Universums     $13 \cdot 10^9$  y =  $4 \cdot 10^{17}$  s

Bestehen der Zivilisation    10.000 y =  $3 \cdot 10^{11}$  s

Menschliches Leben    100 y =  $3 \cdot 10^9$  s

Umlauf Erde um Sonne    1 y =  $3 \cdot 10^7$  s

Drehung der Erde um Achse    0,003 y = 86.400 s

Vorlesung     $2 \cdot 10^{-4}$  y = 5.400 s

Lichtlaufzeit Erde-Sonne     $2 \cdot 10^{-5}$  y = 480 s

Lichtlaufzeit Erde-Mond     $3 \cdot 10^{-8}$  y = 1 s

„Augenblick“     $3 \cdot 10^{-9}$  y = 0,1 s

Periodendauer eines Tons     $3 \cdot 10^{-11}$  y = 0,001 s

Periodendauer von Licht     $1 \cdot 10^{-22}$  y =  $3 \cdot 10^{-15}$  s

### 1.3.2. Die Zeit $t$

#### Vorsicht:

„Zeit“ hat zwei Bedeutungen:

- „Zeitpunkt“ (engl. „time“) und „Zeitpunkte“ werden als „Zeitdauer“ von einem Referenzpunkt weg gemessen
- „Zeitdauer“ (engl. „duration“)

#### Zeitmessung:

- "Referenzvorgang" wird benötigt
- Messung der Zeitdauer eines beliebigen Vorgangs durch Vergleich mit der Dauer des Referenzvorgangs
- Es gibt 2 Klassen von Referenzvorgängen:

#### (1) Periodische Vorgänge:

Periodendauer bekannt:

- Erdrotation (Sonnenuhr)
- Pendeluhr
- Quarzuhr
- Atomuhr

#### (2) Aperiodische Vorgänge:

Zeitlicher Verlauf bekannt:

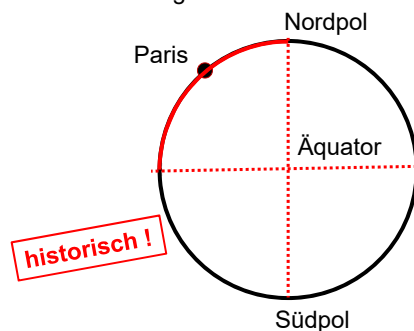
- Radionuklidmethode
- Sanduhr

### 1.3.2. Die Länge $s$

Die SI-Basiseinheit der Länge ist 1 Meter.  
Die Abkürzung der Einheit Meter ist „m“.

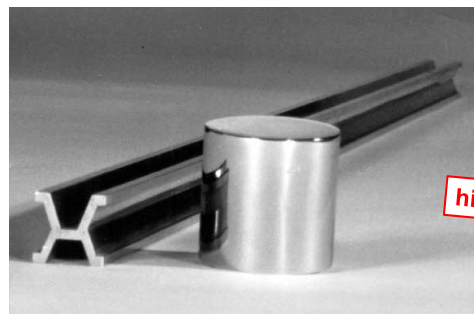
#### Ursprüngliche Definition (1795):

"1 Meter entspricht dem 10.000.000 Teil der Länge des Quadranten, auf dem Paris liegt."



#### Spätere Definition (1889):

„1 Meter entspricht der Länge des Archivmeters“. Das Archivmeter ist ein Platin-Iridium-Stab, der als Referenz dient („Ur-Meter“).



### 1.3.2. Die Länge s

Die SI-Basiseinheit der Länge ist 1 Meter  
Die Abkürzung der Einheit Meter ist „m“.

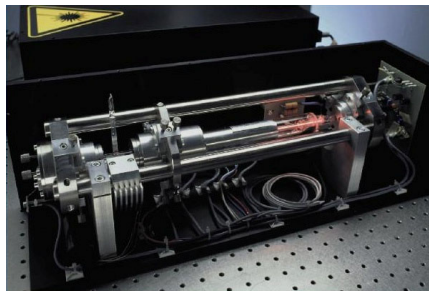
**Noch spätere Definition** (1960):

„1 Meter entspricht dem 1 650 763,73-fachen der Wellenlänge der von ungestörten Atomen des Nuklids  $^{86}\text{Kr}$  beim Übergang vom Zustand  $5d_5$  zum Zustand  $2p_{10}$  ausgesandten und sich im Vakuum ausbreitenden Strahlung.“

**Realisierung:**

Krypton-Laser mit der Wellenlänge  $\lambda = 605,78 \text{ nm}$

historisch !



Heute werden Laser für hochgenaue Längenmessungen eingesetzt,  
aber nicht zur Definition für 1 Meter

### 1.3.2. Die Länge s

Die SI-Basiseinheit der Länge ist 1 Meter  
Die Abkürzung der Einheit Meter ist „m“.

**Heute gültige Definition** (1983):

„1 Meter entspricht jener Strecke, die Licht im Vakuum im 1/299.792.458-ten Teil einer Sekunde zurück legt.“

aktuell gültig !

**Grundlage:**

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen (z.B. Licht) im Vakuum beträgt genau

$$c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

Dieser Wert ist unabhängig davon, wie schnell sich ein Beobachter bezüglich der Lichtquelle bewegt (Relativitätstheorie).



## 1.3.2. Die Länge s

Astronomische Längeneinheiten:

1 **Lichtjahr** (ly, „light year“) entspricht der Strecke, die Licht (im Vakuum) innerhalb eines Jahres zurücklegt

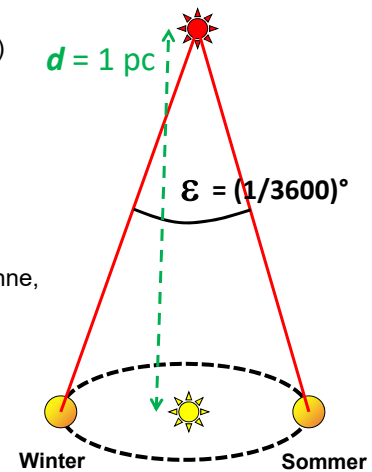
$$1 \text{ ly} \approx 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

1 **Parallaxensekunde** (pc, sprich „parsec“)

entspricht dem Abstand eines Sternes von der Sonne, in dem die Erdbahn unter einem Winkel  $\varepsilon = 1$  Bogensekunde erscheint.

(1 Bogensekunde =  $1/3600$  Grad)

$$1 \text{ pc} \approx 3,26 \text{ ly}$$



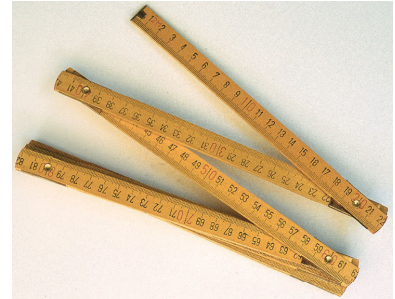
## 1.3.2. Die Länge s

Längenskalen in der Physik:

	Größe des Universums	$13 \cdot 10^9$	ly	=	$1 \cdot 10^{26}$	m
银河系的直径	Durchmesser Milchstraße	100.000	ly	=	$1 \cdot 10^{21}$	m
地球-太阳的距离	Entfernung Erde – Sonne	$150 \cdot 10^6$	km	=	$2 \cdot 10^{11}$	m
地球的直径	Durchmesser der Erde	6.380	km	=	$6 \cdot 10^7$	m
	Mensch	2	m			
声音的波长	Wellenlänge des Schalls	0,3	m			
一个头虱的长度	Länge einer Kopflaus	3	mm	=	$3 \cdot 10^{-3}$	m
头发直径	Haardurchmesser	50	μm	=	$5 \cdot 10^{-5}$	m
光的波长	Wellenlänge des Lichts	0,5	μm	=	$5 \cdot 10^{-7}$	m
原子直径	Atomdurchmesser	0,1	nm	=	$10^{-10}$	m
最敏感的干涉仪	empfindlichste Interferometer	0,01	am	=	$10^{-20}$	m

### 1.3.2. Die Länge s

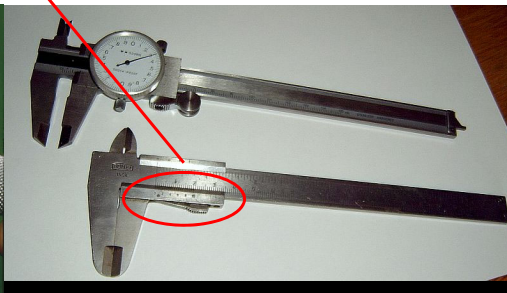
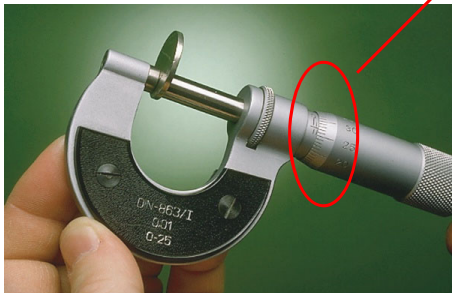
#### Längenmessung mit Maßstäben:



#### Längenmessung mit Endmaßen:

**Nonius**

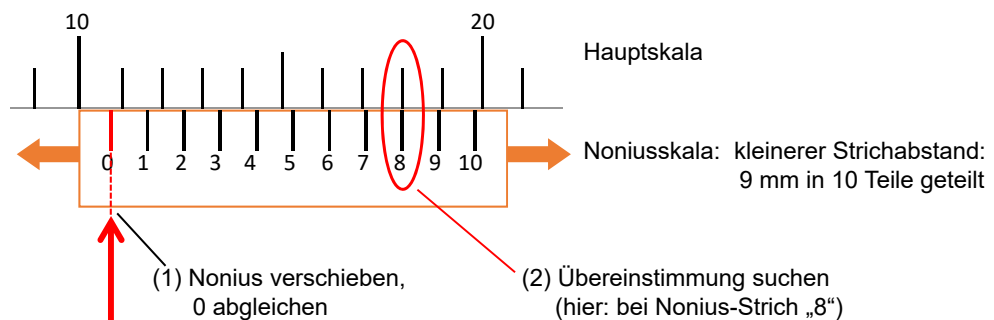
Mikrometer-  
schraube



Schieblehre

### 1.3.2. Die Länge s

#### Längenmessung mit Nonius-Skala:



Ergebnis mit Hauptskala: „Zwischen 10 mm und 11 mm“

Genauer, bitte! → Benutze den **Nonius**

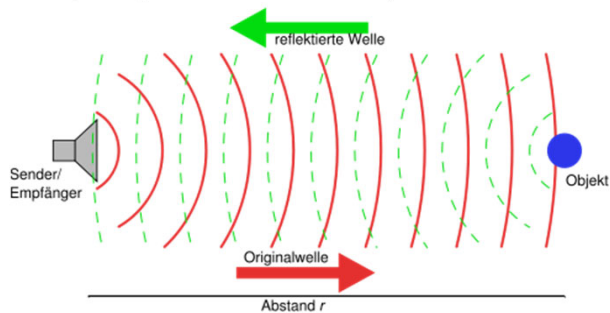
Ergebnis mit Noniusskala: „10,8 mm“

### 1.3.2. Die Länge $s$

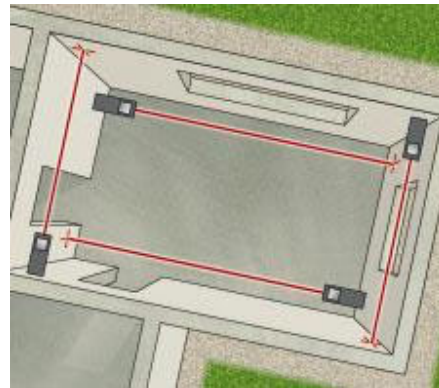
#### Optische Längenmessung: 光学长度测量。

Laser-Entfernungsmesser arbeiten  
nach zwei Prinzipien:

Laufzeitmessung: 10 m – 10 km  
(analog zur Definition von 1 m)



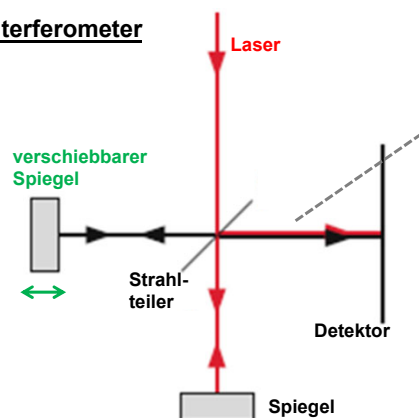
Frequenzmodulation mit Phasenmessung:  
10 cm – 100 m (Prinzip: Vorlesung OPTIK)



### 1.3.2. Die Länge $s$

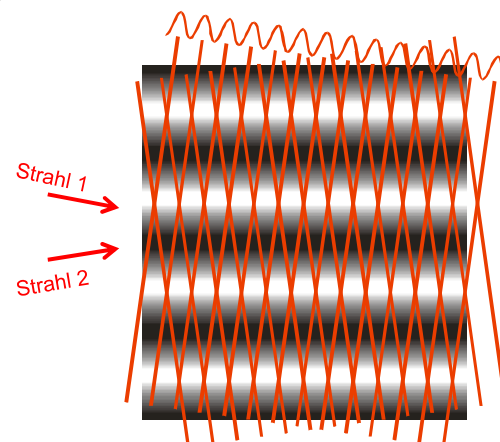
#### Optische Längenmessung: 光学长度测量: 激光干涉仪

##### Laser-Interferometer



Anordnung (z.B. Michelson-Interferometer)

Strahlen unter kleinem Winkel:

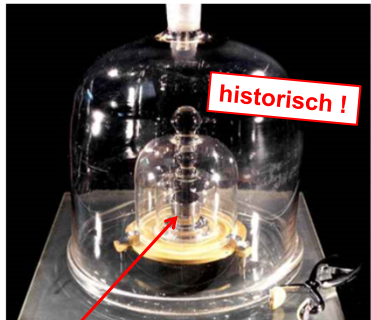


### 1.3.2. Die Masse $m$

Die SI-Basiseinheit der Masse ist 1 Kilogramm  
Die Abkürzung der Einheit Kilogramm ist „kg“.

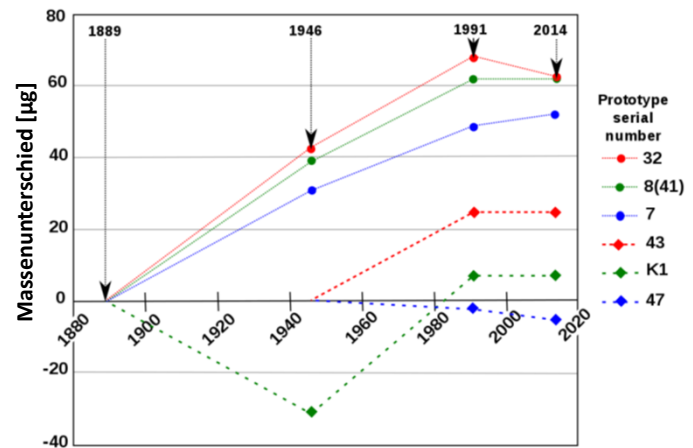
#### Definition bis Mai 2019:

„1 Kilogramm entspricht der Masse des Kilogramm-Prototyps ("Ur-Kilogramm").“



Das „Ur-Kilogramm“ in Sèvres bei Paris (Platin-Iridium-Legierung)

#### Problem: Konstanz fraglich und nicht überprüfbar



### 1.3.2. Die Masse $m$

Die SI-Basiseinheit der Masse ist 1 Kilogramm  
Die Abkürzung der Einheit Kilogramm ist „kg“.

#### Heute gültige Definition (2019):

„1 Kilogramm beruht darauf, dass die Naturkonstante ‚Plancksches Wirkungsquantum‘ genau den Wert

$$h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ Js hat.}$$

Dabei ist die Einheit  $1 \text{ Js} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}^2 / 1 \text{ s}$ , wobei Meter und Sekunde nach den SI-Definitionen realisiert werden müssen.“

aktuell gültig !

#### Plancksches Wirkungsquantum $h$ :

Basiskonstante der Quantenmechanik. Verknüpft z.B. die Frequenz  $\nu$  und die Mindestenergie  $E$  jeder Schwingung:

$$E = h \cdot \nu$$

Der Wert von  $h$  ist als konstant definiert.

#### Mögliche Experimente zur Realisierung:

##### „Avogadro-Projekt“:

Bestimme die Anzahl von Atomen in einer Kugel aus hochreinem Silizium

##### „Watt-Waage“ (engl.: Kibble balance)

Kompensiere Schwerkraft mit elektromagn. Kraft

### 1.3.2. Die Masse $m$

Die SI-Basiseinheit der Masse ist 1 Kilogramm  
Die Abkürzung der Einheit Kilogramm ist „kg“.

Quelle: PTB Braunschweig



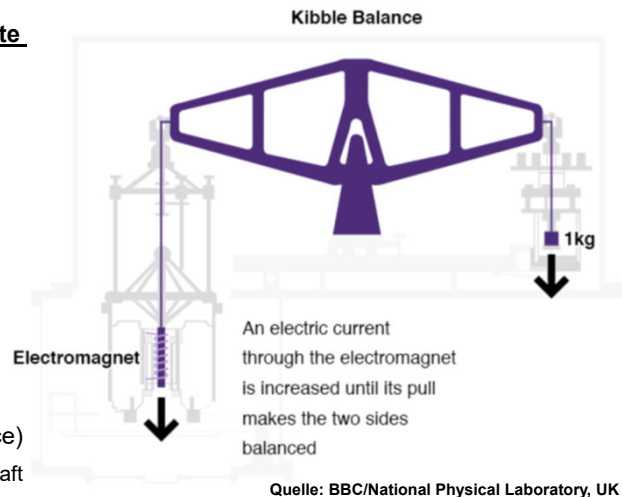
„Avogadro-Projekt“:

Bestimme die Anzahl von Atomen in einer Kugel  
aus hochreinem Silizium

„Watt-Waage“ (engl.: Kibble balance)

Kompensiere Schwerkraft mit elektromagn. Kraft

**Mögliche Experimente  
zur Realisierung der  
Masse 1 kg:**



### 1.3.2. Die Masse $m$

**Die atomare Masseneinheit:** Auf mikroskopischer Ebene benutzt man die  
Masse einzelnen Atomen als Einheit:

1 atomare Masseneinheit amu (atomic mass unit)  
entspricht 1/12 der Masse eines  $C^{12}$  - Kohlenstoffatoms.

$$1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Die atomare Masseneinheit eignet sich hervorragend  
zum genauen Vergleich der Masse atomarer Teilchen.  
Der Vergleich mit makroskopischen Objekten ist viel ungenauer.

**Das ist NICHT  
die SI-Definition !**

**Eigenschaften der Masse:** Träge Masse: Die Masse ist ein Maß für die Trägheit eines Körpers,  
also für seinen „Widerstand“ gegenüber Änderungen  
des Bewegungszustands.

Schwere Masse: Die Masse ist außerdem eine der Ursachen  
von Gravitation.

Warum „schwere Masse“ = „träge Masse“ ist unklar!

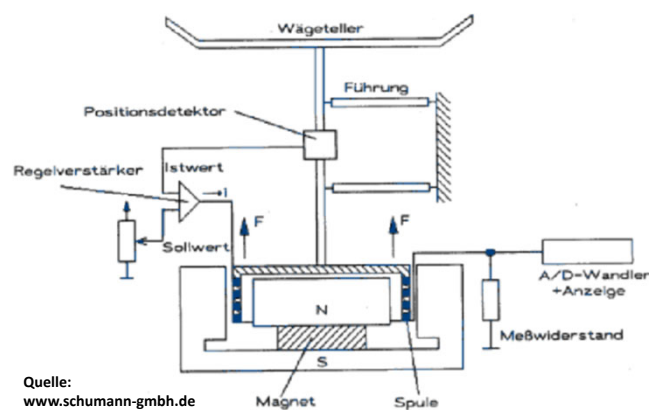
### 1.3.2. Die Masse $m$

#### Massenskalen in der Physik:

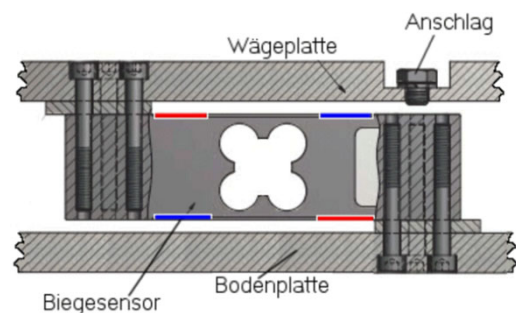
Masse des Universums	ca. $10^{53}$	kg
Masse der Sonne	$1,99 \cdot 10^{30}$	kg
Masse der Erde	$5,97 \cdot 10^{24}$	kg
Großer Lastkraftwagen	$35 \cdot 10^3$	kg
Mensch	75	kg
Maus	0,02	kg
Ameise 蚂蚁	$5 \cdot 10^{-6}$	kg
Menschliche DNA	$3,5 \cdot 10^{-12}$	kg
Gold-Atom 金原子	$6,97 \cdot 10^{-23}$	kg
Masse eines Elektrons	$9,1 \cdot 10^{-31}$	kg

### 1.3.2. Die Masse $m$

#### Massebestimmung: Beispiele



Elektrische Waage: Kompensation der Gewichtskraft durch elektromagnetische Kraft, Messung des nötigen Stroms



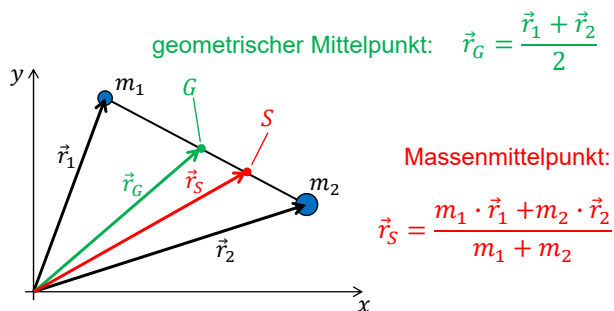
#### Elektronische Waage:

Z-förmige Anordnung mit 4 Biegesensoren.  
Bei Belastung:  
**Dehnung** und **Stauchung** verändert den Elektr. Widerstand der Sensoren.

## 1.3.2. Der Massenmittelpunkt (Schwerpunkt) 质量中心 (重力中心)

Definition:

Der **Massenmittelpunkt** eines Körpers ist jener Punkt, in dem man sich seine gesamte Masse vereinigt denken kann, um die Wirkung von Gravitation und Trägheit richtig zu berechnen.

Einfaches Beispiel:Berechnung:

$$\vec{r}_S = \frac{\sum \vec{r}_i \cdot m_i}{\sum m_i} \quad (\text{viele Einzelmassen})$$

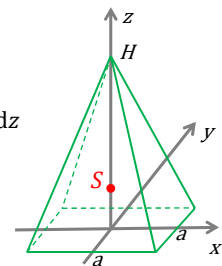
$$\vec{r}_S = \frac{\int \vec{r} \cdot \rho \cdot dV}{M} \quad (\text{kontinuierlicher Körper})$$

Beispiel: Quadratische Pyramide

$$z_s = \frac{\rho}{M} \cdot \int z \cdot dV$$

$$= \int_0^H z \cdot \left( a \cdot \frac{H-z}{H} \right)^2 dz$$

$$\rightarrow z_s = \frac{1}{4} \cdot H$$

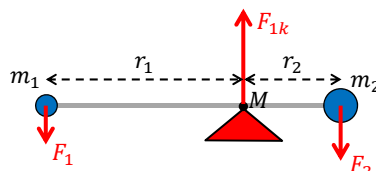


## 1.3.2. Der Massenmittelpunkt (Schwerpunkt)

Schwerpunkt:

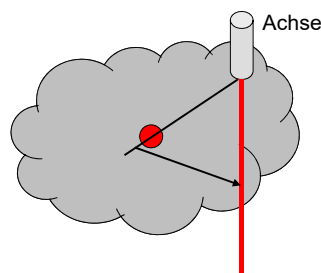
Wir können die Gravitationskraft, die auf alle Massenelemente eines Körpers wirkt, im Massenmittelpunkt summieren.

Wenn ein Körper im Schwerpunkt festgehalten wird, heben sich die Drehmomente aller Massenelemente auf.

Beispiel

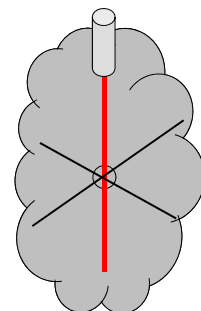
$$\text{Kräftegleichgewicht: } F_1 + F_2 = F_k$$

$$\text{Momentengleichgewicht: } F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

Bestimmung des Schwerpunkts:

Drehmoment wirkt so lange, bis Schwerpunkt genau unter dem Drehpunkt liegt.

Kreuzungspunkt der vertikalen Linien durch mehrere Achsen liefert den Schwerpunkt





### 1.3.3. Messfehler und Genauigkeit

- Messfehler:**
- Jedes Messergebnis hat eine gewisse Unsicherheit → „Messfehler“
  - Messfehler zeigen nicht, dass fehlerhaft gearbeitet wurde! → systembedingte Unsicherheit
  - Die Angabe der Fehler ist ein wesentlicher Bestandteil jedes experimentellen Ergebnisses!
  - Experimentelle Ergebnisse, die ohne Fehler angegeben werden, sind (oft) nur sehr eingeschränkt verwendbar.

**Fehlerabschätzung:**



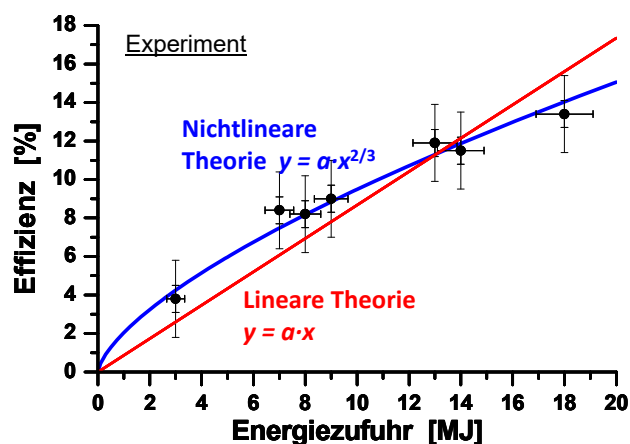
**Beispiel:** Breite  $b = 8,82 \pm 0,02$  cm?  
oder  $b = 8,8 \pm 0,1$  cm ?  
oder  $b = 9,0 \pm 0,5$  cm ?

**Beispiel für Abschätzung:**

Die Genauigkeit beträgt  $\pm 1$  mm.  
Daher hier:  $b = 8,8 \pm 0,1$  cm

### 1.3.3. Messfehler und Genauigkeit

Wenn Experimente mit Theorien verglichen werden,  
sind präzise Fehlerangaben entscheidend!



Wenn die Theorie nicht innerhalb der Fehlerbalken des Experiments liegt, gilt sie als falsifiziert.

Eine neue Theorie ist notwendig, die alle Daten innerhalb der Fehler gut beschreibt.



### 1.3.3. Messfehler und Genauigkeit

#### Angabe von experimentellen Fehlern:

Angabe als absoluter Fehler

Bsp: Geschwindigkeit  $v = 80 \pm 4 \text{ m/s}$

Angabe als relativer Fehler

Geschwindigkeit  $v = 80 \text{ m/s} \pm 5\%$

Angabe mit individuellem Fehler (selten):

Geschwindigkeit  $v = 80 \begin{matrix} +10 \\ -2 \end{matrix} \text{ m/s}$

#### Signifikante Stellen:

Regel:

Geben Sie jedes Messergebnis mit Fehler so genau an, dass der Fehler 1 oder 2 signifikante Ziffern enthält

Beispiele:  $3,058\,295\,004 \pm 0,015\,784\,934$  **NEIN !**

→  $3,058 \pm 0,016$

$3,058\,295\,004 \pm 0,000\,000\,138$  **NEIN !**

$3,058 \pm 0,000\,000\,14$  **NEIN !**

→  $3,058\,295\,00 \pm 0,000\,000\,14$

Gleiche Einheit:

$(3,058 \pm 0,016) \text{ m}$ , **nicht:**  $3,058 \text{ m} \pm 0,016$  oder  $3,058 \text{ m} \pm 1,6 \text{ cm}$

### 1.3.3. Messfehler und Genauigkeit

#### Schreibweise mit „signifikanten Stellen“

Regel:

Wenn kein Fehler explizit angegeben ist: Angabe einer Zahl bedeutet immer, dass die letzte Stelle noch sinnvoll ist.

Beispiele:  $L = 245 \text{ m} \rightarrow \text{Fehler } \Delta L \approx 0,5 \text{ m}$

$H = 1,82 \text{ m} \rightarrow \text{Fehler } \Delta H \approx 0,005 \text{ m}$

$t = 2 \text{ min} \rightarrow \text{Fehler } \Delta t \approx 0,5 \text{ min} = 30 \text{ s}$

#### Angabe berechneter Werte:

Regel:

Ein errechnetes Resultat kann höchstens so genau sein wie die Eingangszahlen!

Beispiele:  $4,14 / 1,27 = 3,259\,842\,52$  **NEIN !**  
 $= 3,26$

$7,178\,057\,835 / 2,62 = 2,739\,716\,731$  **NEIN !**  
 $= 2,74$