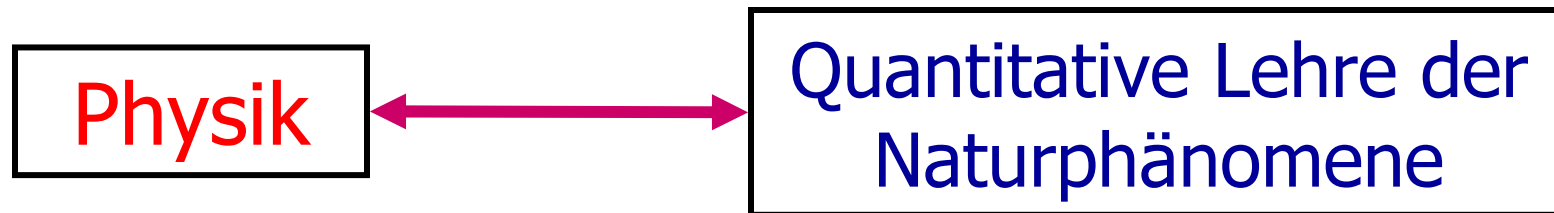


# Kap. 1 Einführung



1. Methoden der Physik
2. Physikalisches Weltbild und Disziplinen
3. Grundgrößen der Physik
4. Maßsysteme und Grundgrößen der Physik
5. Koordinatensysteme
6. Messgenauigkeit und Messfehler

# 1.1. Methoden der Physik



## Grundlegende Fragen:

Aufbau der Welt aus Grundbausteinen

- Struktur der Materie
- Struktur der Kraftfelder
- Struktur von Raum und Zeit

Wechselwirkung der Grundbausteine

**Naturgesetze**

# 1.1. Methoden der Physik

Physik



Quantitative Lehre der  
Naturphänomene

## Forschungsziele:

**a) Reduktion** komplizierter Phänomene auf  
möglichst **wenige fundamentale**  
Naturgesetze

Elementarteilchenphysik  
Quantenfeldtheorie...

**b) Konstruktion** effektiver  
makroskopischer **Gesetze** zur  
Beschreibung komplexer Systeme  
(aus typisch  $10^{23}$  Bausteinen)

Statistische Physik  
Festkörperphysik  
Chaos und Struktur...

**Sprache: Mathematische Formeln**

# 1.1. Methoden der Physik

Physik



Quantitative Lehre der  
Naturphänomene

## Wesentliche Elemente der Physik:

Theorie



Mathematisches Konzept, das *im Prinzip* eine Klasse von Naturphänomenen vollständig beschreibt

Modell



Vereinfachte Beschreibung komplexer Systeme durch andere physikalische Objekte/Prozesse

Experiment



Einzige zulässige Methode zum Test bzw. zur Falsifizierung von Theorien/Modellen

## 1.2. Das Physikalische Experiment

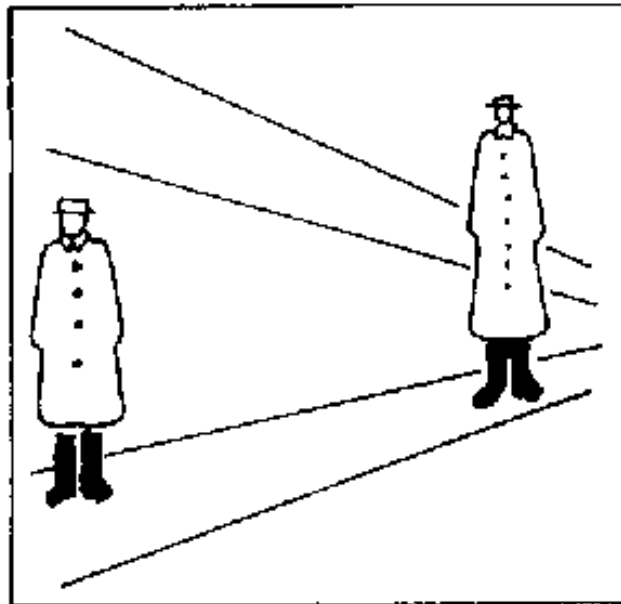
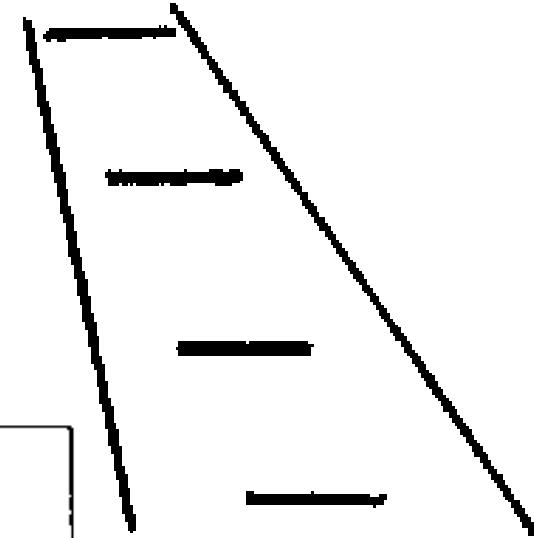
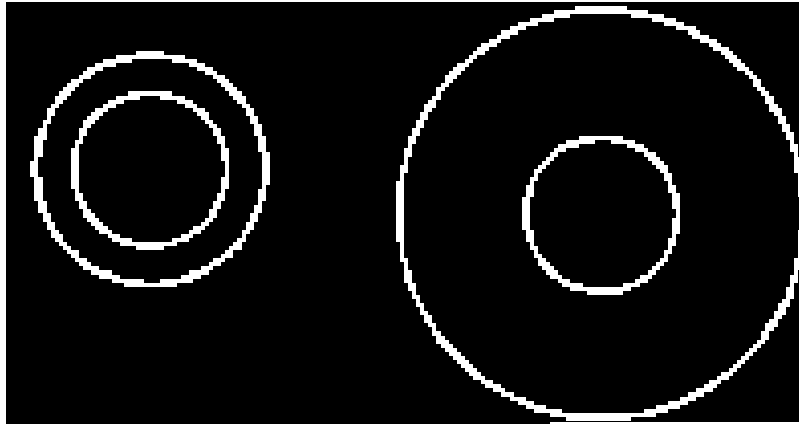


- Präparierung „reiner“ (oft einfacher) Systeme
- kontrollierte Eliminierung von Störeinflüssen
  - Beispiel: Reibung
- Ermittlung charakteristischer physikalischer Größen
  - **Zahlen** mit **Maßeinheiten**
- Korrektur verbleibender Störeinflüsse
- Quantifizierung der Messgenauigkeit
  - **Messfehler** → **Praktikum**
- Vergleich mit Theorie / Modell

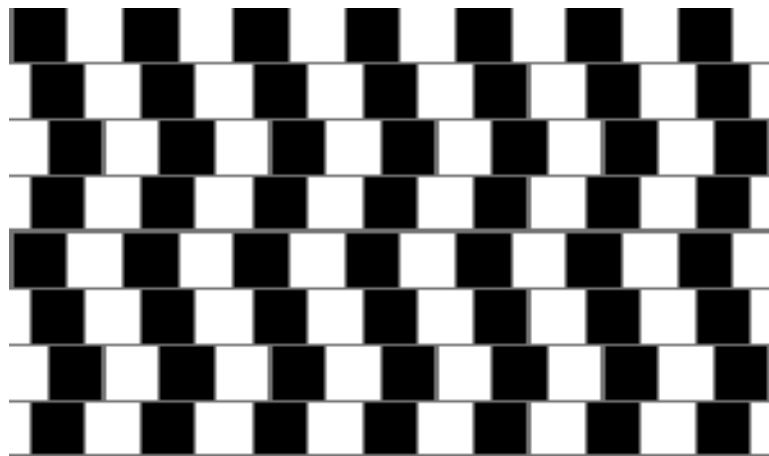
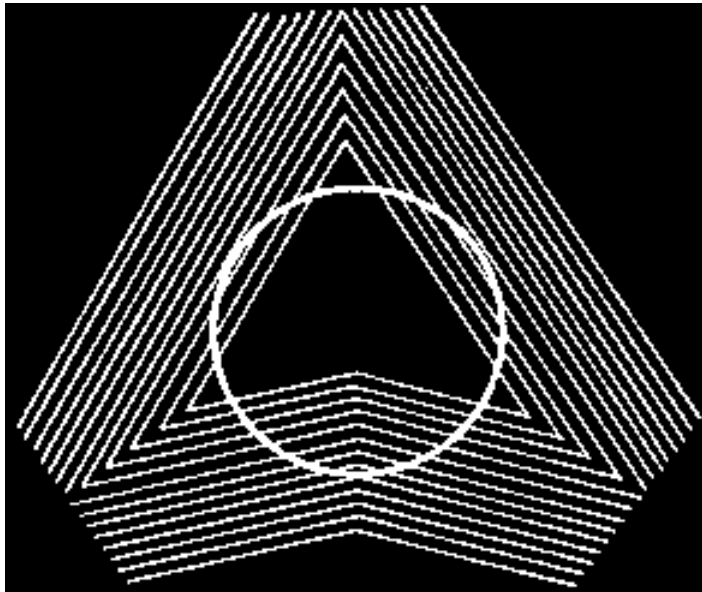
## 1.2. Messgeräte $\leftrightarrow$ Objektive Experimente



## 1.2. Messgeräte $\leftrightarrow$ Objektive Experimente

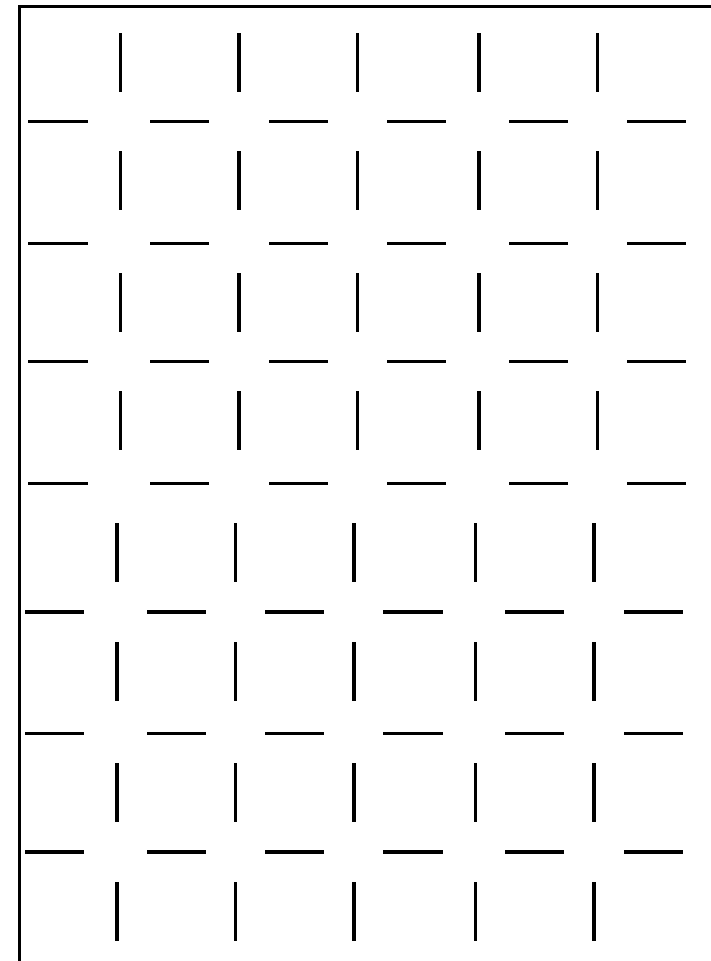
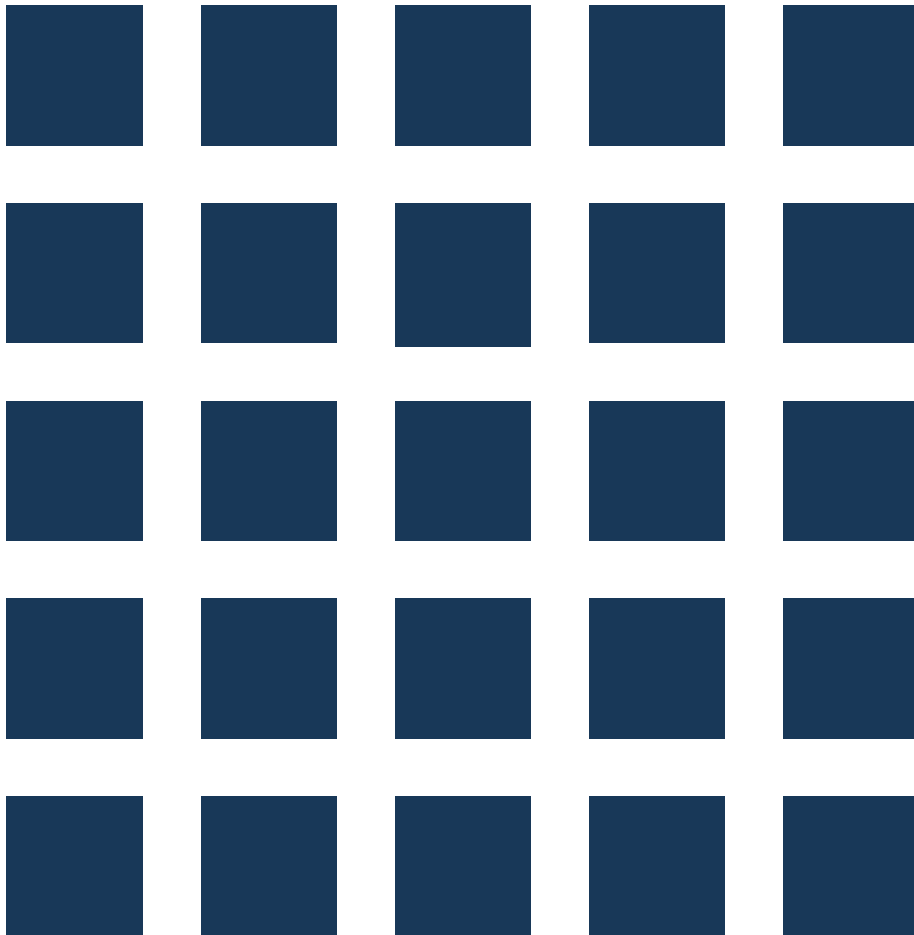


## 1.2. Messgeräte $\leftrightarrow$ Objektive Experimente





## 1.2. Messgeräte $\leftrightarrow$ Objektive Experimente

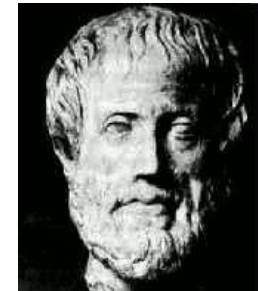


# 1.2. Physikalische Disziplinen



## Altertum:

- **Pythagoras** (572 – 492 v.Chr.): Mathematische Methoden
- **Aristoteles** (384 – 322 v.Chr.): Naturphilosophie



## Neuzeit (ab ca. 1500 n.Chr.):

- **Galilei** (1574 – 1642): Einführung des Experiments
- **Newton** (1642 – 1727): Synthese Physik / Mathematik  
1687: „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*“  
⇒ Newtonsche Mechanik
- **Blüte der Experimentalphysik:** Struktur der Materie, Optik, Elektrizität, Magnetismus, Thermodynamik, statistische Physik
- **Maxwell** (1831 – 1879): Vereinheitlichte Theorie von  
Elektrizität + Magnetismus + Optik

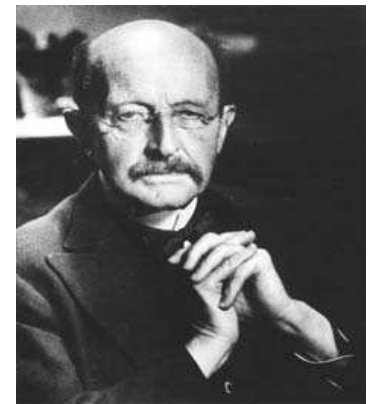


## 1.2. Physikalische Disziplinen



### Moderne Physik (ab ca. 1900 n.Chr. ):

- Relativitätstheorie (**Einstein**)
- Quantentheorie (**Planck**, Schrödinger, Heisenberg,... )
- Atomphysik (Bohr, Sommerfeld, ... )
- Kernphysik (Rutherford, ... )
- Elementarteilchenphysik (Pauli, Dirac, Glashow, Salam, Weinberg, ... )

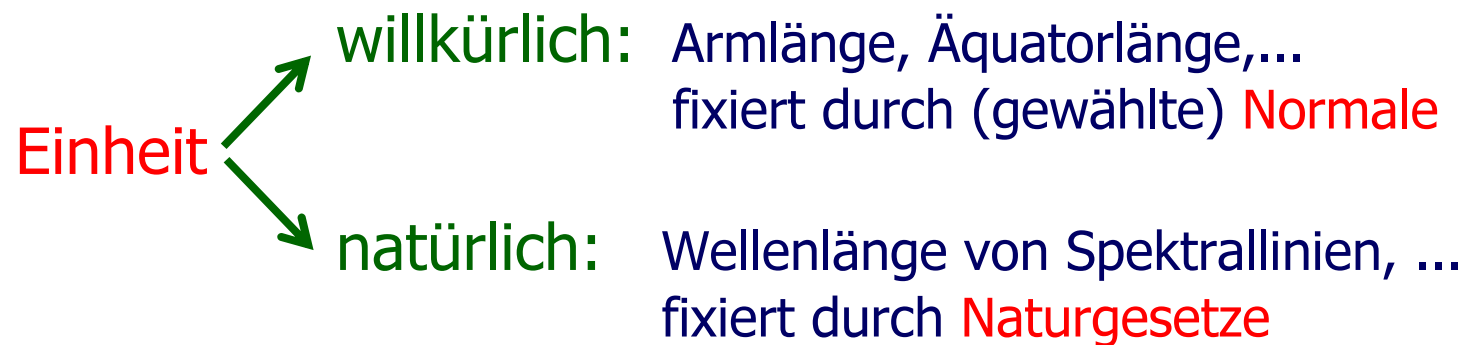


## 1.2. Ausstrahlung in andere Disziplinen

- **Chemie** „Angewandte Quantenphysik“: Molekülstrukturen, chemische Bindung, Reaktionsdynamik, ...
- **Biologie / Biophysik**
  - Strukturanalyse  
(Mikroskopie, Röntgenbeugung, freie Elektronenlaser,... )
  - Zelluläre Transportphänomene ...
- **Medizin**
  - Röntgentechnik, Tumorbestrahlung, Kernspin-Tomographie, PET, Synchrotronstrahlung und Angiographie, ...
- **Astronomie, Geophysik, Meteorologie, Umweltschutz**
- **alternative Energien, Nachrichtentechnik, Computertechnologie, neue Materialien, Elektronik, etc. etc. etc.**
- **Naturphilosophie und Ethik**

# 1.3. Massysteme und Grundgrößen

Physikalische Größe  $\rightarrow$  Zahl + (Maß)-Einheit



Maßsystem  $\rightarrow$  Menge von Grundgrößen mit Einheiten



# 1.3. Einheitensysteme

Das **SI-System** ( *Système International d'Unités* )

Grundgröße	Einheit	Abkürzung	
Länge	Meter	m	} <b>MKS-System</b> ( Mechanik )
Zeit	Sekunde	s	
Masse	Kilogramm	kg	
Temperatur	Kelvin	K	} Zurückführbar auf MKS
Elektrischer Strom	Ampere	A	
Lichtstärke	Candela	Cd	
Substanzmenge	Mol	mol	

## 1.3. Einheitensysteme

### Das **CGS-System**

Grundgröße	Einheit	Abkürzung
Länge	Zentimeter	cm
Zeit	Sekunde	s
Masse	Gramm	g
Temperatur	Kelvin	K
Elektrische Ladung	Electrostatic Unit	esu
Lichtstärke	Candela	Cd
Substanzmenge	Mol	mol

Nach internationaler Vereinbarung nicht mehr gebräuchlich...  
Jedoch: Besonders in der Theorie beliebt (weniger Konstanten-Faktoren)

## 1.3. Abgeleitete Größen

mathematische Kombination von Grundgrößen

**Dimension:** Maßeinheit der abgeleiteten Größe

**Beispiel:** Geschwindigkeit  $v = d(\text{Länge}) / d(\text{Zeit}) = dx / dt$

$$\text{Dimension } [v] = \frac{[dx]}{[dt]} = \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{ms}^{-1}$$

⇒ Konsistenztests von Gleichungen:

- ✓ Haben alle Summanden die gleiche Dimension ?
- ✓ Haben beide Seiten der Gleichung die gleiche Dimension ?



# 1.3. Präfix von Dimensionen



Präfix	Symbol	Faktor
Yotta	Y	$10^{24}$
Zetta	Z	$10^{21}$
Exa	E	$10^{18}$
Peta	P	$10^{15}$
Tera	T	$10^{12}$
Giga	G	$10^9$
Mega	M	$10^6$
kilo	k	$10^3$

deci      d       $10^{-1}$

Präfix	Symbol	Faktor
yocot	y	$10^{-24}$
zeto	z	$10^{-21}$
atto	a	$10^{-18}$
femto	f	$10^{-15}$
pico	p	$10^{-12}$
nano	n	$10^{-9}$
mikro	$\mu$	$10^{-6}$
milli	m	$10^{-3}$

centi      c       $10^{-2}$

# 1.4. Definition der Grundgrößen

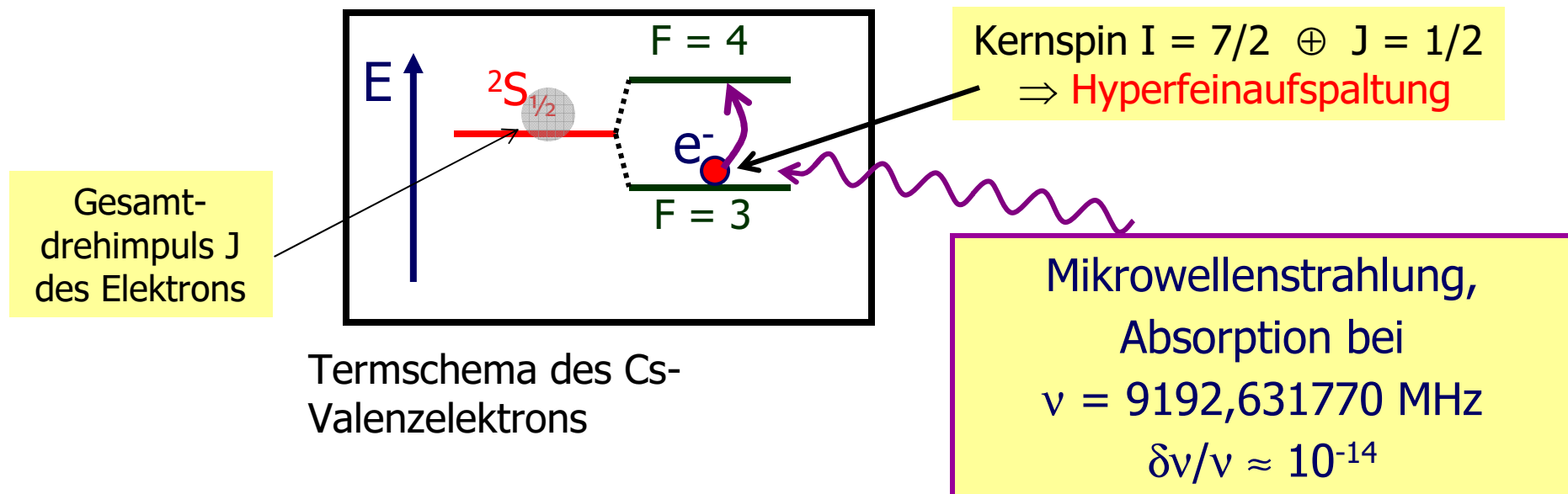


## a) Zeitmessung:

Alte Einheiten (willkürlich): **Sonntag; Sterntag**  $\leftrightarrow$  Erdrotation

Moderne (natürliche) Einheit: **Cäsium-Atomuhr**

Nicht exakt konstant



# 1.4. Zeitskalen der Natur

Orders of magnitude (time)

Factor (s)	Multiple	Symbol	Definition	Comparative examples & common units	Orders of magnitude
$10^{-44}$		$t_p$	<b>Planck time</b> is the unit of time of the natural units system known as Planck units. <sup>[1]</sup>	The shortest or earliest meaningful interval of time that theoretical physics can describe and consequently the youngest the known universe can be measured, after the Big Bang went off. $\approx 5.4 \times 10^{-44}$ s.	$10^{-44}$ s
$10^{-24}$	1 yoctosecond	ys <sup>[2]</sup>	<b>Yoctosecond</b> , ( <i>yocto-</i> + <i>second</i> ), is one quadrillionth (in the long scale) or one septillionth (in the short scale) of a second.	<b>0.3 ys</b> : mean life of the W and Z bosons. <small>[citation needed]</small> <b>0.5 ys</b> : time for top quark decay, according to the Standard Model. <b>1 ys</b> : time taken for a quark to emit a gluon. <b>23 ys</b> : half-life of <sup>7</sup> H.	1 ys and less, 10 ys, 100 ys
$10^{-21}$	1 zeptosecond	zs	<b>Zeptosecond</b> , ( <i>zepto-</i> + <i>second</i> ), is one trillionth of one billionth of one second.	<b>7 zs</b> : half-life of helium-9's outer neutron in the second nuclear halo. <b>17 zs</b> : approximate period of electromagnetic radiation at the boundary between gamma rays and X-rays. <b>300 zs</b> : approximate typical cycle time of X-rays, on the boundary between hard and soft X-rays	1 zs, 10 zs, 100 zs
$10^{-18}$	1 attosecond	as		<b>100 attoseconds</b> : shortest measured period of time. <sup>[3][4]</sup>	1 as, 10 as, 100 as
$10^{-15}$	1 femtosecond	fs		cycle time for 390 nanometre light, transition from visible light to ultraviolet	1 fs, 10 fs, 100 fs
$10^{-12}$	1 picosecond	ps		<b>1 ps</b> : half-life of a bottom quark <b>4 ps</b> : Time to execute one machine cycle by an IBM Silicon-Germanium transistor	1 ps, 10 ps, 100 ps

# 1.4. Zeitskalen der Natur



$10^{-9}$	1 nanosecond	ns		<p><b>1 ns:</b> Time to execute one machine cycle by a 1GHz microprocessor</p> <p><b>1 ns:</b> Light travels 12 inches (30 cm)</p> <p><b>1,000,000,000 nanoseconds:</b> 1 second</p>	1 ns, 10 ns, 100 ns
$10^{-6}$	1 microsecond	$\mu$ s		<p>sometimes also abbreviated <math>\mu</math>sec</p> <p><b>1 <math>\mu</math>s:</b> Time to execute one machine cycle by an Intel 80186 microprocessor</p> <p><b>4-16 <math>\mu</math>s:</b> Time to execute one machine cycle by a 1960s minicomputer</p>	1 $\mu$ s, 10 $\mu$ s, 100 $\mu$ s
$10^{-3}$	1 millisecond	ms		<p><b>4-8 ms:</b> typical seek time for a computer hard disk</p> <p><b>50-80 ms:</b> Blink of an eye</p> <p><b>150-300 ms:</b> Human reflex response to visual stimuli</p>	1 ms, 10 ms, 100 ms
$10^{-2}$	1 centisecond	cs			
$10^0$	1 second	s		<p><b>1 s:</b> "One Mississippi" said aloud</p> <p><b>1 s:</b> 9,192,631,770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the cesium-133 atom.<sup>[5]</sup></p> <p><b>60 s:</b> 1 minute</p>	1 s, 10 s, 100 s

# 1.4. Zeitskalen der Natur

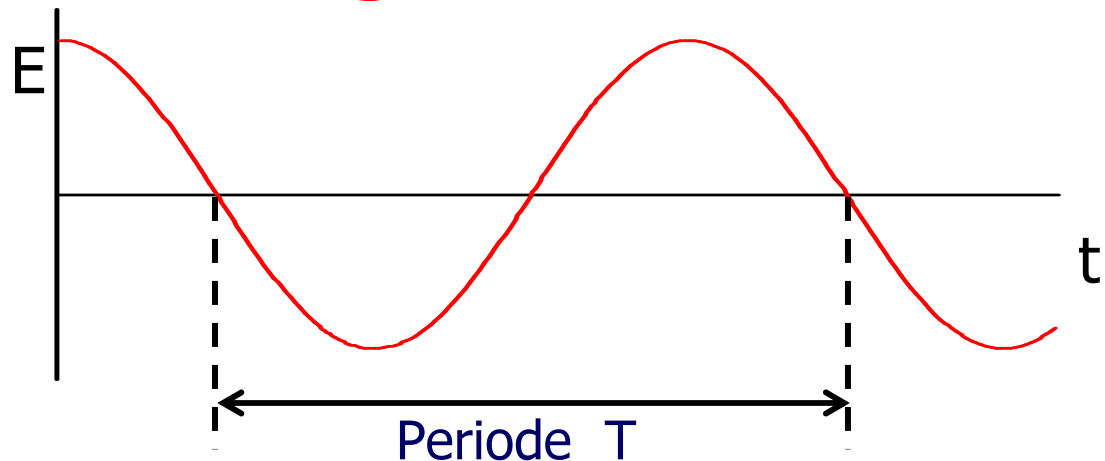


$10^3$	1 kilosecond (16.7 minutes)	ks		3.6 ks: 3600 s or 1 hour 86.4 ks: 86 400 s or 1 day 604.8 ks: 1 week	$10^3$ s, $10^4$ s, $10^5$ s
$10^6$	1 megasecond (11.6 days)	Ms		month = $2.6 \times 10^6$ s year = 31.6 Ms = $10^{7.50}$ s $\approx \pi \times 10^7$ s	$10^6$ s, $10^7$ s, $10^8$ s
$10^9$	1 gigasecond (32 years)	Gs		century = 3.16 Gs $\approx \pi \times 10^9$ s millennium = 31.6 Gs $\approx \pi \times 10^{10}$ s	$10^9$ s, $10^{10}$ s, $10^{11}$ s
$10^{12}$	1 terasecond (32 000 years)	Ts		eon = 31.6 Ts $\approx \pi \times 10^{13}$ s	$10^{12}$ s, $10^{13}$ s, $10^{14}$ s
$10^{15}$	1 petasecond (32 million years)	Ps		aeon = 31.6 Ps $\approx \pi \times 10^{16}$ s 430 Ps = $4.3 \times 10^{17}$ s $\approx$ 13.7 billion years, the approximate age of the Universe	$10^{15}$ s, $10^{16}$ s, $10^{17}$ s
$10^{18}$	1 exasecond (32 billion years)	Es		0.43 Es $\approx$ the approximate age of the Universe	$10^{18}$ s, $10^{19}$ s, $10^{20}$ s
$10^{21}$	1 zettasecond (32 trillion years)	Zs			$10^{21}$ s, $10^{22}$ s, $10^{23}$ s
$10^{24}$	1 yottasecond (32 quadrillion years)	Ys			$10^{24}$ s, $10^{25}$ s, $10^{26}$ s and more

# 1.4. Definition der Grundgrößen



Mikrowelle, elektrisches Feld als Funktion der **Zeit**:



**Definition:** 1 Sekunde ist das Zeitintervall für 9192631770,0 Schwingungen der Mikrowelle bei Absorption durch den Hyperfeinstrukturübergang im Cäsium-Atom

**Frequenz** (periodischer Vorgang)

$$\nu = \frac{1}{T}$$

$$[\nu] = \text{Hertz} = \text{Hz} = \text{s}^{-1}$$

**Zerfallsrate (Aktivität)**  
(stochastischer Vorgang)

$$A = \frac{\langle N \rangle|_{\Delta t}}{\Delta t}$$

$$[A] = \text{Bequerel} = \text{Bq} = \text{s}^{-1}$$

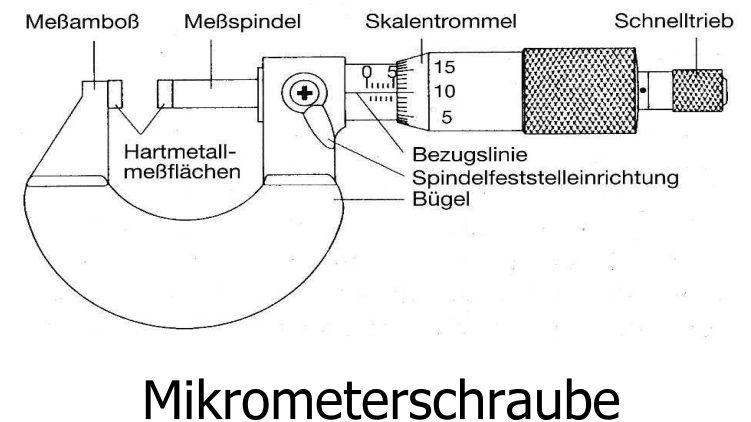
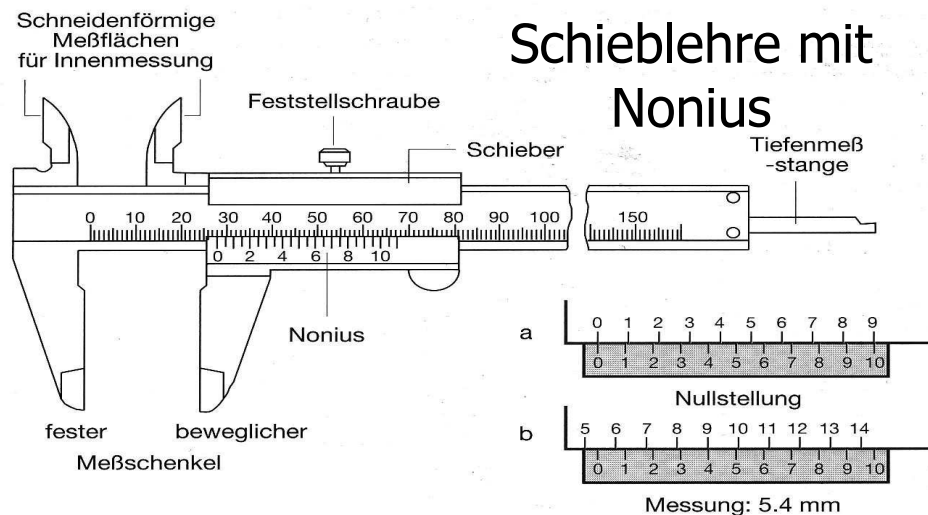
# 1.4. Definition der Grundgrößen

## b) Längenmessung:

Alte Einheiten (willkürlich): **Normalmeter** (Platin-Iridium-Stab unter definierten Umweltbedingungen)

Moderne (natürliche) Einheit: mittels **Lichtgeschwindigkeit**

**Definition:** 1 Meter ist die Strecke, die Licht im Vakuum in der Zeitspanne  $\Delta t = 1 / 299792485$  s zurücklegt.



# 1.4. Längenskalen der Natur



Section	Range (m)		Unit	Example Items
	$\geq$	$<$		
Subatomic	0	$10^{-15}$	am	electron, quark, string
Atomic to Cellular	$10^{-15}$	$10^{-12}$	fm	proton, neutron
	$10^{-12}$	$10^{-9}$	pm	wavelength of gamma rays and X-rays, hydrogen atom
	$10^{-9}$	$10^{-6}$	nm	DNA helix, virus, wavelength of optical spectrum
Human Scale	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$\mu\text{m}$	bacterium, fog water droplet, human hair <sup>[1]</sup>
	$10^{-3}$	$10^0$	mm	mosquito, golf ball, soccer ball,
	$10^0$	$10^3$	m	human being, American football field, Eiffel Tower
	$10^3$	$10^6$	km	Mount Everest, length of Panama Canal, asteroid
Astronomical	$10^6$	$10^9$	Mm	the Moon, Earth, one light-second
	$10^9$	$10^{12}$	Gm	Sun, one light-minute, Earth's orbit
	$10^{12}$	$10^{15}$	Tm	orbits of outer planets, Solar System,
	$10^{15}$	$10^{18}$	Pm	one light-year; distance to Proxima Centauri
	$10^{18}$	$10^{21}$	Em	galactic arm
	$10^{21}$	$10^{24}$	Zm	Milky Way, distance to Andromeda Galaxy
	$10^{24}$	$\infty$	Ym	visible universe

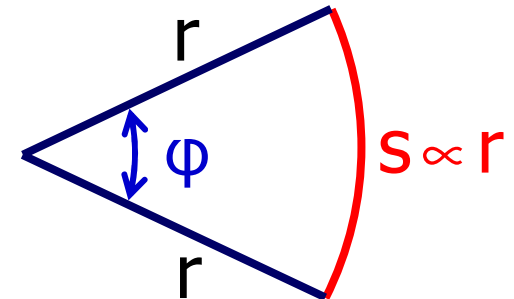


# 1.4. Definition der Grundgrößen

## Längenmessung $\Rightarrow$ Winkelmessung:

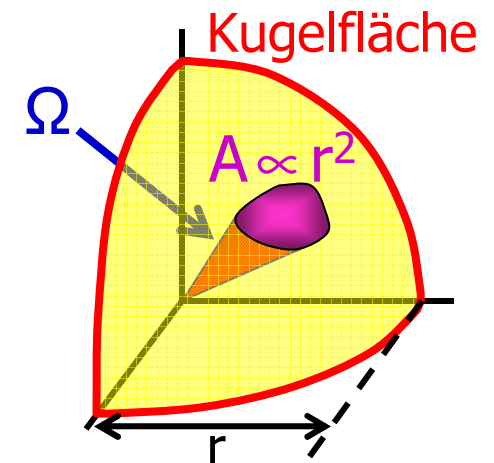
Bogenmaß:  $\varphi$  [ rad ] =  $s / r$   
 1 rad = 1 Radiant

Gradmaß: 1 Grad =  $1^\circ = ( 2\pi / 360 )$  rad  
 1 Minute =  $1' = 1^\circ / 60$   
 1 Sekunde =  $1'' = 1' / 60$



Kreisumfang =  $2\pi r \Rightarrow$  Vollkreis hat  $2\pi$  rad bzw.  $360^\circ$

Raumwinkel:  $\Omega$  [ Sterad ] =  $A / r^2$   
 1 Sterad = 1 Steradian



Kugelfläche =  $4\pi r^2 \Rightarrow$  Vollkugel hat  $4\pi$  Sterad