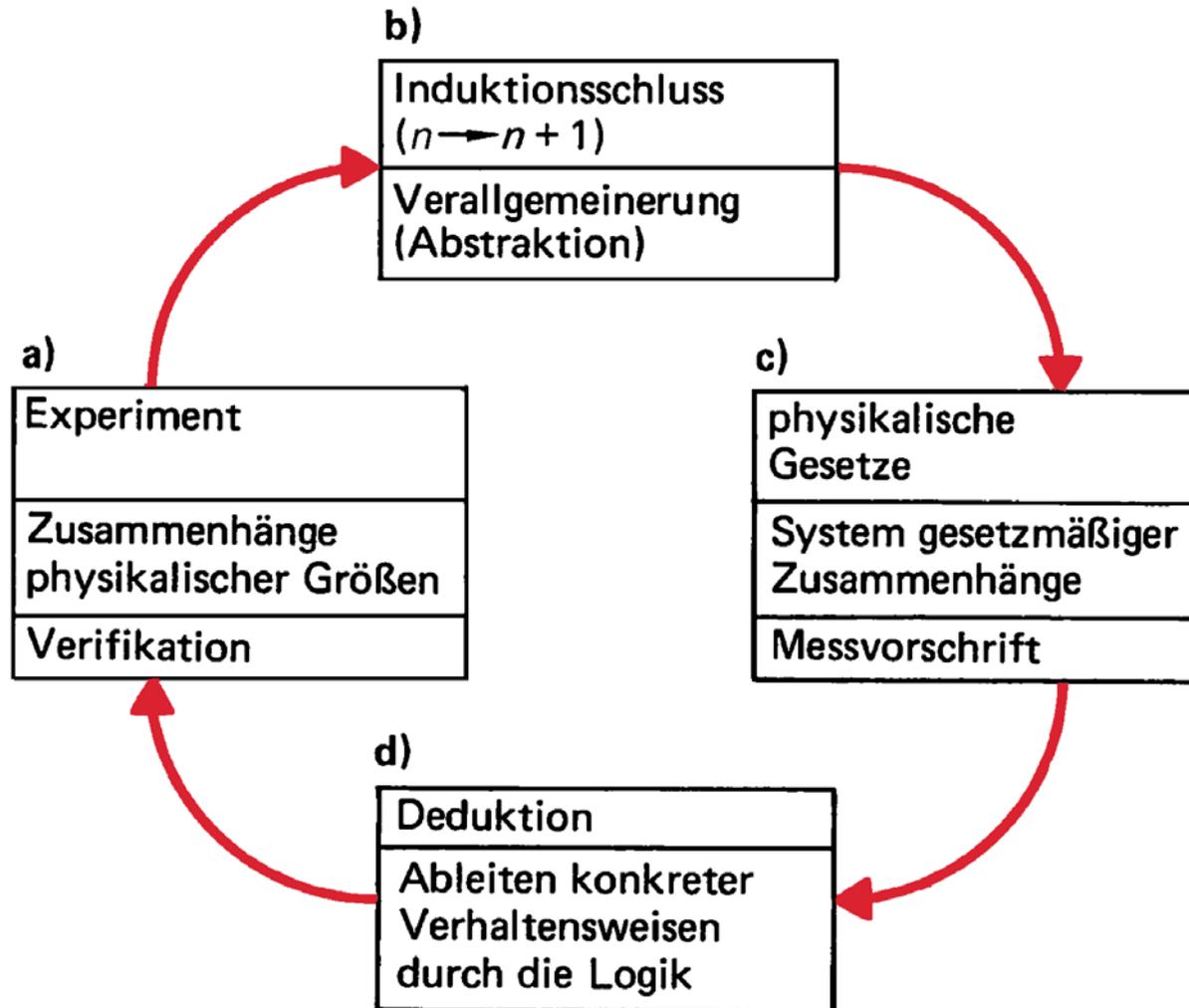


# PHYSIK

φυσική *physikē*

wissenschaftliche Erforschung  
der Naturerscheinungen



**Abb. 1.1** Regelkreis der physikalischen Erkenntnis

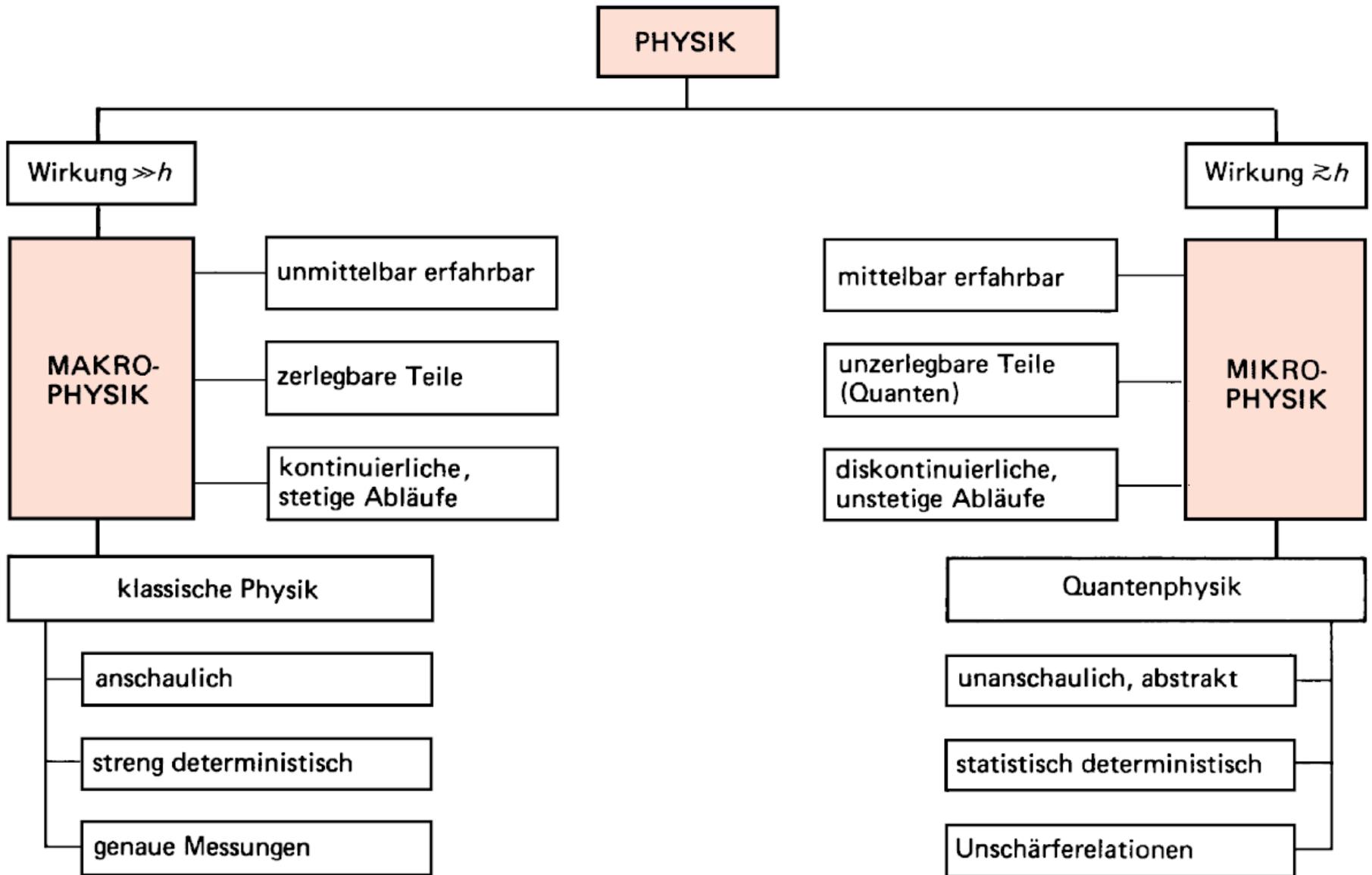


Abb. 1.2 Bereiche der physikalischen Erkenntnis

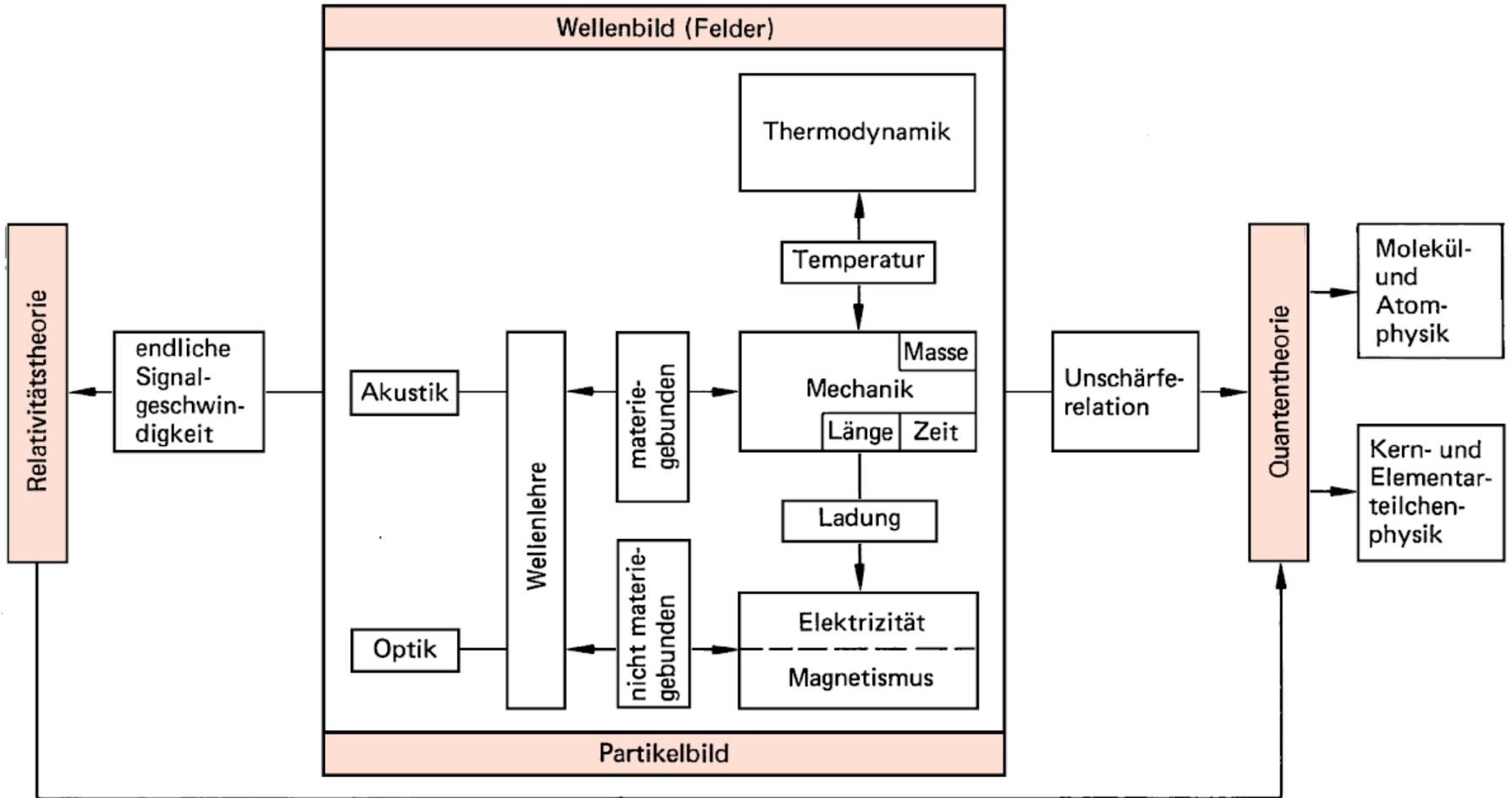


Abb. 1.3 Gebiete der Physik

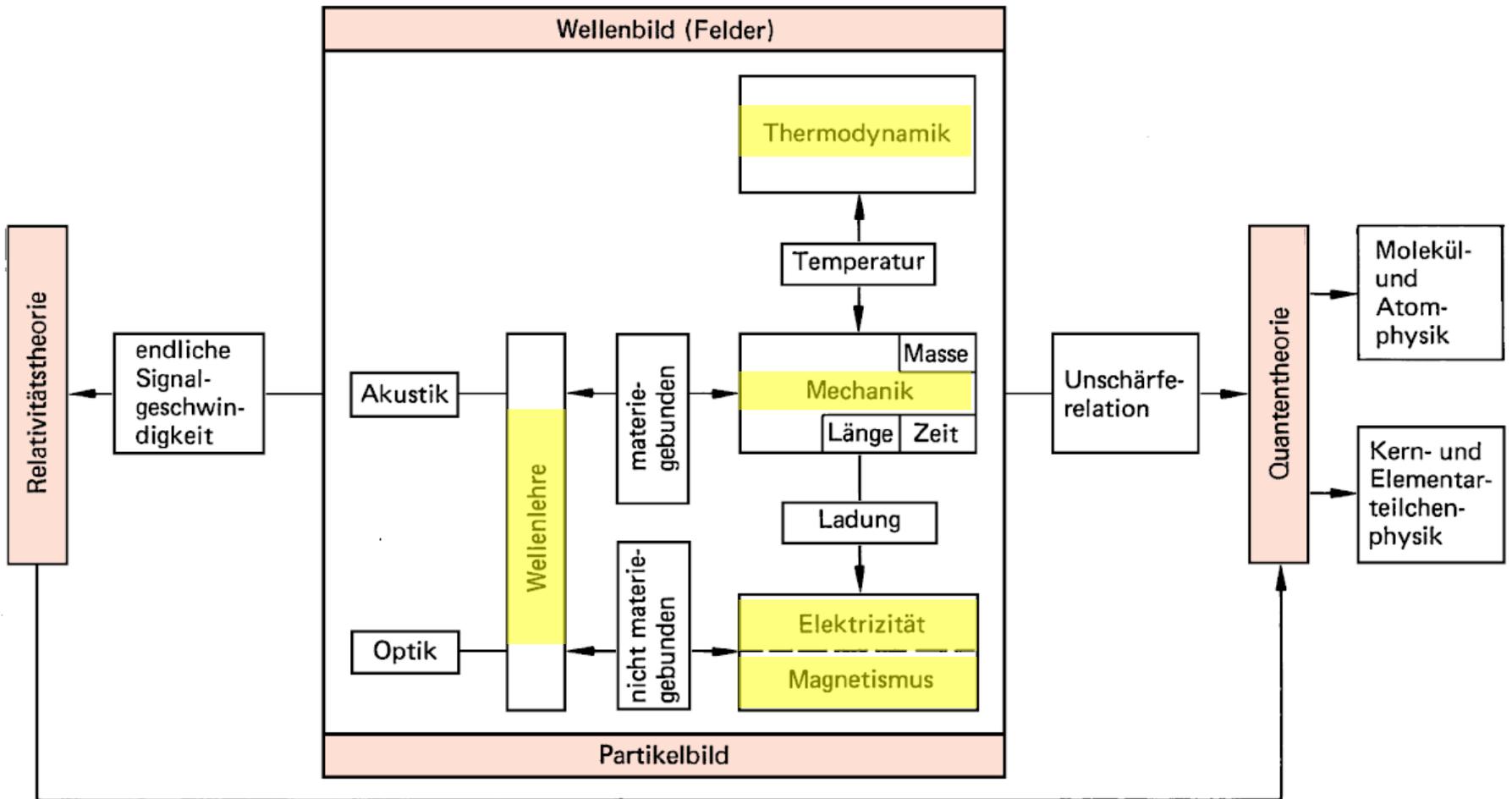


Abb. 1.3 Gebiete der Physik

**Tabelle 1.2** Basisgrößen, Basiseinheiten und Definitionen im SI-Maßsystem

Basisgröße	Basiseinheit	Symbol	Definition	relative Unsicherheit
Zeit	Sekunde	s	1 Sekunde ist das 9 192 631 770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustands von Atomen des Nuklids $^{133}\text{Cs}$ entsprechenden Strahlung.	$10^{-14}$
Länge	Meter	m	1 Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von 1/299 792 458 Sekunden durchläuft.	$10^{-14}$
Masse	Kilogramm	kg	1 Kilogramm ist die Masse des internationalen Kilogrammprototyps.	$10^{-9}$
elektrische Stromstärke	Ampere	A	1 Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen Stroms, der, durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1 Meter voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem kreisförmigem Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je 1 Meter Leiterlänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorruft.	$10^{-6}$
Temperatur	Kelvin	K	1 Kelvin ist der 273,16-te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.	$10^{-6}$
Lichtstärke	Candela	cd	1 Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz 540 THz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung 1/683 W/sr beträgt.	$5 \cdot 10^{-3}$
Stoffmenge	Mol	mol	1 Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso viel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 12/1 000 Kilogramm des Kohlenstoffnuklids $^{12}\text{C}$ enthalten sind.	$10^{-6}$



Standard-Meter, Rue de Vaugirard, Paris (Marmor)



Kopie Nummer 27 des [Urmeters](#) aus Platin-Iridium, die 1889 angefertigt wurde. Sie war von 1893 bis 1960 in den USA als [Maßverkörperung](#) der Längeneinheit Meter in Gebrauch.



„Bureau International des Poids et Mesures” BIPM

Sevres / Paris



Eine Krypton-86-Lampe, deren zinnoberrote Spektrallinie (Wellenlänge 605,6125 nm) zwischen 1960 und 1983 zur Meterdefinition herangezogen wurde / NIST Museum, USA

**Tabelle 1.2** Basisgrößen, Basiseinheiten und Definitionen im SI-Maßsystem

Basisgröße	Basiseinheit	Symbol	Definition	relative Unsicherheit
Zeit	Sekunde	s	1 Sekunde ist das 9 192 631 770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustands von Atomen des Nuklids $^{133}\text{Cs}$ entsprechenden Strahlung.	$10^{-14}$
Länge	Meter	m	1 Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von 1/299 792 458 Sekunden durchläuft.	$10^{-14}$
Masse	Kilogramm	kg	1 Kilogramm ist die Masse des internationalen Kilogrammprototyps.	$10^{-9}$
elektrische Stromstärke	Ampere	A	1 Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen Stroms, der, durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1 Meter voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem kreisförmigem Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je 1 Meter Leiterlänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorruft.	$10^{-6}$
Temperatur	Kelvin	K	1 Kelvin ist der 273,16-te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.	$10^{-6}$
Lichtstärke	Candela	cd	1 Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz 540 THz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung 1/683 W/sr beträgt.	$5 \cdot 10^{-3}$
Stoffmenge	Mol	mol	1 Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso viel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 12/1 000 Kilogramm des Kohlenstoffnuklids $^{12}\text{C}$ enthalten sind.	$10^{-6}$



**Abb. 1.4** Die Cäsium-Atomuhren CS1, CS2 und CS3 der PTB Braunschweig, aufgestellt in der abgeschirmten und klimatisierten Atomuhrenhalle

**Tabelle 1.3** Zusammenstellung einiger physikalischer Größen mit ihren SI-Einheiten, die von den Basiseinheiten abgeleitet sind

Physikalische Größe	Formelzeichen	Berechnung	Einheit	
Fläche	$A$	$A = \text{Länge} \times \text{Breite}$	$\text{m}^2$	
Winkel	$\varphi$	$\varphi = \frac{\text{Bogen}}{\text{Radius}}$	$\frac{\text{m}}{\text{m}} = \text{rad}$	Radian
Raumwinkel	$\Omega$	$\Omega = \frac{\text{Fläche des Kugelabschnitts}}{\text{Quadrat des Kugelradius}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{m}^2} = \text{sr}$	Steradian
Frequenz	$\nu, f$	$f = \frac{1}{\text{Periodendauer}}$	$\frac{1}{\text{s}} = \text{Hz}$	Hertz
Geschwindigkeit	$v$	$v = \frac{\text{Wegintervall}}{\text{Zeitintervall}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	
Beschleunigung	$a$	$a = \frac{\text{Geschwindigkeitsänderung}}{\text{Zeitintervall}}$	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	
Kraft	$F$	$F = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$	$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$	Newton
Arbeit, Energie	$W, E$	$W = \text{Kraft} \times \text{Weg}$	$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{J}$	Joule
Leistung	$P$	$P = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeitintervall}}$	$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^3} = \text{W}$	Watt
Wärme	$Q$	$Q = \text{Energie}$	$\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \text{Ws} = \text{J}$	Joule

Physikalische Größe	Formelzeichen	Berechnung	Einheit	
Wärmekapazität	$C$	$C = \frac{\text{Wärme}}{\text{Temperaturintervall}}$	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{K}} = \frac{\text{J}}{\text{K}}$	
elektrische Ladung	$Q$	$Q = \text{elektr. Stromstärke} \times \text{Zeit}$	$\text{A} \cdot \text{s} = \text{C}$	Coulomb
elektrische Feldstärke	$E$	$E = \frac{\text{elektrische Kraft}}{\text{elektrische Ladung}}$	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^3 \cdot \text{A}} = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{s}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}$	
elektrische Spannung	$U$	$U = \frac{\text{elektrische Arbeit}}{\text{elektrische Ladung}}$	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{s}^3} = \frac{\text{W}}{\text{A}} = \text{V}$	Volt
elektrischer Widerstand	$R$	$R = \frac{\text{elektrische Spannung}}{\text{elektrische Stromstärke}}$	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^3} = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega$	Ohm
magnetische Feldstärke	$H$	$H = \frac{\text{elektr. Stromstärke} \times \text{Windungszahl}}{\text{Spulenlänge}}$	$\frac{\text{A}}{\text{m}}$	
magnetischer Fluss	$\Phi$	$\Phi = \text{magnetische Induktion} \times \text{Fläche}$	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{s}^2} = \text{V} \cdot \text{s} = \text{Wb}$	Weber
magnetische Induktion	$B$	$B = \text{Permeabilität} \times \text{magnetische Feldstärke}$	$\frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}^2} = \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = \text{T}$	Tesla
Beleuchtungsstärke	$E$	$E = \frac{\text{Lichtstrom}}{\text{Fläche}}$	$\frac{\text{cd} \cdot \text{sr}}{\text{m}^2} = \text{lx}$	Lux

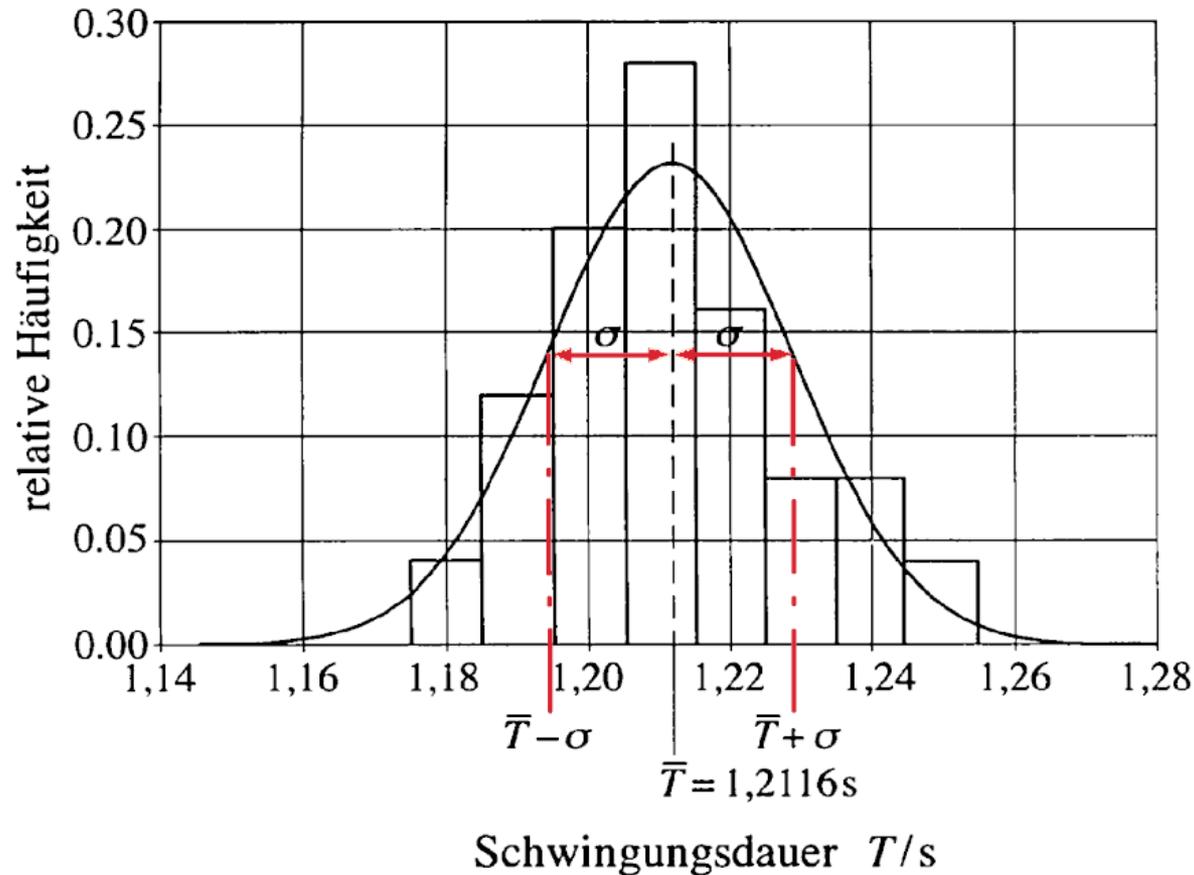
**Tabelle 1.4** Wichtige Naturkonstanten (international empfohlene CODATA-Werte von 2010)

Bezeichnung	Symbol	Wert	relative Unsicherheit
Vakuum-Lichtgeschwindigkeit	$c$	$2,99792458 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	0
Gravitationskonstante	$G$	$6,67384 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Avogadro-Konstante	$N_A$	$6,02214129 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$
Elementarladung	$e$	$1,602176565 \cdot 10^{-19} \text{ A s}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Ruhemasse des Elektrons	$m_{0e}$	$9,10938291 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$
Ruhemasse des Protons	$m_{0p}$	$1,672621777 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$
Planck'sches Wirkungsquantum	$h$	$6,62606957 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$
Sommerfeld'sche Feinstrukturkonstante	$\alpha$	$7,2973525698 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$
elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0$	$8,854187817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A s}}{\text{V m}}$	0
magnetische Feldkonstante	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{V s}}{\text{A m}}$	0
Faraday-Konstante	$F$	$9,64853365 \cdot 10^4 \frac{\text{A s}}{\text{mol}}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
universelle Gaskonstante	$R_m$	$8,3144621 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$
Boltzmann-Konstante	$k$	$1,3806488 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma$	$5,670373 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}^4}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$

**Tabelle 1.1** Bezeichnung der dezimalen Vielfachen und Teile von Einheiten

Zehnerpotenz	Vorsilbe	Kurzzeichen	Beispiel
$10^{18}$	Exa	E	Em, EJ
$10^{15}$	Peta	P	Pm, PJ
$10^{12}$	Tera	T	Tm, TJ
$10^9$	Giga	G	Gm, GJ
$10^6$	Mega	M	Mm, MJ
$10^3$	Kilo	k	km, kJ
$10^2$	Hekto	h	hPa, hJ
$10^1$	Deka	da	dam, daJ
$10^{-1}$	Dezi	d	dm, dJ
$10^{-2}$	Zenti	c	cm, cJ
$10^{-3}$	Milli	m	mm, mJ
$10^{-6}$	Mikro	$\mu$	$\mu\text{m}$ , $\mu\text{J}$
$10^{-9}$	Nano	n	nm, nJ
$10^{-12}$	Piko	p	pm, pJ
$10^{-15}$	Femto	f	fm, fJ
$10^{-18}$	Atto	a	am, aJ

**Messgenauigkeit**



**Abb. 1.5** Histogramm der Häufigkeitsverteilung  $h_j$  ( $T$ ) bei einer Schwingungsdauermessung sowie die Normalverteilungskurve nach (1.3) für  $\mu = \bar{T}$  und  $\sigma^2 = s_T^2$  mit  $\bar{T} = 1,2116\text{ s}$  und  $s_T = 0,0172\text{ s}$

**Tabelle 1.5** Abgrenzung zwischen systematischen und statistischen Abweichungen

	systematische Abweichungen	statistische Abweichungen
Hinweise	unsymmetrische Häufung der Messwerte von Wiederholungsmessungen	symmetrische Häufung der Messwerte um einen häufigsten Wert
Ursachen	falsche Kalibrierung der Messgeräte (z. B. falsch eingestellter Nullpunkt) Ablesefehler (z. B. Parallaxenfehler bei Zeigerinstrumenten) falsche Messgerätejustierung (z. B. nicht horizontale Aufstellung) Messwertdriften (z. B. Messverfahren verändert die Messgröße)	Schwankungen beim Anlegen von Maßstäben (z. B. mangelnde Geschicklichkeit, elektronische Triggerschwankungen) Schätzung von Zwischenwerten auf Maßstäben
Abhilfen	Konsistenzmessungen (z. B. Eichpunkte, Messbereichsumschaltung) stabilisierende Maßnahmen (z. B. Thermostatisierung, Vakuumschutz) Einsatz unterschiedlicher Messverfahren	keine (Messgenauigkeit des Messverfahrens entspricht Messfehler)
Charakterisierung	Angabe von Namen, Institut (amtliche Zulassung, Prüfstelle), Messdatum und verwendeten Messgeräten	Angabe der Abweichung nach mathematischer Analyse der Messwerte (Fehlerrechnung)