

The following definitions of the SI base units are taken from NIST Special Publication 330 (SP 330), The International System of Units (SI). See the Bibliography for a description of SP 330 and other NIST publications on the SI, and online access.

Definitions of the SI base units

Unit of length meter

The meter is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of $1/299\ 792\ 458$ of a second.

Unit of mass kilogram

The kilogram is the unit of mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram.

Unit of time second

The second is the duration of $9\ 192\ 631\ 770$ periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the cesium 133 atom.

Unit of electric current ampere

The ampere is that constant current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed 1 meter apart in vacuum, would produce between these conductors a force equal to 2×10^{-7} newton per meter of length.

Unit of thermodynamic temperature kelvin

The kelvin, unit of thermodynamic temperature, is the fraction $1/273.16$ of the thermodynamic temperature of the triple point of water.

Unit of amount of substance mole

1. The mole is the amount of substance of a system which contains as many elementary entities as there are atoms in 0.012 kilogram of carbon 12; its symbol is "mol."
2. When the mole is used, the elementary entities must be specified and may be atoms, molecules, ions, electrons, other particles, or specified groups of such particles.

Unit of
luminous

intensity candela The candela is the luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} hertz and that has a radiant intensity in that direction of $1/683$ watt per steradian

Tab. 1.1

Die Dimensionen einiger physikalischer Größen

Physikalische Größe	Dimension
Fläche	A Länge · Länge
Volumen	V Länge · Länge · Länge
Geschwindigkeit	v Länge/Zeit
Beschleunigung	a Länge/(Zeit) ²
Impuls	p Masse · Länge/Zeit
Kraft	F Masse · Länge/(Zeit) ²
Energie	E Masse · (Länge) ² /(Zeit) ²

Table 5. SI prefixes

Factor	Name	Symbol	Factor	Name	Symbol
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deka	da	10^{-24}	yocto	y

Tab. 1.2

Basis-Einheiten einiger Einheiten-Systeme

Einheiten-System	Mechanik				Elektrizi- tätslehre	Thermodynamik		Photo- metrie
	Länge	Masse	Kraft	Zeit		Strom- stärke	Tem- peratur	
CGS	Zenti- meter cm	Gramm g			Sekunde s			
MKSA	Meter m	Kilogramm kg			Sekunde s	Ampere A		
Technisches	Meter m		Kilopond kp		Sekunde s			
Angel- sächsisches	foot ft	pound lb			second s		Fahren- heit °F	
Natürliches	Protonen- Compton- Wellenlänge l_p	Protonen- masse m_p			$t = l_p/c$ (c = Licht- geschwin- digkeit)			
Internationa- les (SI)	Meter m	Kilogramm kg			Sekunde s	Ampere A	Kelvin K	Mol mol
							Candela cd	

Tab. 1.4 Abgeleitete und sonstige Einheiten des SI mit eigenen Namen**Mechanik**

Kraft:	$1 \text{ kg m s}^{-2} = 1 \text{ Newton (N)}$
Druck:	$1 \text{ kg m}^{-1} \text{s}^{-2} = 1 \text{ Nm}^2 = 1 \text{ Pascal (Pa)}$
Energie:	$1 \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2} = 1 \text{ Joule (J)}$
Leistung:	$1 \text{ kg m}^2 \text{s}^{-3} = 1 \text{ Watt (W)}$
Winkel:	
eben:	1 Radian (rad)
räumlich:	1 Steradian (Sr)
Frequenz:	$1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Hertz (Hz)}$

Photometrie

Lichtstrom:	$1 \text{ cd Sr} = 1 \text{ Lumen (lm)}$
Beleuchtungsstärke:	$1 \text{ cd Sr m}^{-2} = 1 \text{ Lux (lx)}$

Elektrizitätslehre

Spannung:	$1 \text{ kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-1} = 1 \text{ Volt (V)}$
Widerstand:	$1 \text{ kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-2} = 1 \text{ Ohm (\Omega)}$
Leitwert:	$1 \text{ kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3 \text{A}^2 = 1 \text{ } \Omega^{-1} = 1 \text{ Siemens (S)}$
Kapazität:	$1 \text{ A s V}^{-1} = 1 \text{ Farad (F)}$
Induktivität:	$1 \text{ kg m}^2 \text{s}^{-1} \text{A}^{-2} = 1 \text{ Henry (H)}$
Ladung:	$1 \text{ A s} = 1 \text{ Coulomb (C)}$
Magnetischer Fluß:	$1 \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{A}^{-1} = 1 \text{ Weber (Wb)}$
Magnetische Induktion:	$1 \text{ kg s}^{-2} \text{A}^{-1} = 1 \text{ Tesla (T)}$

Atom- und Kernphysik

Masse:	1 atomare Masseneinheit ($1 \text{ u} = 1,66058 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$)
Energie:	1 Elektronenvolt ($1 \text{ eV} = 1,60206 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)
Aktivität:	$1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Becquerel (Bq)}$
Energiedosis:	$1 \text{ J kg}^{-1} = 1 \text{ Gray (Gy)}$
Äquivalentdosis:	$1 \text{ J kg}^{-1} = 1 \text{ Sievert (Sv)}$

Tab. 1.5 Einige nicht zum SI gehörige Einheiten

Größe	Einheit	Umrechnung \rightarrow SI
Länge	Fermi	10^{-15} m
	Ångström (Å)	10^{-10} m
	Zoll (inch)	0,0254 m
	englische Meile	1609,33 m
	atomare Längeneinheit (a_0)	$0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
	Lichtjahr	$9,45 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
Kraft	dyn	10^{-5} N
	Kilopond	9,81 N
Druck	physikal. Atmosphäre (atm)	101325 Pa
	techn. Atmosphäre (at)	98066,5 Pa
	bar	100000 Pa
	Torr (mm Hg-Säule)	133,3224 Pa
Masse	Zentimeter Wassersäule (cm WS)	98,0665 Pa
	Pfund	0,5 kg
	Zentner	50 kg
	Tonne	1000 kg
Energie	Kalorie (cal)	4,1868 J
	erg	10^{-7} J
	Hartree	$4,359 \cdot 10^{-18} \text{ J}$
	Rydberg	$2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J}$
Leistung	Pferdestärke (PS)	735,49875 W
	Hefnerkerze	0,903 cd
Magn. Feldstärke	Oersted (Oe)	$\frac{10^3}{4\pi} \text{ Am}^{-1}$
Magn. Flußdichte	Gauß (G)	10^{-4} T
Aktivität einer radioaktiven Substanz	Curie (Ci)	$3,7 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} \text{ (Bq)}$
	rad	$0,01 \text{ J kg}^{-1} \text{ (Gy)}$
	rem	$0,01 \text{ J kg}^{-1} \text{ (Sv)}$
	Röntgen	$2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C kg}^{-1}$
Zeit	Minute (min)	60 s
	Stunde (h)	3600 s
Temperatur	Fahrenheit (F)	$0^\circ \text{C} \cong 32^\circ \text{F}; 100^\circ \text{C} \cong 212^\circ \text{F}$

Tab. 1.6 Einige typische Längen, ihre Größenordnung und Meßverfahren

10^{-15}	Kern-Durchmesser 10^{-15}	indirekte atomphys. Methoden (Streuung)
10^{-12}	Atom-Durchmesser 10^{-10}	Röntgenbeugung Elektronenmikroskopie
10^{-9}		Lichtmikroskopie
10^{-6}	Wellenlänge des sichtb. Lichts 10^{-6}	
10^{-3}	Erythrozyten-Durchmesser 10^{-5}	Bandmaße
1		Trigonometrie
10^3	Höhe des Mt. Everest 10^4	
10^6	Erd-Durchmesser 10^7	Laufzeit von Licht
10^9	Abstand Erde-Mond 10^9	
10^{12}	Abstand Erde-Sonne 10^{12}	
10^{15}	Durchmesser des Sonnensystems 10^{13}	
10^{18}	Entfernung nächster Fixsterne 10^{17}	
10^{21}	Durchmesser der Milchstraße 10^{21}	indirekte astrophys. Methoden (Rot-Versch.)
10^{24}	weiteste sichtbare Galaxis 10^{26}	
Einheit: m		

Tab. 1.7 Zeitdauer 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 $3 \cdot 10^7$
10^9	Menschenalter 10^9
10^{12}	
10^{15}	Alter der Menschheit 10^{14}
10^{18}	Alter der Milchstraße 10^{18}
Einheit: s	

Präzision, Richtigkeit und Genauigkeit

Hier nun kurze Erläuterung der drei Begriffe Präzision, Richtigkeit und Genauigkeit. Diese Begriffe wird nicht immer so ganz korrekt verwendet (auch auf diesen Seiten nicht) aber man sollte sich der eigentlichen Bedeutung bewusst sein.

Präzision (precision)

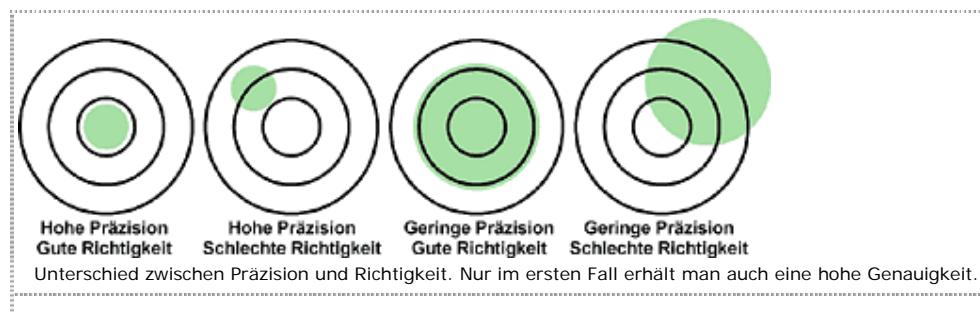
Die Präzision ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen unabhängigen Messergebnissen unter festen Bedingungen. Liegen also mehrere Messwerte dicht beieinander, so hat die Messmethode eine hohe Präzision. Das bedeutet aber noch nicht, dass die gemessenen Werte auch richtig sind. Sie könnten präzise falsch sein. Dies ist beispielsweise im zweiten Bild unten der Fall. Hier könnten durch einen systematischen Fehler (bei GPS z.B. durch falsches Kartendatum) die Wert zwar sehr präzise bestimmt worden sein, aber eben verschoben sein.

Richtigkeit (trueness, accuracy of the mean)

Die Richtigkeit ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen dem aus einem großen Datensatz erhaltenen Mittelwert und dem anerkannten Referenzwert. Wenn also der Mittelwert aus vielen Messungen gut dem wahren Wert übereinstimmt, so ist die Richtigkeit hoch. Dies sagt nichts darüber aus, wie stark die einzelnen Werte streuen.

Genauigkeit (accuracy)

Der Begriff Genauigkeit wird (fälschlicherweise) häufig mit Präzision gleichgesetzt. Die Genauigkeit ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen dem (einzelnen) Messergebnis und dem wahren Wert der Messgröße. Eine hohe Genauigkeit kann man also nur erreichen, wenn sowohl die Präzision als auch die Richtigkeit gut sind.



Aus: <http://www.kowoma.de/gps/zusatzerklaerungen/Praezision.htm>

SIGNIFIKANTE STELLEN:

= Anzahl der angegebenen Ziffern ohne führende Nullen

12345 5 signifikante Stellen
12.345 5 signifikante Stellen
0.0012345 5 signifikante Stellen

$1.0000 \cdot 10^4$ 5 signifikante Stellen

- Nullen sind nur innerhalb einer Zahl oder am rechten Ende signifikant

Rechnen mit signifikanten Stellen

Addition und Subtraktion

- Die Anzahl der signifikanten Stellen hinter dem Komma kann gleich bleiben, größer oder kleiner werden.

Sign. St.		Sign. St.	
4	1.234	4	5.678
4	+ 5.678	4	- 5.623
4	= 6.902	2	= 0.055

- die Anzahl signifikanter Stellen nach dem Komma wird von der Anzahl der Nachkommastellen des Wertes mit der geringsten Zahl signifikanter Stellen hinter dem Komma bestimmt.

Sign. St.	
8	1.2345678
4	+ 5.678
4	6.9125678

Die letzten 4 Stellen sind nicht mehr signifikant !!

- das Ergebnis wird gerundet auf die letzte signifikante Stelle:
> 5: Aufrundung;
< 5: Abrundung

$$6.9125678 \Rightarrow 6.913$$

- Bei Addition / Subtraktion von Zahlen mit unterschiedlichen Exponenten müssen diese erst angeglichen werden.

Sign. St.		Sign. St.	
4	$1.234 \cdot 10^4$	4	$1.234 \cdot 10^4$
4	+ $5.678 \cdot 10^2$	4	+ $0.05678 \cdot 10^4$
		4	= $1.29078 \cdot 10^4$

$$1.29078 \cdot 10^4 \Rightarrow 1.291 \cdot 10^4$$

Multiplikation und Division

- Die Anzahl der signifikanten Stellen des Ergebnisses wird vom Wert mit der geringsten Anzahl signifikanter Stellen bestimmt (Runden auf die letzte Stelle):

$$1.23 \cdot 10^{-4} \times 2.14 = 2.63 \cdot 10^{-4} \quad 3 \text{ signifikante Stellen}$$

$$1.23 \cdot 10^{-4} \times 9.21 = 11.3 \cdot 10^{-4} \quad 3 \text{ signifikante Stellen}$$

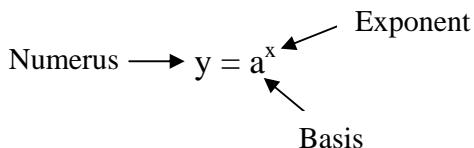
$$3.21 \cdot 10^8 \times 4.5 \cdot 10^{-15} = 1.4 \cdot 10^{-6} \quad 2 \text{ signifikante Stellen}$$

$$57.8 : 3.451 = 16.8 \quad 3 \text{ signifikante Stellen}$$

- der Exponent hat keinen Einfluß auf die Anzahl der signifikanten Stellen

$$3.21 \cdot 10^8 \times 4.5 \cdot 10^{-15} = 1.4 \cdot 10^{-6} \quad 2 \text{ signifikante Stellen}$$

Logarithmus und Antilogarithmus



$$y = a^x \Rightarrow x = {}_a \log(y) \quad \text{einfacher Logarithmus, allgemeine Basis } a$$

$$y = 10^x \Rightarrow x = \log(y) \quad \text{dekadischer Logarithmus, Basis } = 10$$

$$y = e^x \Rightarrow x = \ln(y) \quad \text{naturlicher Logarithmus, Basis } = e (2.71\dots)$$

$$100 = 10^2 \quad 2 = \log(100)$$

$$0.0001 = 10^{-4} \quad -4 = \log(0.0001)$$

Bei Logarithmen ist die Anzahl der signifikanten Stellen in der Mantisse relevant, die charakteristische Größe spielt dafür keine Rolle! (Mantisse = Zahl nach dem Komma im Logarithmus, charakteristische Größe = Zahl vor dem Komma). Die Anzahl der signifikanten Stellen in der Mantisse, bzw im Logarithmus, ist gleich der Anzahl der signifikanten Stellen im Numerus.

$$\log(123) = 2.090, \quad 3 \text{ signifikante Stellen. (Mantisse } = 0.090 \text{ mit 3 signifikanten Stellen wie im Numerus, 2 = charakteristische Größe)}$$

$$\log(0.00354) = -2.451, \quad 3 \text{ signifikante Stellen}$$

$$\log(1.5) = 0.18, \quad 2 \text{ signifikante Stellen}$$

Umgekehrt ergibt sich bei der Exponentialfunktion (Antilog) die Anzahl der signifikanten Stellen im Ergebnis (Numerus) aus der Anzahl der signifikanten Stellen nach dem Komma (= Mantisse) im Exponenten.

$$10^{2.45} = 2.8 \cdot 10^2$$

Kennzeichnung elektrischer Messgeräte

Sinnbild	Bedeutung	Sinnbild	Bedeutung
15	Klassenzeichen für Anzeigefehler, bezogen auf Meßbereich-Endwert		Dreheisenmeßwerk
15	Klassenzeichen für Anzeigefehler, bezogen auf Skalenlänge		Senkrechte Nennlage
	Drehspulmeßwerk mit Dauermagnet, allgemein		Waagerechte Nennlage
	Drehspulinstrument mit eingebautem Gleichrichter		Zeigernullstellung
	Drehspul-Quotientenmeßwerk z.B. Kreuzspul-Meßwerk		Prüfspannung 500 V zwischen Meßwerk und Gehäuse
			Prüfspannung höher als 500 V, hier 2 kV

Abb. aus: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/~reusch/fehler/wisem0102/vorlesung2.pdf>