

Kapitel 1

Einheiten und Konstanten

1.1 Einheiten und Einheitensysteme

Meßbare Merkmale physikalischer Objekte heißen physikalische Größen. Das Messen einer Größe erfolgt durch Vergleich mit einer Größe gleicher Art. Die Vergleichsgröße heißt Einheit; die Zahl, die das Vielfache angibt, heißt Zahlenwert:

$$\begin{aligned} \text{Größe} &= \text{Zahlenwert} \times \text{Einheit} \\ G &= \{G\} [G] \end{aligned}$$

Wird eine Größe einmal in der Einheit $[G]_1$, und einmal in der Einheit $[G]_2$ gemessen, dann ist

$$G = \{G\}_1 [G]_1 = \{G\}_2 [G]_2 \quad \text{und} \quad \frac{\{G\}_1}{\{G\}_2} = \frac{[G]_2}{[G]_1}.$$

In Größengleichungen werden verschiedene Größen miteinander verknüpft, entweder aus experimenteller Erfahrung oder durch willkürliche Definition. Größengleichungen haben die Form von Potenzprodukten

$$G = k A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$$

mit einem Zahlenfaktor k . Ersetzt man die Größen durch ihre Produkte aus Zahlenwert und Einheit, so erhält man eine Einheitengleichung

$$[G] = \xi [A]^\alpha [B]^\beta [C]^\gamma \dots$$

und eine Zahlenwertgleichung

$$\{G\} = \frac{k}{\xi} \{A\}^\alpha \{B\}^\beta \{C\}^\gamma \dots$$

Der Einheitenkoeffizient ξ verknüpft die Einheiten der linken und rechten Seiten der Gleichung; ein Einheitensystem, bei dem der Einheitenkoeffizient gleich 1 ist, heißt kohärentes System. Zu unterscheiden sind Definitionen, die willkürlich sind und keine neue Naturerkenntnis darstellen, und gefundene gesetzmäßige Abhängigkeiten, die ein Naturgesetz darstellen. In der Vergangenheit wurden viele verschiedene Einheitensysteme benutzt, sie entwickelten sich parallel zur physikalischen Erkenntnis. Liegen in einem abgeschlossenen Gebiet n unabhängige Naturgesetze vor, und enthalten diese m voneinander unabhängige Größen, dann müssen $g = m - n$ Größen zu Grundgrößen erklärt werden, wobei g der Grad des Maßsystems ist. Das System Internationaler Einheiten (SI) ist ein kohärentes Siebenersystem. Es ist heute allgemein gesetzlich verankert.

Größe		Einheit	
Name	Symbol	Name	Symbol
Länge	l	Meter	m
Zeit	t	Sekunde	s
Masse	m	Kilogramm	kg
elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_v	Candela	cd

Für dezimale Vielfache oder Teile der SI-Einheiten sind Vorsätze zu den Einheiten festgelegt. Die Dekadenzeichen bilden mit den Einheitenzeichen eine neue Einheit, so ist z.B. $5hm^3 = 5(10^2m)^3 = 5 \cdot 10^6m^3$.

Vorsilbe	Zeichen	Zehnerpotenz	Vorsilbe	Zeichen	Zehnerpotenz
Deka	da	10^1	Dezi	d	10^{-1}
Hekto	h	10^2	Zenti	c	10^{-2}
Kilo	k	10^3	Milli	m	10^{-3}
Mega	M	10^6	Mikro	μ	10^{-6}
Giga	G	10^9	Nano	n	10^{-9}
Tera	T	10^{12}	Piko	p	10^{-12}
Peta	P	10^{15}	Femto	f	10^{-15}
Exa	E	10^{18}	Atto	a	10^{-18}

1.2 Abgeleitete Einheiten und Umrechnungsfaktoren

Im System Internationaler Einheiten (SI) gibt eine große Zahl aus den Basiseinheiten abgeleiteter Einheiten. Einige der abgeleiteten Einheiten haben eigene Namen erhalten.

Grösse Name	Einheit		
	Symbol	Name	
Flächeninhalt	A	—	m^2
Volumen	V	—	m^3
ebener Winkel	φ	Radian	rad
Raumwinkel	Ω	Steradian	sr
Geschwindigkeit	v	—	$m \cdot s^{-1}$
Winkelgeschw., Kreisfrequenz	ω	—	s^{-1}
Beschleunigung	a	—	$m \cdot s^{-2}$
Winkelbeschl.	α	—	s^{-2}
Frequenz	ν, f	Hertz	Hz
Kraft, Gewicht	F	Newton	N
Dichte	ρ	—	$kg \cdot m^{-3}$
Impuls	p	—	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$
Drehimpuls	L	—	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$
Trägheitsmoment	J	—	$kg \cdot m^2$
Drehmoment	M, τ	—	$N \cdot m$
Druck	p	Pascal	Pa
dynam. Viskosität	η	—	$Pa \cdot s$
kinem. Viskosität	ν	—	$m^2 \cdot s^{-1}$
Energie, Arbeit	E, W	Joule	J
Leistung, Strahlungsfluß	P	Watt	W
Wärmemenge	Q	Joule	J
Wärmekapazität	C	—	$J \cdot K^{-1}$
Entropie	S	—	$J \cdot K^{-1}$

Bemerkung: Das Normgewicht eines Körpers ist definiert als Produkt aus seiner Masse und der Normfallbeschleunigung g_n , die als $g_n = 9.806\,65\,m \cdot s^{-2}$ definiert ist.

Grösse Name	Symbol	Einheit Name	Symbol	
elektr. Ladung	q, Q	Coulomb	C	$A \cdot s$
Potentialdifferenz	U, V	Volt	V	$J \cdot C^{-1}$
elektr. Widerstand	R	Ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$
elektr. Leitwert	G	Siemens	S	$V^{-1} \cdot A$
Kapazität	C	Farad	F	$C \cdot V^{-1}$
elektr. Feldstärke	E	—	—	$V \cdot m^{-1}$
elektr. Flußdichte	D	—	—	$C \cdot m^{-2}$
Permittivität	ϵ	—	—	$N^{-1} \cdot m^{-2} \cdot C^2$
elektr. Leistung	P	Watt	W	$V \cdot A$
magnet. Fluß	Φ	Weber	Wb	$V \cdot s$
magnet. Flußdichte	B	Tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$
magnet. Erregung	H	—	—	$A \cdot m^{-1}$
Permeabilität	μ	—	—	$m \cdot kg \cdot C^{-2}$
Induktivität	L	Henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$
Lichtstrom	Φ	Lumen	lm	$cd \cdot sr$
Beleuchtungsstärke	E	Lux	lx	$lm \cdot m^{-2}$

Bemerkung: Die magnetische Flußdichte hat den Charakter einer Feldstärke. Die magnetische Flußdichte B (auch Induktion genannt) und die magnetische Erregung H sind (im Vakuum) verknüpft durch die Beziehung $B = \mu_0 H$, wobei μ_0 die Permeabilität des Vakuums ist, mit

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} m \cdot kg \cdot C^{-2} = 12.566 \cdot 10^{-7} m \cdot kg \cdot C^{-2}$$

Die elektrische Feldstärke E und die elektrische Flußdichte D sind (im Vakuum) verknüpft durch die Beziehung $D = \epsilon_0 E$, wobei ϵ_0 die Permittivität des Vakuums ist, mit

$$\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c_{m/s}^2} N^{-1} \cdot m^{-2} \cdot C^2 = 8.8542 \cdot 10^{-12} N^{-1} \cdot m^{-2} \cdot C^2$$

Damit ist $\epsilon_0 \cdot \mu_0 = 1/c^2$. Die elektrische Feldkonstante ist

$$\frac{1}{4\pi \epsilon_0} = 10^{-7} c_{m/s}^2 N \cdot m^2 \cdot C^{-2} = 8.9876 \cdot 10^9 N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$$

In der Physik sind neben den SI-Einheiten zusätzlich eine Reihe anderer Einheiten in Gebrauch. Die folgende Tabelle gibt Umrechnungsfaktoren.

1 Fermi	= $10^{-15} m = 1 fm$	1 Torr	= $1.333\,224 \cdot 10^2 Pa$
1 Ångström (Å)	= $10^{-10} m$	1 bar	= $10^5 Pa$
1 Lichtjahr	= $9.46 \cdot 10^{12} km = 0.3066 pc$	1 at (techn)	= $9.806\,65 \cdot 10^4 Pa$
1 parsec (pc)	= $3.086 \cdot 10^{13} km$	1 atm (phys)	= $1.013\,25 \cdot 10^5 Pa$
1 radian (rad)	= $57.29577951^\circ = (180/\pi)^\circ$	1 kWh	= $3.6 \cdot 10^6 J$
1 Tonne	= $1000 kg$	1 Gauß	= $10^{-4} T$
1 Jahr (sider.)	= $3.1558 \cdot 10^7 s$	1 Maxwell	= $10^{-8} Wb$
1 cal	= $4.186\,8 J$	1 Ersted	= $1/4\pi \cdot 10^3 A \cdot m^{-1}$
1 °C	= $1 K$	1 km/h	= $0.2778 m \cdot s^{-1}$

Nullpunkt der absoluten Temperaturskala: $0 K$ entspricht $-273,15^\circ C$.

1.3 Konstanten

Naturkonstanten:

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	$2.997\,924\,58 \cdot 10^8$	$m \cdot s^{-1}$
Elementarladung	e	$1.602\,177\,3 \cdot 10^{-19}$	C
Plancksche Konstante	h	$6.626\,075\,5 \cdot 10^{-34}$	$J \cdot s$
Plancksche Konstante/ 2π	\hbar	$1.054\,572\,66 \cdot 10^{-34}$	$J \cdot s$
Gravitationskonstante	γ	$6.672\,60 \cdot 10^{-11}$	$N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$
Boltzmannkonstante	k	$1.380\,658 \cdot 10^{-23}$	$J \cdot K^{-1}$
Avogadrosche Zahl	N_A	$6.022\,136\,7 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Molare Gaskonstante	$R = N_A \cdot k$	8.314 510	$J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
Bohrscher Radius	a_0	$5.291\,772\,49 \cdot 10^{-10}$	m
Bohrsches Magneton	μ_B	$9.274\,015\,4 \cdot 10^{-24}$	$J \cdot T^{-1}$

Konstanten, ausgedrückt durch die Einheit eV :

Elektronenvolt	eV	$1.602\,177\,33 \cdot 10^{-19}$	J
Plancksche Konstante	h	$4.135\,669\,2 \cdot 10^{-15}$	$eV \cdot s$
Plancksche Konstante/ 2π	\hbar	$6.582\,122\,0 \cdot 10^{-16}$	$eV \cdot s$
	$\hbar c$	$197.327\,05 \cdot 10^{-9}$	$eV \cdot m$
Boltzmannkonstante	k	$8,617\,386 \cdot 10^{-5}$	$eV \cdot K^{-1}$

Massen. Teilchenmassen werden in der atomaren Masseneinheit u , in der das Isotop ^{12}C definitionsgemäß die Masse $12u$ hat, und als Ruheenergien ($E = mc^2$) in MeV angegeben:

Teilchen	kg	u	MeV
Einheit u	$1.660\,540\,2 \cdot 10^{-27}$	1.0	931.494
Elektron	$9.109\,389\,7 \cdot 10^{-31}$	$5.485\,799\,03 \cdot 10^{-4}$	0.510 999 06
Proton	$1.672\,623\,1 \cdot 10^{-27}$	1.007 276 470	938.272 31
Neutron	$1.674\,928\,6 \cdot 10^{-27}$	1.008 664 904	939.565 63
Deuteron	$3.343\,586\,0 \cdot 10^{-27}$	2.013 553 214	1875.613 40

Numerische Konstanten:

$\pi = 3.141\,593$	$180/\pi = 57.295\,780$	$\sqrt{\pi} = 1.772\,454$
$e = 2.718\,282$	$1/e = 0.367\,879$	$\sqrt{2} = 1.414\,214$
$\ln 2 = 0.693\,147$	$\ln 10 = 2.302\,585$	$\sqrt{3} = 1.732\,051$
$\log 2 = 0.301\,030$	$\log e = 0.434\,294$	$\sqrt{10} = 3.162\,278$