Physikalische Größen und Einheiten

Physikalische Größen und deren Messung

Der Begriff „physikalische Größe“ ist in DIN 1313 definiert. Eine physikalische Größe kennzeichnet messbare Eigenschaften und Zustände von physikalischen Objekten oder Vorgängen. Sie ist sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Aussage über ein messbares Merkmal eines physikalischen Objektes, z. B. eines Körpers (z.B. Länge), eines Zustands (z.B. Temperatur) oder eines Vorgangs (z.B. Beschleunigung). Die Messung einer physikalischen Größe besteht in einem Vergleich der zu messenden Größe mit einer zuvor willkürlich festgelegten Einheit und der Ermittlung des Zahlenwertes, welcher angibt wie oft die Einheit in der zu messenden Größe enthalten ist.

Einheiten von physikalischen Größen

Der Begriff „Einheit“ ist ebenfalls in DIN 1313 definiert. Die Einheitennamen und die Einheitenzeichen für das Internationale Einheitensystem (SI System) und daraus abgeleitete Größen sind in DIN 1301 aufgeführt (siehe unten).

Darstellung einer physikalischen Größe

Der Wert einer jeden physikalischen Größe kann deshalb dargestellt werden als Produkt aus Zahlenwert und Einheit:

$$\begin{array}{ccccc} \textbf{Physikalische Größe} & = & \textbf{Zahlenwert} & \textbf{Einheit} \\ \mathbf{G} & = & \mathbf{\{G\}} & \mathbf{[G]} \end{array}$$

Beispiel: Spannung = 30 V

{U} = 30 (lies: die Maßzahl der Spannung ist 30) [U] = V (lies: die Einheit der Spannung ist Volt)

Der Zahlenwert ist abhängig von der Wahl der Einheit, die physikalische Größe ist davon unabhängig (invariant). Bei der Messung können nur gleichartige Eigenschaften miteinander verglichen werden, d.h. die Länge eines Tisches kann nur mit einer Einheit der gleichen Eigenschaft, also einer "Längeneinheit", verglichen werden.

Formelzeichen

Ein Formelzeichen ist ein Symbol für den Namen eines Objekts zur Verwendung in Formeln. Prinzipiell kann jedes beliebige Symbol als Formelzeichen verwendet werden. Es wird anstelle des Objektnamens geschrieben und ist mit dessen Bedeutung identisch. Das bedeutet, dass ein Symbol immer durch den ihm zugeordneten Objektnamen ersetzt werden kann und umgekehrt. Für die physikalischen Größen sind die Formelzeichen genormt und in der DIN 1304 festgelegt.

Beispiel: physikalisch Größe : Zeit Formelzeichen: t

Anzahl physikalischer Größen

Im Prinzip gibt es eine unbegrenzte Zahl von physikalischen Größen. In der Mechanik beispielsweise: Weg s, Zeit t, Geschwindigkeit v, Beschleunigung a, Kraft F, Impuls p, Energie W. Zwischen diesen Größen bestehen aber bestimmte mathematische Beziehungen, wie z.B. $s = v \cdot t$, $W = F \cdot s$. Durch diese mathematischen Beziehungen sind die verschiedenen Größen nicht mehr unabhängig voneinander. Wenn der Weg s und die Zeit t festgelegt sind, dann ist die Geschwindigkeit v durch die Gleichung $v = \frac{s}{t}$ definierbar.

Basisgrößen

Man unterscheidet deshalb bei den physikalischen Größen zwischen einer kleinen Anzahl von **Basisgrößen** und einer unbegrenzten Anzahl von **abgeleiteten Größen**, wobei letztere sich als Produkte der Basisgrößen darstellen lassen. Man wählt nur so viele Basisgrößen, wie zur eindeutigen Beschreibung der Physik notwendig sind, wobei die Auswahl nach Zweckmäßigkeit und Anschaulichkeit erfolgen kann. Historisch gab es Systeme mit einer unterschiedlichen Zahl von Basisgrößen, aber von Bedeutung ist in Naturwissenschaft und Technik nur noch das SI-System mit folgenden Basisgrößen :

Länge, Zeit, Masse, elektrische Stromstärke, Temperatur, Lichtstärke und Stoffmenge

Sind die Einheiten durch Gleichungen verknüpft, in denen nur der Zahlenfaktor Eins auftritt (z. B. $1Nm = 1Ws$), so nennt man diese Einheiten **kohärent**, ist der Zahlenfaktor ungleich Eins (z.B. $1h = 3600s$), spricht man von **inkohärenten** Einheiten.

Internationales Einheitensystem (SI)

Um für alle physikalischen Größen Einheiten angeben zu können, müssen genau so viele Einheiten definiert werden wie Basisgrößen notwendig sind. Diese nennt man folgerichtig die **Basiseinheiten**. Aus ihnen ergeben sich für die abgeleiteten physikalischen Größen die **abgeleiteten Einheiten**.

Basisgröße	**Basiseinheit** (Name)	**Basiseinheit** (Symbol)
Zeit	Sekunde	s
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Ergänzende SI-Einheiten sind zwei dimensionslose Größen, definiert als das Verhältnis zweier dimensionsgleicher Größen. Sie sind aber keine reinen Zahlen, sondern echte physikalische Größen und erfordern deshalb einen besonderen Namen:

- 1 Radiant (rad) ist der Winkel zwischen zwei Kreisradien, die aus dem Kreis einen Bogen von der Länge des Radius ausschneiden.

- 1 Steradiant (sr) ist der Raumwinkel, den eine vom Mittelpunkt einer Kugel vom Radius r ausgehende Strahlenschar bildet, die auf der Kugeloberfläche die Fläche $A = r^2$ ausschneidet.

Das SI ist ein kohärentes Einheitensystem, d.h. jede abgeleitete Einheit ist ein ganzes Vielfaches der Basiseinheiten.
Für einige abgeleitete Einheiten werden im SI separate Namen eingeführt:

Größe	**Einheit**	**Einheiten-zeichen**	**in SI Einheiten**	**in SI Basiseinheiten**[1]
Frequenz	Hertz	Hz		s^{-1}
Kraft	Newton	N		$m\,kg\,s^{-2}$
Druck	Pascal	Pa	$N\,m^{-2}$	$m^{-1}\,kg\,s^{-2}$
Energie, Arbeit	Joule	J	$N\,m$	$m^2\,kg\,s^{-2}$
Leistung	Watt	W	J/s	$m^2\,kg\,s^{-3}$
elek. Ladung	Coulomb	C	$A\,s$	$s\,A$
elek. Spannung	Volt	V	W/A	$m^2\,kg\,s^{-3}\,A^{-1}$
elek. Kapazität	Farad	F	C/V	$m^{-2}\,kg^{-1}\,s^4\,A^2$
elek. Widerstand	Ohm	Ω	V/A	$m^2\,kg\,s^{-3}\,A^{-2}$
elek. Leitwert	Siemens	S	$1/\Omega$	$m^{-1}\,kg^{-1}\,s^3\,A^2$
mag. Fluss	Weber	Wb	$V\,s$	$m^2\,kg\,s^{-2}\,A^{-1}$
mag. Flussdichte	Tesla	T	Wb/m^2	$kg\,s^{-2}\,A^{-1}$
Induktivität	Henry	H	Wb/A	$m^2\,kg\,s^{-2}\,A^{-2}$
Temperatur	Grad Celsius[2]	°C		K
Lichtstrom	Lumen	lm	$cdsr$	cd
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	lm/m^2	$m^{-2}\,cd$
Radioaktivität	Becquerel	Bq		s^{-1}
Energiedosis	Gray	Gy	J/kg	$m^2\,s^{-2}$
Aquivalentdosis	Sievert	Sv	J/kg	$m^2\,s^{-2}$

[1] In der Reihenfolge der offiziellen Basiseinheiten-Definition (m,kg,s,A,K,mol,cd)
[2] Für eine Temperaturdifferenz gilt:$1°C = 1K$. Für die Umrechnung der Celsius-Temperatur ϑ in die thermodynamische Temperatur T gilt: $\vartheta/°C = T/K - 273,15$

Vorsilben für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

Zur Kennzeichnung von dezimalen Vielfachen und Teilen der Einheiten sind folgende Vorsilben zu verwenden, wobei Hekto, Deka, Dezi und Zenti nur noch benutzt werden sollen, wo sie bereits üblich sind.

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

Es gelten dabei die folgenden Empfehlungen für die Verwendung der SI-Vorsilben:

- Zwischen dem Vorsilbensymbol und dem Einheitensymbol wird kein Platz gelassen.
- Die durch das Vorsilbensymbol und das Einheitensymbol gebildete Gruppe stellt ein neues, nicht trennbares Symbol (für ein Vielfaches oder einen Bruchteil der betroffenen Einheit) dar, das mit einer positiven oder negative Potenz versehen und mit anderen Einheitensymbolen kombiniert werden kann, z.B:
  $1\,cm^3 = (10^{-2}\,m)^3 = 10^{-6}\,m^3$
  $1\,V/cm = 1\,V/(10^{-2}\,m) = 10^2\,V/m$
- Zusammengesetzte Vorsilben, d.h. Vorsilben, die durch aneinanderreihen zweier oder mehrerer Vorsilben gebildet werden, sollen nicht verwendet werden, z.B. 1 nm aber nicht: 1mμm
- Eine Vorsilbe sollte nie allein verwendet werden, z.B. $10^6/m^3$ aber nicht M/m^3

SI-fremde Einheiten

Einige inkohärente Einheiten dürfen aus praktischen Gründen auch weiterhin benutzt werden, teilweise uneingeschränkt, teilweise mit ausschließlicher Anwendung in Spezialgebieten. Die im naturwissenschaftlich-technischen Bereich am häufigsten benötigten SI-fremden Einheiten sind:

Größe	**Einheit**	**Umrechnung in SI Einheiten**
gesetzliche Einheiten		
Gon	gon	1 gon $=(\pi/200)$ rad
Winkel Grad	°	$1°= (\pi/180)$ rad
Winkel Minute	′	$1'=(\pi/10800)$ rad
Winkel Sekunde	″	$1''=(\pi/648000)$ rad
Hektar	ha	$1\text{ha} = 10^4\text{m}^2$
Liter	l	$1\text{l} = 10^{-3}\text{m}^3$
Tonne	t	$1\text{l} = 10^3\text{kg}$
Minute	min	$1\text{min} = 60\text{s}$
Stunde	h	$1\text{h} = 60\text{min} = 3600\text{s}$
Tag	d	$1\text{d} = 24\text{h} =86400\text{s}$
Bar	bar	$1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$
Dioptrie	dpt	$1\text{dpt} = 1\text{m}^{-1}$
angloamerikanische Einheiten		
inch	in	1in = 0,0254m
foot	ft	1ft = 12in = 0,3048m
yard	yd	1yd = 3ft = 0,9144m
mile	mile	1mile = 1760yd = 1609,344m
Mill	mill	1mill = 1/1000 in = 0,0254mm
pound	lb	1lb = 0,45359237kg
international übliche SI-fremde Einheiten		
Seemeile	sm	1sm = 1852m
Knoten	kn	1kn = 1sm/h = 0,5144m/s
astronomische Einheiten		
astronomische Einheit	AE	$1\text{AE} = 149{,}597870\cdot10^9\text{m}$
Lichtjahr	ly	$1\text{ly} = 9{,}460528\cdot10^{15}\text{m}$
Parsec	pc	$1\text{pc} = 1\text{AE}/\tan(1'')= 30{,}856776\cdot10^{15}\text{m}$

Dimensionen und Einheiten

Eine physikalische Größe hat ebenfalls eine Dimension. Diese ist nicht zu verwechseln mit der Einheit der Größe. Beispielsweise haben die Größen Breite, Höhe, Durchmesser alle die Dimension Länge, aber die SI-Maßeinheit Meter.
Eine physikalischen Größeist dimensionslos, wenn ihr Wert ohne Einheit angegeben werden kann. Zur Verdeutlichung werden zwar oft auch hier Einheiten wie z.B. Prozent, ppm, Winkelgrad verwendet, aber diesen entspricht keine Dimension.
Beispiele für dimensionslose Größen sind: Winkel, Anzahlen, Wahrscheinlichkeiten, Quantenzahlen, dimensionslose Kennzahlen ,Verhältniszahlen, d.h. Quotienten aus zwei dimensionsgleichen Größen (z.B. Wirkungsgrad), logarithmierte Verhältniszahlen wie Bel, Neper, Phon.

Die Dimension von abgeleiteten Größen kann man durch algebraische „Kombination“ der Dimensionen der Basisgrößen erhalten. So ist im SI die Dimension der Geschwindigkeit = Länge durch Zeit (L/T), mit den zugehörigen SI-Einheiten „m/s“, die Dimension der Beschleunigung = Geschwindigkeitsänderung durch Zeit entsprechend Länge durch Zeit zum Quadrat (L/T^2) mit der Einheit „m/s^2“.

Dimensionsprüfung und -vergleich

In jeder physikalischen Rechnung kann und sollte man überprüfen, ob die berechneten Größen die richtige Dimension haben. Links und rechts vom Gleichheitszeichen muss immer die selbe Dimension stehen. Darüber hinaus müssen bei der Addition und der Subtraktion von physikalischen Größen stets ihrer Dimension übereinstimmen.

Physikalische Gleichungen

Physikalische Gleichungen geben Beziehungen zwischen physikalischen Größen oder zwischen physikalischen Einheiten in einer vereinbarten Schreibweise wieder. Man unterscheidet zwischen Größengleichungen und Einheitengleichungen.

Größengleichungen

In einer Größengleichung wird eine Beziehung zwischen physikalischen Größen dargestellt.
Beispiel: v=s/t
Eine Größengleichung gilt unabhängig von der Wahl der Einheiten.

Einheitengleichung

Eine Einheitengleichung gibt die zahlenmäßige Beziehung zwischen Einheiten an.
Beispiel: $1\text{N} = 1\text{m}\,\text{kg/s}^2$

Signifikante Stellen

Die Anzahl der signifikanten Stellen ist eine Angabe zur Genauigkeit einer Zahl. Die signifikanten Stellen sind gleich der Anzahl der angegebenen Ziffern ohne die führenden Nullen. Sie ist nicht zu verwechseln mit der Anzahl der Nachkommastellen, wo alle Ziffern nach dem Komma zählen.

Zahl	**Signifikante Stellen**	**Nachkomma-stellen**
76,27	4	2
0,007245	4	6
$6,741 \cdot 10^6$	4	3

Ganze Zahlen (ohne Dezimalpunkt oder Komma) sind eigentlich exakt (d.h. sie haben also unendlich viele signifikante Stellen). Da dies zu Mehrdeutigkeit führt, ist die wissenschaftliche Schreibweise als $\mathit{Mantisse} \cdot \mathit{10}^{\mathit{Exponent}}$ vorzuziehen.
Beispiel:

eine signifikante Stelle:	$2 \cdot 10^1$
zwei signifikante Stellen:	$2,0 \cdot 10^1$
drei signifikante Stellen:	$2,000 \cdot 10^1$

In die Rechnung eingehende ganze Zahlen sollten ebenso wie mathematische Konstanten und Naturkonstanten in der Regel die im Ergebnis angegebene Zahl signifikanter Stellen nicht einschränken. Häufig ist die Angabe von vier signifikanten Stellen vernünftig. Zu Beachten:

- In einer Summation entspricht die Anzahl der signifikanten Stellen im Ergebnis der kleinsten Anzahl von signifikanten Stellen in den Summanden
  Beispiel: 1,23 + 3,4461 = 4,68
- In einer Multiplikation oder Division erhält man nie mehr signifikante Stellen, als irgendeiner der Faktoren in dem Ausdruck hat.
  Beispiel: 1,23 / 3,4461 = 0,357
  Die Taschenrechnerantwort 1,23 / 3,4461 = 0,3569252 ist im Allgemeinen uninteressant. Die letzten vier Stellen sind nicht signifikant und haben keine physikalische Bedeutung.

Wissenschaftliche Notation

Die wissenschaftliche Notation löst das Problem der Darstellung großer und kleiner Zahlen. Außerdem ermöglicht sie, von einer Zahl nur die wirklich signifikanten Stellen zu schreiben.
In der wissenschaftlichen Notation gibt man bei reellen Zahlen zunächst eine Stelle vor dem Komma und den Rest der signifikanten Stellen nach dem Komma, bei ganzen Zahlen alle signifikanten Stellen ohne Komma an. Dann folgt die Größenordnung, ausgedrückt in Zehnerpotenzen.
Beispiele:

- Radius eines Sauerstoffkerns: $r_O = 2,6 \cdot 10^{-13} cm$
- Abstand Erde zur Sonne : $r_{Erde-Sonne} = 149,6 \cdot 10^8 m$