



Der korrekte Umgang mit Größen, Einheiten und Gleichungen

new edition

Mehr als 100 Jahre ist es jetzt alt, das erste deutsche „Gesetz, betreffend die elektrischen Maßeinheiten“. Das Jubiläum des Gesetzes gab Anlaß, an die Wichtigkeit einheitlicher Schreibweisen zu erinnern, die heute auf dem internationalen Parkett wichtiger denn je sind. In diesem Repetitorium werden die elektrischen Größen und Einheiten dargelegt. Eine umfassende Darstellung der Einheiten für alle Gebiete der Physik ist in [1] zu finden.

Die gesetzlichen Einheiten

Durch das Gesetz vom 2. Juli 1969 über Einheiten im Meßwesen und die Ausführungsverordnung vom 26. Juni 1970 zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen wurde das Internationale Einheitensystem (SI-Einheiten) in das deutsche Recht übernommen; sie sind in [2] abgedruckt. Das Gesetz führt die SI-Basiseinheiten mit ihren Definitionen und die Vorsätze für die dezimalen Vielfachen und Teile von Einheiten auf. Die Ausführungsverordnung enthält die Definition der „Gesetzlichen abgeleiteten Einheiten“. Die elektrischen SI-Einheiten stimmen – bis auf Feinheiten der Definition – mit den im „Gesetz, betreffend die elektrischen Maßeinheiten“, von 1898 festgelegten Einheiten überein.

Die EG-Richtlinie von 1981 erforderte eine Novellierung des Einheitengesetzes „Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 22. Februar 1985“ und der Ausführungsverordnung „Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 13. Dezember 1985“. Diese Dokumente sind in [3] abgedruckt. Das neue Gesetz und die Ausführungsverordnung enthalten nicht mehr die Definitionen der Einheiten, sondern verweisen auf DIN 1301-1, Ausgabe Dezember 1985. Während das

DIN-Nr.	Bezeichnung	DIN-Taschenbuch
461	Grafische Darstellungen in Koordinatensystemen	202
1301 Teil 1 Teil 2	Einheiten; Einheitennamen, Einheitenzeichen Allgemein angewendete Teile und Vielfache	22*
1302	Allgemeine mathematische Zeichen und Begriffe	202
1304 Teil 1 Teil 6	Formelzeichen; Allgemeine Formelzeichen Formelzeichen der elektrischen Nachrichtentechnik	202
1313	Größen	22*
1338	Formelschreibweise und Formelsatz	202
5493 Teil 1 Teil 2	Logarithmische Größen und Einheiten Allgemeine Grundlagen Logarithmierte Verhältnisgrößen	22*
40 146 Teil 2	Begriffe der Nachrichtenübertragung; Nutzpegel, Störpegel, Dynamik, Signal-/Stör-Pegelabstand	22

Tabelle 1 Die zitierten Grundnormen
(Die durch * gekennzeichneten Normen wurden nach Erscheinen des zitierten DIN-Taschenbuchs neu herausgegeben. Die Neuauflagen sind im Literaturverzeichnis gesondert vermerkt.)

Gesetz und die Ausführungsverordnung nur den geschäftlichen und den amtlichen Verkehr als Anwendungsbereich haben, gilt die entsprechende Norm DIN 1301 ohne diese Einschränkung.

Die DIN-Normen über Größen, Einheiten, Formelzeichen und Gleichungen sind in den DIN-Taschenbüchern 22 [4] und 202 [5] zusammengefaßt. Die zitierten Normen (Tabelle 1) werden vom Normenausschuß Technische Grundlagen (NATG), Fachbereich A: Einheiten und Formelgrößen (AEF), im Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) herausgegeben. Sie sind mit den zuständigen internationalen Organisationen (u.a. ISO und IEC) abgestimmt und beschreiben den international anerkannten Stand der Technik [6].

Die SI-Basisgrößen und SI-Basiseinheiten sind in Tabelle 2, die für die Elektrotechnik wichtigen abgeleiteten Größen mit besonderen Einheiten in Tabelle 3 zusammen-

mengestellt. Tabelle 4 enthält die Vorsätze und Vorsatzzeichen für dezimale Teile und Vielfache von Einheiten. Die Vorsätze beziehungsweise Vorsatzzeichen werden nur zusammen mit Einheitennamen beziehungsweise Einheitenzeichen verwendet. Ein Vorsatzzeichen wird ohne Zwischenraum vor das Einheitenzeichen geschrieben; es bildet mit dem Einheitenzeichen das Zeichen einer neuen Einheit.

Die SI-Einheiten dürfen nicht anders als in Gesetz und Norm angegeben geschrieben werden und nicht durch zusätzliche Kennzeichen wie Indizes verändert werden! Einheiten dürfen keinesfalls in Klammern gesetzt werden, weder in rechteckige, noch in runde (DIN 1313, DIN 461).

SI-Basisgröße		SI-Basiseinheit	
Name	Formelzeichen	Name	Zeichen
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	T, Θ	Kelvin	K
Stoffmenge	n, ν	Mol	mol
Lichtstärke	I_v	Candela	cd

Tabelle 2 Die SI-Basisgrößen und SI-Basiseinheiten [7]

Größe		Abgeleitete SI-Einheit	
Name	Formelzeichen	Name	Zeichen
Energie	W	Joule	J
Leistung	P	Watt	W
elektrische Spannung	U	Volt	V
elektrische Ladung	Q	Coulomb	C
elektrische Kapazität	C	Farad	F
elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω
elektrischer Leitwert	G	Siemens	S
magnetischer Fluß	F	Weber	Wb
magnetische Flußdichte	B	Tesla	T
Induktivität	L	Henry	H
Frequenz	f	Hertz	Hz

Tabelle 3 Die abgeleiteten elektrischen Größen und Einheiten mit besonderen Einheitenzeichen [7] (Anmerkung: Wenn aus dem Kontext eindeutig hervorgeht, daß es sich um elektrische Größen handelt, kann das Adjektiv „elektrisch“ weggelassen werden.)

Größen

Physikalische Phänomene werden qualitativ und quantitativ durch physikalische Größen beschrieben. Jeder spezielle Wert einer Größe kann als Produkt aus Zahlenwert und Einheit dargestellt werden. Wenn sich die Einheit ändert (z.B. durch den Gebrauch einer Einheit mit Vorsatzzeichen), dann ändert sich auch der Zahlenwert. Das Produkt aus Zahlenwert und Einheit bleibt dabei konstant; es ist invariant gegenüber einem Wechsel der Einheit. Beispiel: Bei den Angaben $U = 0,1 \text{ V}$ und $U = 100 \text{ mV}$ handelt es sich um denselben Größenwert.

Formelzeichen für physikalische Größen sollen aus nur einem Buchstaben bestehen. Sie sind in DIN 1304 und weiteren Normen festgelegt. Bei Benutzung mehrerer Buchstaben besteht die Gefahr, daß das Zeichen in Gleichungen als Produkt mehrerer Größen mißdeutet wird. Aus demselben Grund sollen als Formelzeichen von Größen auch keine aus mehreren Buchstaben bestehenden Abkürzungen von Namen verwendet werden. Soll eine bestimmte Bedeutung eines Formelzeichens gekennzeichnet wer-

den, so kann das allgemeine Formelzeichen Buchstaben oder Zahlen als Indizes erhalten.

Größen gleicher Art werden in der gleichen Einheit angegeben. Sie werden entweder durch unterschiedliche Formelzeichen oder durch Formelzeichen mit Index unterschieden. Einige Beispiele für Größen gleicher Art sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Gleichungen

Die Begriffe Größengleichung, Zugeschnittene Größengleichung, Zahlenwertgleichung sowie die Beziehung Größenzahlwert = Zahlenwert mal Einheit gehen auf Arbeiten von Julius Wallot aus den Jahren 1922 bis 1933 zurück. Die Diskussionen über diese Thematik führten zu

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

Tabelle 4 Vorsätze und Vorsatzzeichen für dezimale Teile und Vielfache von Einheiten [7]

der Erstausgabe der Norm DIN 1313 (1931): Schreibweise physikalischer Gleichungen.

Größengleichungen [12] sind Gleichungen, in denen die Formelzeichen physikalische Größen oder mathema-

Größe		SI-Einheit	
Name	Formelzeichen	Name	Zeichen
Länge	l	Meter	m
Breite	b	Meter	m
Höhe	h	Meter	m
Frequenz	f	Hertz	Hz
Resonanzfrequenz	f_r, f_{rsn}	Hertz	Hz
Bandbreite	B, f_B	Hertz	Hz
elektrische Spannung	U	Volt	V
Effektivwert der Spannung	U_{eff}	Volt	V
Leistung	P	Watt	W
Signalleistung	P_s	Watt	W
Rauschleistung	P_n	Watt	W
Wirkleistung	P, P_p	Watt	W
Blindleistung	Q, P_q	Watt	W (auch Var)
Scheinleistung	S, P_s	Watt	W (auch VA)

Tabelle 5 Beispiele für Größen gleicher Art

tische Zeichen (Zahlen, Variablen, Funktionen, Operatoren) bedeuten. Diese Gleichungen sind von der Wahl der Einheiten unabhängig. Bei der Auswertung von Größengleichungen sind für die Formelzeichen der Größen die Produkte aus Zahlenwert und Einheit einzusetzen. Zahlenwerte und Einheiten werden in Größengleichungen als selbständige Faktoren behandelt.

Beispiel: Die Gleichung:

$$U = R \cdot I$$

liefert immer dasselbe Ergebnis, unabhängig davon, in welchen Einheiten der Widerstand R und der Strom I angegeben werden, falls stets für R und I die zugehörigen Produkte aus Zahlenwert und Einheit eingesetzt werden.

Zugeschnittene Größengleichungen

[12] sind Größengleichungen, in denen jede Größe durch eine zugehörige Einheit dividiert erscheint.

Beispiel:

$$U/\text{kV} = 10^{-3} \cdot (R/\Omega) \cdot (I/\text{A})$$

Die Klammern können weggelassen werden, wenn die Zuordnung von Größen und Einheiten ohne Klammern ersichtlich ist, zum Beispiel auf der linken Seite der obigen Gleichung oder bei Verwendung waagerechter Bruchstriche:

$$\frac{U}{\text{kV}} = 10^{-3} \frac{R}{\Omega} \frac{I}{\text{A}}$$

Die zugeschnittene Größengleichung hat den Vorteil, daß die Quotienten aus Größe und Einheit unmittelbar die Zahlenwerte bei den angegebenen Einheiten darstellen. Die Gleichungen bleiben aber auch richtig, wenn für die Größen die Produkte aus Zahlenwert und Einheit in anderen Einheiten eingesetzt werden. Daraus ergeben

sich dann zusätzliche Umrechnungen der Einheiten. Die zugeschnittene Größengleichung eignet sich in erster Linie zur Darstellung von Ergebnissen.

Zahlenwertgleichungen sollten nicht mehr verwendet werden, denn sie gelten seit mehr als 60 Jahren als veraltet. Sie müssen nach DIN 1313 als Zahlenwertgleichungen gekennzeichnet werden; für alle Größen müssen die Einheiten angegeben werden.

Den einschlägigen Normen widerspricht es, in Gleichungen den Größensymbolen die Einheiten in rechteckigen Klammern anzufügen.

Negativbeispiel:

falsch

$$U [\text{kV}] = 10^{-3} \cdot R [\Omega] \cdot I [\text{A}]$$

Diese Schreibweise ist nach DIN 1313 keinesfalls zu verwenden. Werden in dieser Gleichung die Größenwerte als Produkt von Zahlenwert und Einheit eingesetzt, so entsteht eine unsinnige Gleichung, weil die Einheiten jeweils zweimal als Faktor vorkommen. Wenn nur der Zusammenhang zwischen den Zahlenwerten dargestellt werden soll, dann ist die Form der zugeschnittenen Größengleichung zu bevorzugen.

Logarithmierte Größenverhältnisse, Dämpfungs- und Übertragungsmaß

Mit **-maß** wird ein logarithmiertes Verhältnis von Leistungs- oder Feldgrößen bezeichnet, das zur Kennzeichnung der Eigenschaften eines Objekts (Zweiter, z.B. Übertragungsglied) dient [8]. Als Einheit wird das Dezibel (dB) verwendet.

Definition für Feldgrößen (z.B. für die komplexen Amplituden von Wechselspannungen):

Spannungsdämpfungsmaß:

$$A_U = 20 \lg \left| \frac{U_1}{U_2} \right| \text{ dB}$$

Spannungsübertragungsmaß, Spannungsverstärkungsmaß:

$$G_U = 20 \lg \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \text{ dB}$$

Definition für reelle Leistungsgrößen

(z.B. Wirkleistungen):

Leistungsverstärkungsmaß:

$$G_P = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB}$$

Die Argumente des Logarithmus sind Größenverhältnisse der Dimension 1 (Zahlenwerte). Die Einheit dB hat ebenfalls die Dimension 1 und wird deshalb als „Pseudoeinheit“ bezeichnet. Sie ist keine SI-Einheit. Die Funktion „lg“ bezeichnet den Logarithmus zur Basis 10; „log“ steht für die allgemeine Logarithmusfunktion.

Logarithmierte Größenverhältnisse, Pegel

Als Pegel wird das logarithmierte Verhältnis zweier Leistungs- oder Feldgrößen bezeichnet, wenn die Nennergröße ein festgelegter Wert einer Bezugsgröße gleicher Dimension wie die Zählergröße ist [8]. Als Einheit wird das Dezibel (dB) verwendet. Der Wert der Bezugsgröße sollte stets bei der Nennung von Zahlenwerten von Pegeln angegeben werden. Als Kurzform dieser Angabe kann nach IEC 27-3 [9] die Bezugsgröße in Klammern hinter das dB-Zeichen gesetzt werden. Wenn der Zahlenwert der Bezugsgröße gleich 1 ist, kann in der Klammer diese 1 weggelassen werden. Zur Information sind einige Kurzformen angegeben, die von der Internationalen Fernmeldeunion UIT eingeführt wurden [10]. Bei diesen

Kurzformen wird an die Bezeichnung dB zur Kennzeichnung des Bezugswertes ein Buchstabe oder eine Zeichenfolge unmittelbar angehängt. Die Kurzbezeichnungen werden von IEC und DIN nur zur Information angegeben, aber nicht empfohlen.

Beispiel [7]: Schreibweise Leistungspegel, ausführlich geschrieben:

$$L_P (\text{re } 1 \text{ mW}) = 10 \lg \frac{P}{1 \text{ mW}} \text{ dB}$$

durch Index am Größensymbol gekennzeichnet:

$$L_{P/mW} = 10 \lg \frac{P}{1 \text{ mW}} \text{ dB}$$

in Kurzform:

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{1 \text{ mW}} \text{ dB(mW)}$$

in Kurzform nach UIT:

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{1 \text{ mW}} \text{ dBm}$$

In Tabelle 6 sind einige Pegeldefinitionen sowie die Kurzzeichen nach IEC und UIT angegeben. Weitere Pegelangaben in der Nachrichtenübertragungstechnik sind in DIN 40146-2 und [11] zu finden.

Die Differenz der Pegel eines Signals an zwei verschiedenen Punkten einer Übertragungseinrichtung ist ein Maß; die Differenz der Pegel zweier verschiedener Signale an ein- und demselben Punkt einer Übertragungseinrichtung ist ein Pegelabstand [8].

Anmerkung zur Klammerung: In DIN 5493-2 [8] werden Klammern wie folgt gesetzt:

$$10 \left(\lg \frac{P}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dB}$$

In IEC 27-3 [9] dagegen:

$$10 \lg \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dB}$$

Größe Bezugswert	Formelzeichen		Pegel Definition	Einheit, Kurzform	
	ausführlich	kurz		IEC	UIT
elektrische Leistung Bezugswert 1 W	$L_P (\text{re } 1 \text{ W})$	$L_{P/W}$	$10 \lg \left(\frac{P}{1 \text{ W}} \right) \text{ dB}$	dB(W)	dBW
elektrische Leistung Bezugswert 1 mW	$L_P (\text{re } 1 \text{ mW})$	$L_{P/mW}$	$10 \lg \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dB}$	dB(mW)	dBm
elektrische Spannung Bezugswert 1 V	$L_U (\text{re } 1 \text{ V})$	$L_{U/V}$	$20 \lg \frac{ U }{1 \text{ V}} \text{ dB}$	dB(V)	dBV
elektrische Spannung Bezugswert 1 µV	$L_U (\text{re } 1 \text{ µV})$	$L_{U/µV}$	$20 \lg \frac{ U }{1 \text{ µV}} \text{ dB}$	dB(µV)	dBµV
elektrische Feldstärke Bezugswert 1 µV/m	$L_E (\text{re } 1 \text{ µV/m})$	$L_{E/(µV/m)}$	$20 \lg \frac{ E }{1 \text{ µV}} \text{ dB}$	dB(µV/m)	nicht dBµV/m

Tabelle 6 Beispiele von Pegeldefinitionen mit verschiedenen Bezugsgrößen (nach [10])

Nach DIN 1338 sind Klammern nur zum Vermeiden von Mehrdeutigkeiten erforderlich. Deshalb wurden in diesen Formeln die Klammern weggelassen.

- Chemische Elemente und Verbindungen, z.B. Cu; H₂O

Angabe von Größenwerten in Tabellen und Diagrammen

Schreibweisen

Die Schreibweisen für Größen und Einheiten sind in DIN 1313 und DIN 1338 genormt.

In **Kursivschrift** werden geschrieben:

- physikalische Größen, z.B. m (Masse); U (elektrische Spannung)
- Variablen, z.B. x ; n
- Funktions- und Operatorzeichen, deren Bedeutung frei gewählt werden kann, z.B. $f(x)$

In **Steilschrift** werden geschrieben:

- Einheiten und ihre Vorsätze, z.B. kg; pF; V; dB, auch DM,
- Zahlen, z.B. 4,5; 67; 8fach; 1/2,
- Funktions- und Operatorzeichen mit feststehender Bedeutung, z.B. sin; lg; π

DIN 461 enthält Empfehlungen für die Beschriftung der Koordinatenachsen von Diagrammen. Analog sollte bei der Beschriftung von Tabellenköpfen vorgegangen werden. In den Tabellen 7 und 8 sind Beispiele für falsche und für normgerechte Beschriftungen von Tabellenköpfen und Koordinatenachsen gegeben.

Die Beschriftung von Meßgeräten sollte ebenfalls an DIN 461 ausgerichtet sein. Wegen der Vielfalt der Funktionen moderner elektronischer Meßgeräte und der Beschränkung von Platz und Zeichenvorrat gibt es besondere Probleme; in manchen Fällen müssen Kompromisse eingegangen werden.

falsch	falsch	falsch	richtig	richtig	richtig	richtig	richtig
U [V]	U [V]	U_{in} [V]	U	U/V	U_{in} V	$E/(V/m)$	E_{in} V/m
0,1	0,1	0,1	0,1 V	0,1	0,1	0,1	0,1
0,2	0,2	0,2	0,2 V	0,2	0,2	0,2	0,2
...

Tabelle 7 Beschriftung von Tabellenköpfen und Koordinatenachsen

falsch	richtig	richtig	richtig
P/W	P/W	P/W	P
1	1	1	1 W
1 m	1 · 10 ⁻³	10 ⁻³	1 mW
1 μ	1 · 10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	1 μW
1 n	1 · 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	1 nW

Tabelle 8 Beschriftung von Tabellenköpfen und Koordinatenachsen für große Wertebereiche (Vorsatzzeichen dürfen nicht getrennt verwendet werden!)

Häufige Fehler

Bei der Durchsicht von Fachzeitschriften, von technischen Dokumentationen und von Vortragsmanuskripten sind im Umgang mit Größen, Einheiten und Gleichungen zahlreiche Verstöße

gegen die einschlägigen nationalen und internationalen Normen zu finden.

Eine insbesondere im Bereich der Elektrotechnik verbreitete Unsitte ist, Einheiten mit Index zu versehen. Dies ist nicht nur ein Verstoß gegen die einschlägigen Normen, sondern auch gegen das Einheitengesetz. Ein solcher Index gehört stets an das Größensymbol, nicht an das Einheitensymbol. Als Folge dieses Mißbrauchs werden Umrechnungen zwischen Einheiten angegeben, wenn Umrechnungen zwischen Größen gemeint sind. Besonders problematisch ist in dieser Hinsicht die Pseudoeinheit Dezibel (dB); alle Probleme mit den verschiedenen Anwen-

dungen vereinfachen sich, wenn der Bezugswert als Index am Größensymbol angebracht wird.

Ein weiterer Verstoß gegen die Normen ist, die Einheit in rechteckigen Klammern neben das Größensymbol zu schreiben. Leider ist diese Unsitte weit verbreitet, sie ist sogar in Manuskripten einiger Hochschullehrer zu finden. Wenn zusätzlich zur Größe die Einheit angegeben werden soll, wird die Form der zugeschnittenen Größen-gleichung empfohlen.

Dr. Klaus H. Blankenburg

LITERATUR

- [1] Drath, P.: Leitfaden für den Gebrauch des Internationalen Einheitensystems. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (1996).
- [2] Sacklowski, A.; Röhl, E.: Einheitenlexikon, Begriffe, Größen, Einheiten in Physik und Technik unter Berücksichtigung des neuen Einheitengesetzes. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 4. Auflage (1973).
- [3] Sacklowski, A. (bearbeitet von Drath, P.): Einheitenlexikon, Entstehung, Anwendung, Erläuterung von Gesetz und Normen. Beuth-Kommentare, Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln, 1. Auflage (1986).
- [4] DIN-Taschenbuch 22 (AEF-Taschenbuch 1): Einheiten und Begriffe für physikalische Größen, Normen. Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin (1990).
- [5] DIN-Taschenbuch 202 (AEF-Taschenbuch 2): Formelzeichen, Formelsatz, Mathematische Zeichen und Begriffe, Normen. Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin (1994).
- [6] Garlichs, G.: Grundlegende Normung für die Elektrotechnik. telekom praxis (8/93).
- [7] DIN 1301-1: Einheiten, Einheitenamen, Einheitenzeichen (12/93).
- [8] DIN 5493-2: Logarithmische Größen und Einheiten, Logarithmierte Größenverhältnisse, Maße, Pegel und Dezibel (09/94).
- [9] IEC 27-3: Letter symbols to be used in electrical technology, Part 3: Logarithmic quantities and units (1989).
- [10] CCIR Recommendation 574-3 (1990): Use of the decibel and the neper in telecommunications.
- [11] DIN 5493-2 B1: Logarithmische Größen und Einheiten, Logarithmierte Größenverhältnisse, Pegel, Hinweiszeichen auf Bezugsgrößen und Meßbedingungen (09/94).
- [12] DIN 1313: Größen (12/98).

Faksimile des „Gesetzes, betreffend die elektrischen Maßeinheiten“, aus dem Jahr 1898

