

# Der normgerechte Umgang mit Größen, Einheiten und Gleichungen



**ROHDE & SCHWARZ**

# Vorwort

Naturwissenschaftler, Ingenieure und Techniker erlernen in der Regel während des Studiums oder der Berufsausbildung den korrekten Umgang mit physikalischen Größen, Einheiten und Gleichungen. In der beruflichen Praxis tritt dieser Umgang jedoch häufig in den Hintergrund. Zur Auffrischung dieser Kenntnisse und als Nachschlagewerk gibt dieses Repetitorium einen Überblick über die einschlägigen nationalen und internationalen Normen. Dabei werden ausschließlich die Einheiten des internationalen Einheitensystems SI und die damit zusammenhängenden Größen des internationalen Größensystems ISQ sowie Einheiten und Größen, die mit dem SI bzw. ISQ verwendet werden können, und die logarithmischen Größen mit der Einheit Dezibel behandelt. Für andere Einheiten und Größen wird auf die Literaturstellen [3] und [4] verwiesen.

# Die gesetzlichen Einheiten und das Internationale Größensystem

Das Internationale Einheitensystem SI (Système international d'unités) wurde 1960 von der Generalkonferenz für Maß und Gewicht (Conférence générale des poids et mesures, CGPM) angenommen. Maßgeblich für den aktuellen Stand ist der französische Text der BIPM-Broschüre [1]. Die PTB-Broschüre [2] ist die deutsche Übersetzung.

Das Internationale Einheitensystem SI wurde in fast allen Staaten in das jeweilige nationale Recht übernommen, in Deutschland durch das Gesetz von 1969 über Einheiten im Messwesen (zuletzt geändert 2008) und die Ausführungsverordnung von 1970 (zuletzt geändert 2009).

Die DIN-Normen über Größen, Einheiten, Formelzeichen und Gleichungen sind in den DIN-Taschenbüchern 22 [5] und 202 [6] zusammengefasst. DIN 1301-1 [20] enthält den aktuellen Stand des SI.

Die deutschen Normen sind mit den zuständigen internationalen Organisationen (ISO und IEC) abgestimmt und beschreiben den international anerkannten Stand der Technik [7]. Die aktuellen internationalen Normen sind in [8], [9] und [14] bis [19] angegeben. In [8], [9], [10], [11], [12], [13] werden die SI-Einheiten auf Grundlage des Internationalen Größensystems ISQ (International System of Quantities) definiert.

Während das Gesetz nur den geschäftlichen und den amtlichen Verkehr als Anwendungsbereich hat, gelten die entsprechenden Normen ohne diese Einschränkung.

Die ISO-Basisgrößen und die SI-Basiseinheiten sind in Tabelle 1, die abgeleiteten Größen mit besonderen Einheitenzeichen in Tabelle 2 zusammengestellt. In Tabelle 3 sind Beispiele für abgeleitete Größen ohne besondere Einheitenzeichen angegeben. 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. Tabelle 5 enthält Beispiele für die Verwendung von Vorsätzen und Vorsatzzeichen.

Die abgeleiteten SI-Einheiten werden als Produkte, Quotienten und Potenzen der Basiseinheiten definiert, wobei kein von 1 verschiedener Zahlenfaktor auftritt. Dieses Einheitensystem ist kohärent. Tabelle 6 enthält Einheiten außerhalb des SI, die im Zusammenhang mit dem SI benutzt werden können.

**Tabelle 1: ISO-Basisgrößen und SI-Basiseinheiten**

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

Die Formelzeichen für die SI-Einheiten sind international genormt, sie sind in allen Sprachen gleich. Sie dürfen nicht anders als in Gesetz und Norm angegeben geschrieben und nicht durch zusätzliche Kennzeichen wie Indizes oder Anhängsel verändert werden!

**Tabelle 2: Abgeleitete Größen und abgeleitete Einheiten mit besonderen Einheitenzeichen**

| Abgeleitete ISO-Größe        |                                  | Abgeleitete SI-Einheit |                  |                      |  |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------|----------------------|--|
| Name <sup>1)</sup>           | Formelzeichen                    | Name                   | Einheitenzeichen | Ausgedrückt in       |  |
|                              |                                  |                        |                  | anderen SI-Einheiten | SI-Basiseinheiten  |
| Ebener Winkel                | $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$ | Radian                 | rad              |                      | 1  |
| Raumwinkel                   | $\Omega$                         | Steradian              | sr               |                      | 1  |
| Frequenz                     | $f, \nu$                         | Hertz                  | Hz               |                      | s <sup>-1</sup>  |
| Kraft                        | $F$                              | Newton                 | N                |                      | m kg s <sup>-2</sup>   |
| Druck, mechanische Spannung  | $P$                              | Pascal                 | Pa               | N/m <sup>2</sup>     | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                             |
| Energie, Arbeit, Wärmemenge  | $W$                              | Joule                  | J                | N · m                | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                              |
| Leistung, Wärmestrom         | $P$                              | Watt                   | W                | J/s                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>                              |
| Elektrische Spannung         | $U, V$                           | Volt                   | V                | W/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>              |
| Elektrische Ladung           | $Q$                              | Coulomb                | C                |                      | A s  |
| Elektrische Kapazität        | $C$                              | Farad                  | F                | C/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup> |
| Elektrischer Widerstand      | $R$                              | Ohm                    | $\Omega$         | V/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>              |
| Elektrischer Leitwert        | $G$                              | Siemens                | S                | A/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup> |
| Magnetischer Fluss           | $\Phi$                           | Weber                  | Wb               | V · s                | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>              |
| Magnetische Flussdichte      | $B$                              | Tesla                  | T                | Wb/m <sup>2</sup>    | kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>                             |
| Induktivität                 | $L$                              | Henry                  | H                | Wb/A                 | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>              |
| Lichtstrom                   | $\Phi_v$                         | Lumen                  | lm               | cd · sr              | cd   |
| Beleuchtungsstärke           | $E_v$                            | Lux                    | lx               | lm/m <sup>2</sup>    | m <sup>-2</sup> cd   |
| Aktivität eines Radionuklids | $A$                              | Becquerel              | Bq               |                      | s <sup>-1</sup>  |
| Energiedosis                 | $D$                              | Gray                   | Gy               | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| Äquivalentdosis              | $H$                              | Sievert                | Sv               | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| Katalytische Aktivität       |                                  | Katal                  | kat              |                      | mol s <sup>-1</sup>  |

<sup>1)</sup> Geht aus dem Kontext eindeutig hervor, dass es sich um elektrische Größen handelt, kann das Adjektiv „elektrisch“ weggelassen werden.

**Tabelle 3: Beispiele für abgeleitete Größen ohne besondere Einheitenzeichen**

| Abgeleitete ISO-Größe  |               | Abgeleitete SI-Einheit      |                      |   |
|------------------------|---------------|-----------------------------|----------------------|---|
| Name                   | Formelzeichen | Name                        | Ausgedrückt in       |   |
|                        |               |                             | anderen SI-Einheiten | SI-Basiseinheiten                                 |
| Fläche                 | $A$           | Quadratmeter                |                      | m <sup>2</sup>                                    |
| Volumen                | $V$           | Kubikmeter                  |                      | m <sup>3</sup>                                    |
| Geschwindigkeit        | $v$           | Meter durch Sekunde         |                      | m s <sup>-1</sup>                                 |
| Beschleunigung         | $a$           | Meter durch Sekundequadrat  |                      | m s <sup>-2</sup>                                 |
| Winkelgeschwindigkeit  | $\omega$      | Radian durch Sekunde        | rad/s                | s <sup>-1</sup>                                   |
| Winkelbeschleunigung   | $\alpha$      | Radian durch Sekundequadrat | rad/s <sup>2</sup>   | s <sup>-2</sup>                                   |
| Kraftmoment            | $M$           | Newtonmeter                 | N · m                | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                 |
| Wärmestromdichte       | $q$           | Watt durch Quadratmeter     | W/m <sup>2</sup>     | kg s <sup>-3</sup>                                |
| Wärmekapazität         | $C$           | Joule durch Kelvin          | J/K                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> |
| Wärmeleitfähigkeit     | $\lambda$     | Watt durch Meter Kelvin     | W/(m · K)            | m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>              |
| Energiedichte          | $e$           | Joule durch Kubikmeter      | J/m <sup>3</sup>     | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                |
| Elektrische Feldstärke | $E$           | Volt durch Meter            | V/m                  | m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>              |
| Magnetische Feldstärke | $H$           | Ampere durch Meter          |                      | A m <sup>-1</sup>                                 |

**Tabelle 4: Vorsätze und Vorsatzzeichen für dezimale Teile und Vielfache von Einheiten**

| 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   | $\mu$   | $10^{-6}$  |
| 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 5: Beispiele für die Verwendung von Vorsätzen und Vorsatzzeichen**

| Einheit       | Einheitenname | Beziehung                           |
|---------------|---------------|-------------------------------------|
| km            | Kilometer     | $1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$     |
| mm            | Millimeter    | $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$  |
| $\mu\text{m}$ | Mikrometer    | $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ |
| nm            | Nanometer     | $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$  |
| TW            | Terawatt      | $1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$  |
| GW            | Gigawatt      | $1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$     |
| MW            | Megawatt      | $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$     |
| kW            | Kilowatt      | $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$     |
| mW            | Milliwatt     | $1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$  |
| $\mu\text{W}$ | Mikrowatt     | $1 \mu\text{W} = 10^{-6} \text{ W}$ |
| nW            | Nanowatt      | $1 \text{ nW} = 10^{-9} \text{ W}$  |
| pW            | Pikowatt      | $1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W}$ |

Bei der Masse sind die Vorsätze auf das Gramm anzuwenden.

**Tabelle 6: Einheiten außerhalb des SI, die mit dem SI benutzt werden können**

| Größe         | Einheitenname | Einheitenzeichen | Beziehung                      | Wert in SI-Einheiten                                    |
|---------------|---------------|------------------|--------------------------------|---|
| Zeit          | Minute        | min              |                                | $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$                          |
|               | Stunde        | h                | $1 \text{ h} = 60 \text{ min}$ | $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$                          |
|               | Tag           | d                | $1 \text{ d} = 24 \text{ h}$   | $1 \text{ d} = 86\,400 \text{ s}$                       |
| Ebener Winkel | Grad          | $^\circ$         |                                | $1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$                       |
|               | Winkelminute  | '                | $1' = (1/60)^\circ$            | $1' = (\pi/10\,800) \text{ rad}$                        |
|               | Winkelsekunde | "                | $1'' = (1/60)'$                | $1'' = (\pi/648\,000) \text{ rad}$                      |
| Fläche        | Hektar        | ha               |                                | $1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$                       |
| Volumen       | Liter         | L, l             |                                | $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$                     |
| Masse         | Tonne         | t                |                                | $1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$                         |
| Druck         | Bar           | bar              | $10^5 \text{ Pa}$              | $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ m}^{-1} \text{ kg s}^{-2}$ |

Physikalische Phänomene werden qualitativ und quantitativ durch physikalische Größen beschrieben. Jeder spezielle Wert einer Größe kann als Produkt aus Zahlenwert und Einheit dargestellt werden. Ändert sich die Einheit (z.B. durch den Gebrauch einer Einheit mit Vorsatzzeichen), 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 sind international in der Normenreihe IEC 60027 ([14], [16] und [18]) sowie im IEC 112 [12] festgelegt. Diese Normen sind vom CENELEC als Europa-Normen (EN) und vom DIN als Deutsche Normen übernommen worden ([15], [17] und [19]). Die deutsche Übersetzung des IEC 112 [13] wurde von der DKE herausgegeben.

Aus mehreren Buchstaben bestehende Abkürzungen von Bezeichnungen sollen nicht als Formelzeichen von Größen verwendet werden. Soll eine bestimmte Bedeutung eines Formelzeichens gekennzeichnet werden, so kann das allgemeine Formelzeichen Buchstaben oder Zahlen als Indizes erhalten.

Formelzeichen für Größen sollen keinen Hinweis auf bestimmte Einheiten enthalten!

Größen gleicher Art werden in der gleichen Einheit angegeben und entweder durch unterschiedliche Formelzeichen oder durch Formelzeichen mit Index unterschieden. Die Tabellen 7, 8 und 9 enthalten einige Beispiele für Größen gleicher Art. Summen und Differenzen sind nur für Größen gleicher Art zulässig.

Durch Multiplikation und Division von Größen können weitere Größen definiert werden (Beispiele siehe Tabelle 10).

Für Größen ist Multiplikation und Division mit Zahlenfaktoren möglich.

**Tabelle 7: Beispiele für Größen der Größenart Länge**

| Größe       |               | Einheit |               |
|-------------|---------------|---------|---------------|
| Name        | Formelzeichen | Name    | Formelzeichen |
| Länge       | $l$           | Meter   | m             |
| Breite      | $b$           | Meter   | m             |
| Höhe        | $h$           | Meter   | m             |
| Dicke       | $D, d$        | Meter   | m             |
| Radius      | $r, R$        | Meter   | m             |
| Durchmesser | $d, D$        | Meter   | m             |
| Umfang      | $u, U$        | Meter   | m             |
| Wellenlänge | $\lambda$     | Meter   | m             |

**Tabelle 8: Beispiele für Größen der Größenart Leistung**

| Größe          |               | Einheit |               |
|----------------|---------------|---------|---------------|
| Name           | Formelzeichen | Name    | Formelzeichen |
| 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 9: Beispiele für Größen der Größenart elektrische Spannung**

| Größe                                  |                  | Einheit |               |
|--|------------------|---------|---------------|
| Name                                   | Formelzeichen    | Name    | Formelzeichen |
| Elektrische Spannung                   | $U, u$           | Volt    | V             |
| Effektivwert einer Wechselspannung     | $U_{\text{eff}}$ | Volt    | V             |
| Scheitelwert einer Wechselspannung     | $U_s$            | Volt    | V             |
| Gleichrichtwert einer Wechselspannung  | $U_m$            | Volt    | V             |
| Komplexe Amplitude einer Sinusspannung | $\underline{U}$  | Volt    | V             |

**Tabelle 10: Beispiele für abgeleitete ISO-Größen**

| Name <sup>2)</sup>          | Formelzeichen | Ausgedrückt in     |                       |
|-----------------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
|                             |               | anderen ISO-Größen | ISO-Basisgrößen       |
| Fläche                      | $A$           |                    | $l^2$                 |
| Volumen                     | $V$           |                    | $l^3$                 |
| Geschwindigkeit             | $v$           |                    | $l t^{-1}$            |
| Beschleunigung              | $a$           |                    | $l t^{-2}$            |
| Kraft                       | $F$           |                    | $l m t^{-2}$          |
| Druck, mechanische Spannung | $P$           | $F/l^2$            | $l^{-1} m t^{-2}$     |
| Energie, Arbeit, Wärmemenge | $W$           | $F \cdot l$        | $l^2 m t^{-2}$        |
| Leistung, Wärmestrom        | $P$           | $W/t$              | $l^2 m t^{-3}$        |
| Elektrische Spannung        | $U, V$        | $W/I$              | $l^2 m t^{-3} I^{-1}$ |
| Elektrische Ladung          | $Q$           |                    | $I t$                 |
| Elektrische Kapazität       | $C$           | $Q/U$              | $t^{-2} m^{-1} t^4 P$ |
| Elektrischer Widerstand     | $R$           | $U/I$              | $l^2 m t^{-3} I^{-2}$ |
| Magnetischer Fluss          | $\Phi$        | $U \cdot t$        | $l^2 m t^{-2} I^{-1}$ |
| Magnetische Flussdichte     | $B$           | $\Phi/l^2$         | $m t^{-2} I^{-1}$     |
| Induktivität                | $L$           | $\Phi/I$           | $l^2 m t^{-2} I^{-2}$ |
| Kraftmoment                 | $M$           | $F \cdot l$        | $l^2 m t^{-2}$        |
| Wärmestromdichte            | $q$           | $W/l^2$            | $m t^{-3}$            |
| Wärmekapazität              | $C$           | $J/T$              | $l^2 m t^{-2} T^{-1}$ |
| Wärmeleitfähigkeit          | $\Phi$        | $W/(l \cdot T)$    | $l m t^{-3} T^{-1}$   |
| Energiedichte               | $e$           | $J/l^3$            | $l^{-1} m t^{-2}$     |
| Elektrische Feldstärke      | $E$           | $U/l$              | $l m t^{-3} I^{-1}$   |
| Magnetische Feldstärke      | $H$           | $I/l$              | $I I^{-1}$            |

<sup>2)</sup> Geht aus dem Kontext eindeutig hervor, dass es sich um elektrische Größen handelt, kann das Adjektiv „elektrisch“ weggelassen werden.

# Größen mit Bezugswert, Niveaugrößen

Niveaugrößen geben die Differenz zu einem von Null verschiedenen festgelegten Bezugswert an. Jeder Wert einer Niveaugröße kann als Produkt aus Zahlenwert und Einheit dargestellt werden. Das Formelzeichen für die Niveaugröße muss zusätzlich einen Hinweis auf die Bezugsgröße enthalten, oder es muss ein besonderes Formelzeichen verwendet werden.

Für je zwei Werte einer Niveaugröße kann eine Differenz gebildet werden, die eine Größe ist. Die Differenzgröße ist unabhängig vom Bezugswert.

Die Temperaturdifferenz kann in Kelvin oder Grad Celsius angegeben werden; die Werte sind gleich.

Die Addition von Werten einer Niveaugröße ist nur sinnvoll, wenn die Summe durch die Anzahl der Summanden geteilt wird. Dadurch wird der Mittelwert berechnet, der ebenfalls eine Niveaugröße ist.

Zu einem Wert einer Niveaugröße kann eine Größe gleicher Art addiert oder von ihr subtrahiert werden. Das Ergebnis ist ebenfalls eine Niveaugröße.

**Tabelle 11: Beispiele für Niveaugrößen**

| Niveaugröße                            | Formelzeichen    | Bezugswert                            | Einheit                 | Einheitenzeichen |
|--|------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|
| Höhenkoordinate eines Geländepunktes   | $h_{\text{NHN}}$ | Nationale Höhenmarke, Normalhöhennull | Meter                   | m                |
| Wasserstandskoordinate eines Gewässers | $h_{\text{P}}$   | Nullpunkt einer Pegellatte            | Meter                   | m                |
| Elektrisches Potential                 | $\varphi$        | Nullpotential, z.B. Erdpotential      | Volt                    | V                |
| Tageszeit                              | $t_{\text{d}}$   | Mitternacht, 0:00 h                   | Sekunde, Minute, Stunde | s, min, h        |
| Celsius-Temperatur                     | $T_{\text{C}}$   | $T_0 = 273,15 \text{ K}$              | Grad Celsius            | °C               |

**Tabelle 12: Beispiele für Differenzen von Niveaugrößen**

| Niveaugröße                            | Differenz   | Differenzgröße       | Einheit                 | Einheitenzeichen |
|--|---|----------------------|-------------------------|------------------|
| Höhenkoordinate eines Geländepunktes   | $\Delta h = h_{\text{NHN},2} - h_{\text{NHN},1}$        | Höhendifferenz       | Meter                   | m                |
| Wasserstandskoordinate eines Gewässers | $\Delta h = h_{\text{P},2} - h_{\text{P},1}$            | Pegeldifferenz       | Meter                   | m                |
| Elektrisches Potential                 | $U = \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$             | Elektrische Spannung | Volt                    | V                |
| Tageszeit                              | $\Delta t_{\text{d}} = t_{\text{d},2} - t_{\text{d},1}$ | Dauer                | Sekunde, Minute, Stunde | s, min, h        |
| Celsius-Temperatur                     | $\Delta T_{\text{C}} = T_{\text{C},2} - T_{\text{C},1}$ | Temperaturdifferenz  | Grad Celsius, Kelvin    | °C, K            |

**Tabelle 13: Beispiele für Mittelwerte von Niveaugrößen**

| Niveaugröße                            | Mittelwert   | Niveau-Mittelwert               | Einheit                 | Einheitenzeichen |
|--|--|---------------------------------|-------------------------|------------------|
| Höhenkoordinate eines Geländepunktes   | $h_{\text{m}} = (h_{\text{NHN},2} + h_{\text{NHN},1})/2$ | Mittlere Höhenkoordinate        | Meter                   | m                |
| Wasserstandskoordinate eines Gewässers | $h_{\text{m}} = (h_{\text{P},2} + h_{\text{P},1})/2$     | Mittlere Wasserstandskoordinate | Meter                   | m                |
| Elektrisches Potential                 | $\varphi_{\text{m}} = (\varphi_2 + \varphi_1)/2$         | Mittleres Potential             | Volt                    | V                |
| Tageszeit                              | $t_{\text{d,m}} = (t_{\text{d},2} + t_{\text{d},1})/2$   | Zeitmittelwert                  | Sekunde, Minute, Stunde | s, min, h        |
| Celsius-Temperatur                     | $T_{\text{C,m}} = (T_{\text{C},2} + T_{\text{C},1})/2$   | Temperaturmittelwert            | Grad Celsius            | °C               |



# Physikalische Konstanten

Jeder Wert einer physikalischen Konstanten kann als Produkt aus Zahlenwert und Einheit dargestellt und in Gleichungen wie eine Größe behandelt werden.

**Tabelle 14: Beispiele für physikalische Fundamentalkonstanten**

| Name                           | Formelzeichen | Beziehung   | Ausgedrückt in SI-Einheiten             |   |
|--------------------------------|---------------|---|---|---|
| Lichtgeschwindigkeit im Vakuum | $c, c_0$      |   |   | $299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$                   |
| Magnetische Feldkonstante      | $\mu_0$       |   | $\frac{4\pi \mu\text{H}}{10 \text{ m}}$ | $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{V s}}{\text{A m}}$      |
| Elektrische Feldkonstante      | $\epsilon_0$  | $\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$                | $8,854 \frac{\text{pF}}{\text{m}}$      | $8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A s}}{\text{V m}}$    |
| Feldwellenwiderstand           | $Z_0$         | $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \mu_0 c$ |   | $376,730 \Omega$  |
| Elementarladung                | $e$           |   | $1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$         | $1,602 \cdot 10^{-19} \text{A s}$                       |
| Elektronenmasse                | $m_e$         |   |   | $9,109 \cdot 10^{-31} \text{kg}$                        |
| Gravitationskonstante          | $G$           |   |   | $6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}$ |
| Boltzmann-Konstante            | $k_B$         |   |   | $1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$        |
| Loschmidt-Konstante            | $N_L$         |   |   | $2,687 \cdot 10^{25} \text{m}^{-3}$                     |

Anmerkung: Der Wert für die Lichtgeschwindigkeit ist exakt, die übrigen Zahlenwerte sind gerundet. Die Werte zahlreicher physikalischer Fundamentalkonstanten sind in [25] und [26] zu finden.

# Gleichungen

Die Begriffe Größengleichung, zugeschnittene Größengleichung, Zahlenwertgleichung sowie die Beziehung „Größenwert gleich Zahlenwert mal Einheit“ gehen auf Arbeiten von Julius Wallot und anderen aus den Jahren 1922 bis 1933 zurück. Die Diskussionen über diese Thematik führten zu der Erstausgabe der Norm „DIN 1313 (1931): Schreibweise physikalischer Gleichungen“. Die aktuelle Ausgabe dieser Norm ist [21].

Die Formelzeichen für Größen, Konstanten und Einheiten sind in Gleichungen wie Variablen im Sinne der Algebra zu behandeln.

## Größengleichungen

Größengleichungen sind Gleichungen, in denen die Formelzeichen physikalische Größen oder mathematische Zeichen bedeuten ([3], [4], [8], [9], [12], [13], [21]). 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 selbstständige Faktoren behandelt.

Beispiel: Die Gleichung

$$U = R \cdot I$$

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

## Zugeschnittene Größengleichungen

Zugeschnittene Größengleichungen sind Größengleichungen, in denen jede Größe durch eine zugehörige Einheit dividiert erscheint [21].

Beispiele:

$$U/V = (R/\Omega) \cdot (I/A)$$

$$U/V = (R/k\Omega) \cdot (I/mA)$$

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

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

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

Die zugeschnittene Größengleichung hat den Vorteil, dass die Quotienten aus Größe und Einheit unmittelbar die Zahlenwerte 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

Zahlenwertgleichungen sind Gleichungen, in denen die Formelzeichen Zahlenwerte physikalischer Größen oder mathematische Zeichen bedeuten. Diese Gleichungen sind von der Wahl der Einheiten abhängig.

Zahlenwertgleichungen sollten nicht verwendet werden, sie gelten als veraltet. Sie müssen gemäß DIN 1313 [21] und ISO 80000-1 [8], [9] als Zahlenwertgleichungen gekennzeichnet werden; für alle Größen sind die Einheiten anzugeben.

Bei der Verwendung kohärenter Einheiten stimmen die Zahlenwertgleichungen mit den entsprechenden Größengleichungen überein. Bei der Verwendung gleicher Formelzeichen für Größen und Zahlenwerte ist nicht erkennbar, ob es sich um eine Größengleichung oder eine Zahlenwertgleichung handelt.

Zur Kennzeichnung von Zahlenwert und Einheit einer Größe werden in den Normen geschweifte und eckige Klammern in folgender Bedeutung verwendet:

{ $U$ } Zahlenwert der Größe  $U$

[ $U$ ] Einheit der Größe  $U$

$U = \{U\} \cdot [U]$  Größe = Zahlenwert · Einheit

Diese Bezeichnungsweise wird nur benötigt, wenn Einheiten außerhalb des SI verwendet werden. Den einschlägigen Normen widerspricht es, in Gleichungen den Größensymbolen die Einheiten in rechteckigen Klammern anzufügen oder die Einheiten vor, neben oder unter den Gleichungen in rechteckigen Klammern anzugeben.

### Negativbeispiele:

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

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

Diese Schreibweisen sind keinesfalls zu verwenden. Soll nur der Zusammenhang zwischen den Zahlenwerten dargestellt werden, ist die Form der zugeschnittenen Größengleichung vorzuziehen. Korrekt sind hingegen die Angaben  $U$  in kV,  $R$  in  $\Omega$ ,  $I$  in A. Diese Schreibweise hat den Vorteil, dass sie im Englischen gleichlautend ist.

Beispiel:

$U = 10^{-3} \cdot R \cdot I$   $U$  in kV,  $R$  in  $\Omega$ ,  $I$  in A  
(korrekt, aber nicht zu empfehlen!)

### Gleichungen mit Niveaugrößen

Für Niveaugrößen empfiehlt sich die Anwendung von zugeschnittenen Größengleichungen oder von Zahlenwertgleichungen.

Beispiel: Umrechnung einer thermodynamischen Temperatur in die entsprechende Celsius-Temperatur:

Als zugeschnittene Größengleichung:

$$T_{\text{C}}/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$$

Als Zahlenwertgleichung:

$$T_{\text{C}} = T - 273,15 \quad T_{\text{C}} \text{ in } ^{\circ}\text{C}, T \text{ in K}$$

# Logarithmierte Größenverhältnisse, Dämpfungs- und Übertragungsmaß

In der Telekommunikation und der Akustik wird mit -maß ein logarithmiertes Verhältnis zweier elektrischer Größen gleicher Art bezeichnet, das zur Kennzeichnung der Eigenschaften eines Zweitors oder einer Übertragungsstrecke dient [22]. Als Einheit wird das Dezibel (dB) verwendet. Die Argumente des Logarithmus sind Größenverhältnisse der Dimension Zahl (Zahlenwerte). Die Einheit dB ist keine SI-Einheit, sollte jedoch – ebenso wie die SI-Einheiten – nicht durch Zusätze verändert werden. Die Funktion „lg“ bezeichnet den Logarithmus zur Basis 10; „log“ steht für die allgemeine Logarithmusfunktion.

In den folgenden Gleichungen bezeichnet der Index 1 die Eingangsgröße, der Index 2 die Ausgangsgröße eines Zweitors.

## Definition für Leistungsgrößen

Beispiel: Wirkleistungen

Leistungsdämpfungsmaß eines Zweitors:

$$A_p = \left( 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \right) \text{ dB}$$

Leistungsgewinnmaß (Verstärkungsmaß) eines Zweitors:

$$G_p = \left( 10 \lg \frac{P_2}{P_1} \right) \text{ dB} = -A_p$$

## Definition für Größen, deren Quadrat einer Leistungsgröße proportional ist

Beispiel: komplexe Amplituden oder Effektivwerte von Wechselspannungen

Spannungsdämpfungsmaß eines Zweitors:

$$A_U = \left( 20 \lg \left| \frac{U_1}{U_2} \right| \right) \text{ dB} = \left( 20 \lg \frac{U_{1\text{eff}}}{U_{2\text{eff}}} \right) \text{ dB}$$

Spannungsgewinnmaß (Verstärkungsmaß) eines Zweitors:

$$G_U = \left( 20 \lg \left| \frac{U_2}{U_1} \right| \right) \text{ dB} = \left( 20 \lg \frac{U_{2\text{eff}}}{U_{1\text{eff}}} \right) \text{ dB} = -A_U$$

Diese Größen wurden bisher als Feldgrößen bezeichnet, diese Benennung ist jedoch irreführend. Leistungs- und Energiedichten sind zugleich Feldgrößen und Leistungsgrößen. Elektrische Spannung und elektrische Stromstärke sind keine Feldgrößen, sondern Integrale über Feldgrößen. Deshalb wurde in ISO 80000-1 [8] die Benennung „root power quantity“ (in [9] „Leistungswurzelgröße“) eingeführt. Diese Benennung wurde in den Entwurf der nächsten Version der Norm IEC 60027 übernommen.

Weitere Beispiele enthält [22].

# Logarithmierte Größenverhältnisse, Pegel

In der Telekommunikation und der Akustik wird als Pegel das logarithmierte Verhältnis zweier Größen bezeichnet, wenn die Nennergröße ein festgelegter Wert einer Bezugsgröße gleicher Art wie die Zählergröße ist [18], [19], [22]. Als Einheit wird das Dezibel (dB) verwendet. Der Wert der Bezugsgröße sollte stets bei der Nennung der Zahlenwerte von Pegeln angegeben werden. Als Kurzform dieser Angabe kann die Bezugsgröße in Klammern hinter das dB-Zeichen gesetzt werden. Ist der Zahlenwert der Bezugsgröße gleich 1, kann in der Klammer diese 1 weggelassen werden. Um zu kennzeichnen, dass es sich nicht um eine besondere Einheit, sondern nur um eine Bezeichnung des Bezugswertes handelt, sollte zwischen dem Einheitenzeichen dB und dem Klammersymbol ein Zwischenraum eingefügt werden (siehe [18], [19]). In [18] und [19] sind zusätzlich einige Kurzformen angegeben, die von der Internationalen Fernmeldeunion ITU/UIT eingeführt wurden [23]. Bei diesen Kurzformen wird an die Bezeichnung dB zur Kennzeichnung des Bezugswertes ein Buchstabe

oder eine Zeichenfolge unmittelbar angehängt. Diese Kurzbezeichnungen ist gemäß IEC 60027-3 ([18], [19]) zu vermeiden.

## Definition für Leistungsgrößen

Beispiel: Leistung  $P$ , Bezugswert  $P_0$

$$L_P(\text{re } P_0) = L_{P/P_0} = 10 \lg \frac{P}{P_0} \text{ dB}$$

## Definition für Größen, deren Quadrat einer Leistungsgröße proportional ist

Beispiel: Spannung  $U$ , Bezugswert  $U_0$

$$L_U(\text{re } U_0) = L_{U/U_0} = 20 \lg \frac{U}{U_0} \text{ dB}$$

In Tabelle 15 sind einige Pegeldefinitionen und deren Kurzzeichen angegeben. Weitere in der Nachrichtenübertragungstechnik gebräuchliche Pegelangaben enthält IEC 60027-2 [16], [17].

Die Kurzformen in den Spalten 5 und 6 von Tabelle 15 sind nur zur Angabe von Messwerten und Ergebnissen geeignet! Generell sollen Hinweiszeichen für Bezugswerte und Messverfahren am Größensymbol, nicht am Einheitenzeichen angebracht werden! Dies gilt nicht nur für die SI-Einheiten, sondern auch für die Einheit Dezibel. In der Akustik werden die früher üblichen Einheiten mit Zusätzen (z.B. dB(A)) nicht mehr verwendet!

Weitere Beispiele sind in [22] zu finden.

**Tabelle 15: Beispiele von Pegeldefinitionen mit verschiedenen Bezugsgrößen**

| Größe<br>Bezugswert   | Formelzeichen                     |                         | Pegel, Definition   | Einheit, Kurzform      |   |
|---|-----------------------------------|-------------------------|---|------------------------|---|
|   | ausführlich                       | kurz                    |   | IEC <sup>3)</sup>      | ITU/UIT <sup>4)</sup>                   |
| Elektrische Leistung<br>Bezugswert 1 mW                                 | $L_P(\text{re } 1 \text{ mW})$    | $L_{P/\text{mW}}$       | $10 \lg \left( \frac{P}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dB}$                 | dB (mW)                | dBm                                     |
| Elektrische Spannung<br>Bezugswert 1 V                                  | $L_U(\text{re } 1 \text{ V})$     | $L_{U/\text{V}}$        | $20 \lg \left( \frac{U_{\text{eff}}}{1 \text{ V}} \right) \text{ dB}$     | dB (V)                 | dBV                                     |
| Elektrische Spannung<br>Bezugswert 1 $\mu\text{V}$                      | $L_U(\text{re } 1 \mu\text{V})$   | $L_{U/\mu\text{V}}$     | $20 \lg \left( \frac{U_{\text{eff}}}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB}$   | dB ( $\mu\text{V}$ )   | dB $\mu\text{V}$                        |
| Elektrische Stromstärke<br>Bezugswert 1 $\mu\text{A}$                   | $L_I(\text{re } 1 \mu\text{A})$   | $L_{I/\mu\text{A}}$     | $20 \lg \left( \frac{I_{\text{eff}}}{1 \mu\text{A}} \right) \text{ dB}$   | dB ( $\mu\text{A}$ )   | dB $\mu\text{A}$                        |
| Elektrische Feldstärke<br>Bezugswert 1 $\mu\text{V/m}$                  | $L_E(\text{re } 1 \mu\text{V/m})$ | $L_{E/(\mu\text{V/m})}$ | $20 \lg \left( \frac{E_{\text{eff}}}{1 \mu\text{V/m}} \right) \text{ dB}$ | dB ( $\mu\text{V/m}$ ) | nicht: dB $\mu\text{V/m}$ <sup>5)</sup> |
| Magnetische Feldstärke<br>Bezugswert 1 $\mu\text{A/m}$                  | $L_H(\text{re } 1 \mu\text{A/m})$ | $L_{H/(\mu\text{A/m})}$ | $20 \lg \left( \frac{H_{\text{eff}}}{1 \mu\text{A/m}} \right) \text{ dB}$ | dB ( $\mu\text{A/m}$ ) | nicht: dB $\mu\text{A/m}$ <sup>5)</sup> |
| Relativer Störpegel<br>Trägerleistung $P_c$<br>Störsignalleistung $P_n$ | $L_n(\text{re } P_c)$             | $L_{n,P_c}$             | $10 \lg \left( \frac{P_n}{P_c} \right) \text{ dB}$                        | dB ( $P_c$ )           | dBc                                     |

<sup>3)</sup> In Größengleichungen durch dB ohne Zusatz zu ersetzen.

<sup>4)</sup> Diese Kurzbezeichnungen sollten vermieden werden.

<sup>5)</sup> Diese Kurzbezeichnungen sind fehlerhaft.

## Beziehung zwischen Pegeln der elektrischen und magnetischen Feldstärke

Die Feldstärken sind durch die Gleichung  $E_{\text{eff}} = Z_{\text{W}} \cdot H_{\text{eff}}$  verknüpft, wobei  $Z_{\text{W}}$  der Wellenwiderstand ist.

Umrechnung in Pegel:

$$\begin{aligned} 20 \lg \left( \frac{E_{\text{eff}}}{1 \mu\text{V/m}} \right) \text{ dB} &= 20 \lg \left( \frac{H_{\text{eff}}}{1 \mu\text{A/m}} \cdot \frac{Z_{\text{W}}}{1 \Omega} \right) \text{ dB} \\ &= 20 \lg \left( \frac{H_{\text{eff}}}{1 \mu\text{A/m}} \right) \text{ dB} + 20 \lg \left( \frac{Z_{\text{W}}}{1 \Omega} \right) \text{ dB} \end{aligned}$$

Mit dem Ausdruck

$$A_{Z/\Omega} = 20 \lg \left( \frac{Z_{\text{W}}}{1 \Omega} \right) \text{ dB}$$

und den in Tabelle 15 definierten Formelzeichen kann die Beziehung zwischen den Feldstärkepegeln folgendermaßen geschrieben werden:

$$L_{E/(\mu\text{V/m})} = L_{H/(\mu\text{A/m})} + A_{Z/\Omega}$$

Für den Term  $A_{Z/\Omega}$  wird die Benennung „Impedanz-Wandlungsmaß“ vorgeschlagen. Er ist kein Pegel, da der Bezugswert weder eine Leistungsgröße noch eine Leistungswurzelgröße ist. Als Kurzbezeichnung kann dB ( $\Omega$ ) verwendet werden. Die Bezeichnung dB $\Omega$  sollte vermieden werden. Der Wellenwiderstand  $Z_{\text{W}}$  kann ein Leitungswellenwiderstand oder der Feldwellenwiderstand  $Z_0$  (Tabelle 14) sein.

# Rechenoperationen für logarithmische Pegel und Maße

In Gleichungen sind ein logarithmisches Maß wie eine Größe und ein logarithmischer Pegel wie eine Niveaugröße zu behandeln.

Der Mittelwert zweier Pegel mit gleichen Bezugswerten ist ebenfalls ein Pegel:

$$L_m = (L_1 + L_2)/2$$

Die Differenz zweier Pegel mit gleichem Bezugswert ist ein Maß:

$$\Delta L = A = L_1 - L_2$$

Für Maße sind die Summen- und Differenzbildung sowie Multiplikation und Division mit reellen Faktoren möglich:

$$A_s = A_1 + A_2, \quad A_d = A_1 - A_2, \quad A_p = k \cdot A_1, \quad A_q = A_1/k$$

Maße können zu Pegeln addiert oder von diesen subtrahiert werden:

$$L_1 = L_2 + A, \quad L_1 = L_2 - A$$

Diese Rechenoperation entspricht nur dann den Regeln der Algebra, wenn Pegel und Maß in der gleichen Einheit dB ohne Zusätze eingesetzt werden.

Diese Beziehungen sollten als Größengleichungen aufgefasst werden. Die Werte für Pegel und Maße sind als Produkt von Zahlenwert und der Einheit dB ohne Zusatzkennzeichen einzusetzen.

Werden für die Pegel die Einheitenbezeichnungen gemäß UIT eingesetzt (z.B. dBm), kann die Gleichung für die Pegeldifferenz entweder als zugeschnittene Größengleichung

$$\Delta L/\text{dB} = A/\text{dB} = L_1/\text{dBm} - L_2/\text{dBm}$$

oder als Zahlenwertgleichung geschrieben werden:

$$\Delta L = A = L_1 - L_2 \quad \Delta L, A \text{ in dB, } L_1, L_2 \text{ in dBm} \\ \text{(korrekt, aber nicht zu empfehlen!)}$$

Der Mittelwert wird aus der zugeschnittenen Größengleichung gebildet:

$$L_m/\text{dBm} = (L_1/\text{dBm} + L_2/\text{dBm})/2$$

# Schreibweisen

Die Schreibweisen für Größen und Einheiten sind in [8] und [9] international genormt, siehe auch [1] bis [4].

## Kursivschrift

In Kursivschrift werden geschrieben:

- Formelzeichen für physikalische Größen, z.B.  $m$  (Masse);  $U$  (elektrische Spannung)
- Formelzeichen für Variablen, z.B.  $x$ ;  $n$
- Funktions- und Operatorzeichen mit frei wählbarer Bedeutung, z.B.  $f(x)$

Für diese Formelzeichen wird in den Normen ein Serifenschrifttyp (z.B. Times) empfohlen.

## Steilschrift

In Steilschrift werden geschrieben:

- Einheiten und ihre Vorsätze, z.B. m; mm; kg; s; MW;  $\mu\text{V}$ ; dB
- Formelzeichen für Konstanten, z.B.  $c$  (Lichtgeschwindigkeit)
- Zahlen, z.B. 4,5; 67; 8fach;  $1/2$
- Funktions- und Operatorzeichen mit feststehender Bedeutung, z.B. sin; lg;  $\pi$
- Chemische Elemente und Verbindungen, z.B. Cu;  $\text{H}_2\text{O}$

Für diese Formelzeichen wird in den Normen kein bestimmter Schrifttyp empfohlen.

Es wird empfohlen, für Ziffern einen Schrifttyp zu verwenden, bei dem sich die Ziffern „Eins“ (1) und „Null“ (0) deutlich von den Buchstaben „kleines l (l)“ und „großes i (I)“ bzw. „großes o (O)“ unterscheiden (z.B. Arial).

Formelzeichen für Einheiten werden klein geschrieben (z.B. m, s), es sei denn, sie sind von einem Namen hergeleitet (z.B. A, W). Zeigen Einheitenvorsätze eine Verkleinerung an, werden sie klein geschrieben. Bedeuten Einheitenvorsätze eine Vergrößerung, werden sie – mit Ausnahme des k – groß geschrieben.



# Angabe von Größenwerten in Tabellen und Diagrammen

Empfehlungen zur Beschriftung von Koordinatenachsen in grafischen Darstellungen und von Tabellenköpfen enthalten [4] und [24]. Die Tabellen 16 und 17 geben Beispiele für normgerechte und für fehlerhafte Beschriftungen von Tabellenköpfen und Koordinatenachsen.

Die Beschriftung der Anzeige von elektronischen Geräten, insbesondere von Messgeräten, sollte ebenfalls nach diesen Empfehlungen ausgerichtet sein. Wegen der Vielfalt der Funktionen moderner elektronischer Geräte und der Beschränkung von Platz und Zeichenvorrat gibt es besondere Probleme; in manchen Fällen müssen Kompromisse eingegangen werden.

**Tabelle 16: Beschriftung von Tabellenköpfen und Koordinatenachsen**

| richtig |                   |                          |  | falsch <sup>6)</sup>   |
|---------|-------------------|--------------------------|--|------------------------|
| $U$     | $UN,$<br>$U$ in V | $E$                      | $E/(\mu\text{V}/\text{m}),$<br>$E$ in $\mu\text{V}/\text{m}$ | $U$ [V],<br>$U$ in [V] |
| 1 V     | 1                 | 1 $\mu\text{V}/\text{m}$ | 1  | 1                      |
| 2 V     | 2                 | 2 $\mu\text{V}/\text{m}$ | 2  | 2                      |
| 3 V     | 3                 | 3 $\mu\text{V}/\text{m}$ | 3  | 3                      |
| ...     | ...               | ...                      | ...  | ...                    |

<sup>6)</sup> Einheiten nicht in rechteckige Klammern setzen.

**Tabelle 17: Beschriftung von Tabellenköpfen und Koordinatenachsen für große Wertebereiche**

| richtig         |                    |              | falsch <sup>7)</sup> |
|-----------------|--------------------|--------------|----------------------|
| $P$             | $P/\text{W}$       | $P/\text{W}$ | $P/\text{W}$         |
| 1 TW            | $1 \cdot 10^{12}$  | $10^{12}$    | 1 T                  |
| 1 GW            | $1 \cdot 10^9$     | $10^9$       | 1 G                  |
| 1 MW            | $1 \cdot 10^6$     | $10^6$       | 1 M                  |
| 1 kW            | $1 \cdot 10^3$     | $10^3$       | 1 k                  |
| 1 W             | 1                  | 1            | 1                    |
| 1 mW            | $1 \cdot 10^{-3}$  | $10^{-3}$    | 1 m                  |
| 1 $\mu\text{W}$ | $1 \cdot 10^{-6}$  | $10^{-6}$    | 1 $\mu$              |
| 1 nW            | $1 \cdot 10^{-9}$  | $10^{-9}$    | 1 n                  |
| 1 pW            | $1 \cdot 10^{-12}$ | $10^{-12}$   | 1 p                  |

<sup>7)</sup> Vorsatzzeichen dürfen nicht getrennt verwendet werden.

# Häufige Fehler

Bei der Durchsicht von Fachzeitschriften, technischen Dokumentationen und Vortragsmanuskripten sind im Umgang mit Größen, Einheiten und Gleichungen zahlreiche Verstöße gegen die einschlägigen nationalen und internationalen Normen zu finden.

Eine verbreitete Unsitte ist es, 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 Einheitsymbol. Als Folge dieses Missbrauchs werden Umrechnungen zwischen Einheiten angegeben, wenn Umrechnungen zwischen Größen gemeint sind. Besonders problematisch ist in dieser Hinsicht die Einheit Dezibel (dB). Alle Probleme mit den verschiedenen Anwendungen vereinfachen sich, wenn anstelle spezieller Einheiten die entsprechenden Größen definiert werden und der Bezugswert als Index am Größensymbol angebracht wird.

Ein weiterer Verstoß gegen die Normen ist es, die Einheit in rechteckigen Klammern neben das Größensymbol zu schreiben. Leider ist diese Unsitte weit verbreitet. Wenn zusätzlich zur Größe die Einheit angegeben werden soll, wird die Form der zugeschnittenen Größengleichung empfohlen.

Dr. Klaus H. Blankenburg, November 2016

# Literaturangaben

| Referenznummer | Referenz  |
|----------------|---|
| [1]            | Le Système international d'unités (SI), 8e édition/<br>The International System of Units (SI) [8th edition, 2006; updated in 2014, <a href="http://www.bipm.org">www.bipm.org</a>   |
| [2]            | Das Internationale Einheitensystem (SI), Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (2007)<br>(Deutsche Fassung von [1], <a href="http://www.ptb.de">www.ptb.de</a> )  |
| [3]            | Thompson, A/Taylor, B.N.: Guide for the Use of the International System of Units (SI), Gaithersburg, 1995<br>(NIST Special Publication 811)   |
| [4]            | Drath, P.: Leitfaden für den Gebrauch des Internationalen Einheitensystems. Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig (1996).   |
| [5]            | DIN-Taschenbuch 22: Einheiten und Begriffe für physikalische Größen<br>DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 9. Auflage 2009  |
| [6]            | DIN-Taschenbuch 202: Formelzeichen, Formelsatz, mathematische Zeichen und Begriffe<br>DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 3. Auflage 2009   |
| [7]            | Garlichs, G.: Grundlegende Normung für die Elektrotechnik. telekom praxis (8/93).   |
| [8]            | ISO 80000-1:2009, Quantities and units – Part 1: General  |
| [9]            | DIN EN ISO 80000-1:2013, Größen und Einheiten – Teil 1: Allgemeines (Deutsche Fassung von [8])  |
| [10]           | International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition, JCGM 200:2012 (E/F)   |
| [11]           | Internationales Wörterbuch der Metrologie – Grundlegende und allgemeine Begriffe und zugeordnete Benennungen (VIM), englisch/deutsche Fassung von [10]<br>DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 3. Auflage 2010 (E/D) |
| [12]           | IEC 60050-112:2010, IEV PART 112: QUANTITIES AND UNITS (E/F) ( <a href="http://www.electropedia.org">www.electropedia.org</a> )   |
| [13]           | IEV Internationales elektrisches Wörterbuch Teil 112:2010: Größen und Einheiten (D/E/F) ( <a href="http://www.dke.de/DKE-IEV">www.dke.de/DKE-IEV</a> )  |
| [14]           | IEC 60027-1:1992, Letter symbols to be used in electrical technology – Part 1: General  |
| [15]           | DIN EN 60027-1:2007, Formelzeichen für die Elektrotechnik – Teil 1: Allgemeines (Deutsche Fassung von [14])   |
| [16]           | IEC 60027-2:2000, Letter symbols to be used in electrical technology – Part 2: Telecommunications and electronics   |
| [17]           | DIN EN 60027-2:2007, Formelzeichen für die Elektrotechnik – Teil 2: Telekommunikation und Elektronik<br>(Deutsche Fassung von [16])   |
| [18]           | IEC 60027-3:2004, Letter symbols to be used in electrical technology – Part 3: Logarithmic and related quantities, and their units  |
| [19]           | DIN EN 60027-3:2007, Formelzeichen für die Elektrotechnik – Teil 3: Logarithmische und verwandte Größen und ihre Einheiten, (Deutsche Fassung von [18])   |
| [20]           | DIN 1301-1:2010, Einheiten – Teil 1: Einheitennamen, Einheitenzeichen   |
| [21]           | DIN 1313:1998, Größen   |
| [22]           | DIN 5493:2012, Logarithmische Größen und Einheiten  |
| [23]           | ITU-R V.574-4:2000, Use of the decibel and the neper in telecommunications  |
| [24]           | DIN 461:1973, Graphische Darstellung in Koordinatensystemen (in [6] enthalten)  |
| [25]           | Fundamental Physical Constants – Extensive Listing ( <a href="http://physics.nist.gov/constant">http://physics.nist.gov/constant</a> )  |
| [26]           | Mohr, Taylor, Newell: CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2010<br>National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA  |

## Bezeichnungen der zitierten Institutionen

|         |   |
|---------|---|
| CGPM    | Conférence générale des poids et mesures  |
| JCGM    | Joint Committee for Guides in Metrology   |
| BIPM    | Bureau International des Poids et Mesures   |
| ISO     | International Organization for Standardization                                      |
| IEC     | International Electrotechnical Commission   |
| CENELEC | Comité Européen de Normalisation Electrotechnique                                   |
| DIN     | Deutsches Institut für Normung  |
| DKE     | Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik<br>Informationstechnik im DIN und VDE |
| PTB     | Physikalisch-Technische Bundesanstalt   |
| ITU     | International Telecommunication Union   |
| NIST    | National Institute of Standards and Technology                                      |

## Kontakt

- Europa, Afrika, Mittlerer Osten | +49 89 4129 12345  
customersupport@rohde-schwarz.com
- Nordamerika | 1 888 TEST RSA (1 888 837 87 72)  
customer.support@rsa.rohde-schwarz.com
- Lateinamerika | +1 410 910 79 88  
customersupport.la@rohde-schwarz.com
- Asien-Pazifik | +65 65 13 04 88  
customersupport.asia@rohde-schwarz.com
- China | +86 800 810 82 28 | +86 400 650 58 96  
customersupport.china@rohde-schwarz.com

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)

## Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG

[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)

R&S® ist eingetragenes Warenzeichen der Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG  
Eigennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer  
PD 5214.5061.61 | Version 04.02 | November 2016 (sk)  
Der normgerechte Umgang mit Größen, Einheiten und Gleichungen  
Daten ohne Genauigkeitsangabe sind unverbindlich | Änderungen vorbehalten  
© 1999 - 2016 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG | 81671 München



5214506161