

Das Internationale Einheitensystem (SI)

Deutsche Übersetzung der SI-Broschüre des BIPM
9. Auflage (Update 2024)



**Fachorgan für Wirtschaft und Wissenschaft, Amts- und
Mitteilungsblatt der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

135. Jahrgang, Heft 2, Mai 2025

Das Internationale Einheitensystem (SI)

Deutsche Übersetzung der SI-Broschüre des BIPM

9. Auflage (Update 2024)

Diese Übersetzung entspricht der vom
BIPM im August 2024 veröffentlichten Version 3.01.

Titelbild:

Historisches Siegel des BIPM
(Internationales Büro für Maß und Gewicht)

Die Figur in der Mitte, eine Allegorie der Wissenschaft, hält das Meternormal mit Dezimalteilung. Links von ihr sitzt Merkur mit Werkzeugen der Geodäsie (Karte, Globus, Kompass); die Figur rechts symbolisiert die Wirtschaft (mit technischen Werkzeugen wie Hammer, Amboss und Zahnrad). Das griechische Motto bedeutet „Nutze den Meter“.

Das Internationale Einheitensystem (SI)

▪ Das BIPM und die Meterkonvention	7
▪ Vorwort zur 9. Auflage	11
<i>B. Inglis, J. Ullrich, M. J. T. Milton</i>	
▪ Einführung	13
Das SI und die definierenden Konstanten.	13
Beweggründe für die Verwendung definierender Konstanten zur Definition des SI	13
Umsetzung des SI	14
▪ Das Internationale Einheitensystem	15
Definition der Einheit einer Größe	15
Definition des SI	15
Die Natur der sieben definierenden Konstanten.	16
Definitionen der SI-Einheiten.	17
Basiseinheiten.	17
Praktische Realisierung der SI-Einheiten.	22
Dimensionen der Größen.	22
Abgeleitete Einheiten	23
Einheiten für Größen, die biologische und physiologische Effekte beschreiben	28
SI-Einheiten im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie	28
▪ Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten	29
▪ Einheiten außerhalb des SI, deren Gebrauch im Zusammenhang mit dem SI zugelassen ist.	31
▪ Schreibweise der Namen und Zeichen der Einheiten und Darstellung von Größenwerten	33
Verwendung der Einheitenzeichen und -namen	33
Einheitenzeichen	33
Einheitennamen	34
Regeln und Stilvereinbarungen zur Angabe von Größenwerten.	34
Wert und Zahlenwert einer Größe; Rechnen mit Größen.	34
Größen und Einheitenzeichen	35
Angabe des Wertes einer Größe.	35
Angabe von Zahlenwerten und Dezimalzeichen	36
Ausdruck der Messunsicherheit im Wert einer Größe.	37
Multiplikation oder Division von Größenzeichen, Größenwerten und Zahlen.	37
Angabe von Größenwerten, die reine Zahlen sind	38
▪ Liste der Abkürzungen	41

Anmerkung der Redaktion

Schreibweisen im Deutschen

Die SI-Broschüre wird unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution 3.0 IGO License (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/>) verbreitet, die die uneingeschränkte Nutzung, Verbreitung und Vervielfältigung in jedem Medium erlaubt, vorausgesetzt, der/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle werden angemessen erwähnt, ein Link zur Creative Commons-Lizenz ist vorhanden und es wird darauf hingewiesen, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Der vorliegende Text wurde durch die Übersetzung ins Deutsche inhaltlich nicht verändert. Das vorliegende Heft stellt jedoch ein Regelwerk für den deutschen Sprachraum dar. Daher wurden die

Textstellen, an denen die Schreibweise der deutschen Sprache von den Regeln für das Englische und/oder Französische abweicht, durch die Richtlinie ergänzt, die der deutschen Grammatik entspricht. Die jeweiligen Erläuterungen und redaktionelle Anmerkungen sind wie hier grau hinterlegt.

Die Anhänge der SI-Broschüre des BIPM wurden nicht übersetzt. Die Textstellen, die auf einen Anhang verweisen, sind mit der englischen Version des Anhangs auf den Seiten des BIPM verlinkt und haben eine entsprechende Notiz erhalten. Im Folgenden finden Sie die Links zu allen englischen Anhängen als ausgeschriebene URL und als QR-Code.



Anhang 1. Beschlüsse der CGPM und des KVP

<https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/si-brochure-9-App1-EN.pdf>



Anhang 2. Praktische Umsetzung der Definition einiger wichtiger Einheiten

<https://www.bipm.org/publications/mises-en-pratique>



Anhang 3. Einheiten für photochemische und photobiologische Größen

<https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/SI-Brochure-9-App3-EN.pdf>



Anhang 4. Historische Anmerkungen zur Entwicklung des Internationalen Einheitensystems und seiner Basiseinheiten

<https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/SI-Brochure-9-App4-EN.pdf>

Das BIPM und die Meterkonvention

Das Internationale Büro für Maß und Gewicht (BIPM) wurde durch die Meterkonvention gegründet, die bei der Abschlusssitzung der diplomatischen Meterkonferenz am 20. Mai 1875 in Paris von 17 Staaten unterzeichnet wurde. Diese Konvention wurde 1921 geändert.

Das BIPM hat seinen Sitz in der Nähe von Paris, auf dem Areal (43 520 m²) des *Pavillon de Breteuil* (*Parc de Saint-Cloud*), das ihm von der französischen Regierung zur Verfügung gestellt wird und dessen Unterhalt gemeinsam von den Mitgliedsstaaten der Meterkonvention finanziert wird.

Das BIPM hat die Aufgabe, für die weltweite Einheitlichkeit von Messungen zu sorgen. Seine Funktionen bestehen also darin:

- die metrologische Gemeinschaft auf der ganzen Welt zu vertreten mit dem Ziel, deren Verständnis und Wirkung zu maximieren,
- als Zentrum für die wissenschaftliche und technische Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedsstaaten zu fungieren und die Voraussetzungen für internationale Messvergleiche auf geteilter Kostenbasis zu schaffen,
- das weltweite System des Messens zu koordinieren und sicherzustellen, dass es vergleichbare und international anerkannte Messergebnisse liefert.
- Das BIPM arbeitet unter der exklusiven Aufsicht des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht (CIPM), das wiederum der Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) unterliegt und dieser bezüglich der vom BIPM geleisteten Arbeiten Bericht erstattet.

Delegierte aus allen Mitgliedsstaaten der Meterkonvention sind bei der Generalkonferenz vertreten, die aktuell alle vier Jahre tagt. Diese Treffen zielen darauf ab,

- Abmachungen zur Sicherstellung der Weitergabe und der Verbesserung des Internationalen Einheitensystems (SI) – der modernen Form des metrischen Systems – zu besprechen und entsprechende Maßnahmen umzusetzen;
- die Ergebnisse neuer grundlegender metrologischer Bestimmungen und verschiedenste wissenschaftliche Resolutionen internationaler Reichweite zu bestätigen;
- alle maßgeblichen Entscheidungen bezüglich der Finanzen, der Organisation und der Entwicklung des BIPM zu treffen.

Das CIPM hat 18 Mitglieder, die alle aus unterschiedlichen Ländern stammen; momentan tagt es jährlich. Die Beauftragten dieses Komitees stellen den Regierungen der Mitgliedsländer der Meterkonvention einen Jahresbericht zur administrativen und finanziellen Lage des BIPM vor. Die wichtigste Aufgabe des CIPM ist es, dafür zu sorgen, dass weltweit einheitliche Maßeinheiten verwendet werden. Dies wird entweder durch unmittelbare Handlungen oder durch Einreichen von Vorschlägen bei der CGPM erreicht.

Mit Stand vom 20. Mai 2019 hatte diese Konvention 59 Mitgliedsstaaten: Argentinien, Australien, Österreich, Belgien, Brasilien, Bulgarien, Kanada, Chile, China, Kolumbien, Kroatien, Tschechische Republik, Dänemark, Ägypten, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Ungarn, Indien, Indonesien, Iran, Irak, Irland, Israel, Italien, Japan, Kasachstan, Kenia, Südkorea, Litauen, Malaysia, Mexiko, Montenegro, Niederlande, Neuseeland, Norwegen, Pakistan, Polen, Portugal, Rumänien, Russland, Saudi-Arabien, Serbien, Singapur, Slowakei, Slowenien, Südafrika, Spanien, Schweden, Schweiz, Thailand, Tunesien, Türkei, Ukraine, Vereinigte Arabische Emirate, Vereinigtes Königreich, Vereinigte Staaten von Amerika, Uruguay. Im Mai 2025 sind es bereits 64 Mitgliedsstaaten.

42 Länder und Wirtschaftsgemeinschaften waren assoziierte Staaten der Generalkonferenz (CGPM): Albanien, Aserbaidschan, Bangladesch, Weißrussland, Bolivien, Bosnien und Herzegowina, Botsuana, Karibische Gemeinschaft CARICOM, Republik China (Taiwan), Costa Rica, Kuba, Ecuador, Estland, Äthiopien, Georgien, Ghana, Hongkong, Jamaika, Kuwait, Lettland, Luxemburg, Malta, Mauritius, Moldawien, Mongolei, Namibia, Nordmazedonien, Oman, Panama, Paraguay, Peru, Philippinen, Katar, Seychellen, Sri Lanka, Sudan, Syrische Arabische Republik, Tansania, Usbekistan, Vietnam, Sambia und Simbabwe. Im Mai 2025 sind es 37 assoziierte Staaten.

Die Aktivitäten des BIPM, die sich am Anfang auf die Messung von Länge und Masse sowie auf Studien in Bezug auf diese Größen beschränkten, erstrecken sich mittlerweile auf Messnormale für Elektrizität (1927), Photometrie und Radiometrie (1937), ionisierende Strahlung (1960), Zeitskalen (1988) und Chemie (2000). Zu diesem Zweck wurden die ursprünglichen Laborräume, die zwischen 1876 und 1878 erbaut worden waren, 1929 erweitert. Neue Gebäude wurden 1963 und 1964 errichtet, um die Laborräume für ionisierende Strahlung zu beherbergen. 1984 wurde ein Labor für die Laserarbeit und 1988 Räumlichkeiten für eine Bibliothek und Büros gebaut. Ein neues Gebäude zur Unterbringung der Werkstatt, weiterer Büro- sowie Besprechungsräume wurde 2001 eingeweiht.

Nicht weniger als 45 Physikerinnen und Physiker sowie Technikerinnen und Techniker arbeiten in den Laboren des BIPM. Sie betreiben hauptsächlich Forschung zu metrologischen Themen und führen internationale Vergleichsmessungen der Darstellungen der Einheiten sowie Kalibrierungen von Messnormalen durch. Über einen Jahresbericht, den *Director's Report on the Activity and Management of the International Bureau of Weights and Measures*, werden Einzelheiten zu den laufenden Arbeiten bekanntgegeben.

Infolge der zusätzlichen Arbeitsgebiete, mit denen das BIPM 1927 beauftragt wurde, hat das CIPM Ausschüsse geschaffen, die unter dem Namen „Beratende Komitees“ bekannt sind. Die Aufgabe dieser Beratenden Komitees besteht darin, das CIPM mit Informationen zu Themen zu versorgen, die das CIPM ihnen zu Untersuchungs- und Beratungszwecken zugewiesen hat. Diese Beratenden Komitees, die zeitlich begrenzte oder zeitlich unbegrenzte Arbeitsgruppen zur Untersuchung spezieller Themen bilden können, sind dafür verantwortlich, die internationalen Arbeiten, die sie in ihren jeweiligen Spezialgebieten durchführen, zu koordinieren und dem CIPM Empfehlungen bezüglich der Einheiten zu unterbreiten.

Die Beratenden Komitees haben gemeinsame Regelungen (Dokument CIPM-D-01, *Rules of procedure for the Consultative Committees (CCs) created by the CIPM, CC working groups and CC workshops*). Sie treffen sich in unregelmäßigen Abständen. Der Präsident eines jeden Beratenden Komitees wird vom CIPM ernannt und ist für gewöhnlich ein Mitglied des CIPM. Die Mitglieder der Beratenden Komitees sind vom CIPM anerkannte Messlaboratorien und Fachinstitute, die Vertreter ihrer Wahl zu den Treffen senden. Hinzu kommen noch einzelne, vom CIPM ernannte Mitglieder sowie ein Vertreter des BIPM (Dokument CIPM-D-01, *Rules of procedure for the Consultative Committees (CCs) created by the CIPM, CC working groups and CC workshops*). Momentan gibt es 10 solcher Komitees:

1. das Beratende Komitee für Elektrizität und Magnetismus (CCEM) – seit 1997 neue Bezeichnung für das ehemalige Beratende Komitee für Elektrizität (CCE), das 1927 ins Leben gerufen worden war;
2. das Beratende Komitee für Photometrie und Radiometrie (CCPR) – seit 1971 neue Bezeichnung für das Beratende Komitee für Photometrie (CCP), das 1933 geschaffen worden war (zwischen 1930 und 1933 beschäftigte sich das CCE mit photometrischen Fragestellungen);
3. das Beratende Komitee für Thermometrie (CCT), 1937 gegründet;
4. das Beratende Komitee für Länge (CCL) – seit 1997 neue Bezeichnung für das ehemalige Beratende Komitee für die Definition des Meters (CCDM), das 1952 geschaffen worden war;
5. das Beratende Komitee für Zeit und Frequenz (CCTF) – seit 1997 neue Bezeichnung für das ehemalige Beratende Komitee für die Definition der Sekunde (CCDS), das 1956 geschaffen worden war;
6. das Beratende Komitee für Ionisierende Strahlung (CCRI) – seit 1997 neue Bezeichnung für das Beratende Komitee für Normale für Ionisierende Strahlung (CCEMRI), das 1958 geschaffen worden war. Dieses Komitee richtete 1969 vier Fachgruppen ein: Fachgruppe I (Röntgen- und γ -Strahlung, Elektronen), Fachgruppe II (Messung von Radionukliden), Fachgruppe III (Neutronenmessungen), Fachgruppe IV (Normale für α -Strahlung), wobei letztere 1975 aufgelöst wurde, nachdem deren Aufgabenbereich der Fachgruppe II zugewiesen wurde;
7. das Beratende Komitee für die Einheiten (CCU), errichtet 1964. Es ersetzte die Kommission für das Einheitensystem, die 1954 vom CIPM ins Leben gerufen worden war;
8. das Beratende Komitee für die Masse und verwandte Größen, 1980 errichtet;
9. das Beratende Komitee für die Stoffmenge: Metrologie in der Chemie und Biologie (CCQM), 1993 ins Leben gerufen;
10. das Beratende Komitee für Akustik, Ultraschall und Schwingungen (CCAUV), 1999 eingerichtet.

Das Protokoll der Sitzungen der Generalkonferenz und des CIPM werden vom BIPM in den folgenden Serien veröffentlicht:

- *Report of the meeting of the General Conference on Weights and Measures;*
- *Report of the meeting of the International Committee for Weights and Measures.*

2003 beschloss das CIPM, dass die Berichte der Sitzungen der Beratenden Komitees nicht mehr gedruckt werden, sondern nur noch auf der Website des BIPM in ihrer Originalsprache veröffentlicht werden.

Das BIPM veröffentlicht auch wissenschaftliche Abhandlungen zu besonderen metrologischen Themen sowie die vorliegende Broschüre unter der Bezeichnung *Le Système international d'unités / The International System of Units (SI)*, die regelmäßig aktualisiert wird und alle Beschlüsse enthält, die die Einheiten betreffen.

Die Sammlung der *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 Bände, die zwischen 1881 und 1966 veröffentlicht wurden) und das *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (11 Bände, die zwischen 1966 und 1988 veröffentlicht wurden) sind auf Beschluss des CIPM eingestellt worden.

Die wissenschaftlichen Arbeiten des BIPM werden in der frei zugänglichen Literatur veröffentlicht.

Seit 1965 druckt *Metrologia*, eine internationale Fachzeitschrift, die unter der Schirmherrschaft des CIPM herausgegeben wird, wissenschaftliche Artikel über die Metrologie, über die Verbesserung von Messmethoden und über die Arbeiten zu Normalen und Einheiten sowie Berichte über die Aktivitäten, Beschlüsse und Empfehlungen der unterschiedlichen Gremien, die im Rahmen der Meterkonvention eingerichtet wurden.

Vorwort zur 9. Auflage

B. Inglis, J. Ullrich, M. J. T. Milton

Das Internationale Einheitensystem (SI) wird weltweit als gemeinsame Sprache von Wissenschaft, Technologie, Industrie und Handel bevorzugt verwendet, seit es 1960 durch einen Beschluss der 11. Sitzung der *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM – Generalkonferenz für Maß und Gewicht) ins Leben gerufen wurde.

Diese Broschüre wird vom *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM – Internationales Büro für Maß und Gewicht) veröffentlicht, um das SI zu verbreiten und zu erläutern. Sie enthält die bedeutendsten Beschlüsse der CGPM und des *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM – Internationales Komitee für Maß und Gewicht) in Bezug auf das metrische System seit der ersten Sitzung der CGPM 1889.*

Das SI war schon immer ein praktisches, dynamisches System, das sich stets weiterentwickelt hat, um den neuesten wissenschaftlichen und technologischen Entwicklungen Rechnung zu tragen. Vor allem die bahnbrechenden Fortschritte der letzten 50 Jahre in den Bereichen Atomphysik und Quantenmetrologie haben es ermöglicht, die Definitionen der Sekunde und des Meters sowie die praktischen Realisierungen der elektrischen Einheiten auf atomare und Quantenphänomene zu stützen, sodass die einzige Einschränkung zur Genauigkeit, mit der die jeweiligen Einheiten realisiert werden können, lediglich unsere technische Leistungsfähigkeit ist, jedoch nicht die Definitionen selbst. Diese wissenschaftlichen Fortschritte und die Entwicklungen im Bereich der Messtechnik haben zu Änderungen am SI geführt, die alle in den vorangegangenen Ausgaben dieser Broschüre beschrieben worden sind.

Diese 9. Auflage der SI-Broschüre wurde erarbeitet, nachdem die 26. Sitzung der CGPM eine Reihe tiefgreifender Änderungen angenommen hatte. Die Sitzung führte einen neuen Ansatz zur Formulierung der Definitionen

der Einheiten im Allgemeinen und der sieben Basiseinheiten im Besonderen durch Festlegen der Zahlenwerte sieben „definierender“ Konstanten ein. Darunter sind fundamentale Naturkonstanten wie z. B. die Planck-Konstante und die Lichtgeschwindigkeit, sodass die Definitionen auf unserem aktuellen Verständnis der physikalischen Gesetze basieren und dieses Verständnis auch repräsentieren. Zum ersten Mal existiert ein kompletter Satz von Definitionen, der sich überhaupt nicht mehr auf Arbeitsnormale, Materialeigenschaften oder Messbeschreibungen bezieht. Diese Änderungen erlauben eine Darstellung aller Einheiten mit einer Genauigkeit, deren einzige Einschränkung in der Quantenstruktur der Natur und in unseren technischen Fähigkeiten, jedoch nicht in den Definitionen selbst liegt. Jegliche gültige physikalische Gleichung, die die definierenden Konstanten mit einer Einheit verbindet, kann zur Realisierung dieser Einheit verwendet werden. Dies schafft Raum für Innovationen und erlaubt eine allgemeingültige Realisierung mit wachsender Genauigkeit, gemäß dem technischen Fortschritt. Diese Revision des SI stellt daher einen grundlegenden Schritt historischen Ausmaßes dar.

Die Revision wurde von der CGPM im November 2018 angenommen, die Neudefinitionen sind am 20. Mai 2019 in Kraft getreten – am Weltmetrologietag, mit dem jährlich am 20. Mai die Unterzeichnung der Meterkonvention im Jahr 1875 gewürdigt wird. Da die zukünftigen Auswirkungen der Änderungen weitreichend sind, wurde großer Wert darauf gelegt, dass die Definitionen konsistent sind mit jenen, die zum Zeitpunkt des Wechsels galten.

Wir möchten darauf hinweisen, dass das Internationale Einheitensystem in seiner abgekürzten Form seit dessen Einführung im Jahre 1960 schon immer als „das SI“ bezeichnet wurde. Dieses Prinzip wurde in den acht

* Dies gilt nur für das französische und das englische Original der SI-Broschüre. Diese deutsche Ausgabe enthält diese Beschlüsse nicht, sondern verlinkt auf die englischen Fassungen (s. [S.5](#)).

vorangegangenen Ausgaben dieser Broschüre aufrechterhalten und im 1. Beschluss, der bei der 26. Sitzung der CGPM angenommen wurde, erneut bekräftigt. Dieser bestätigte ebenfalls, dass der Titel dieser Broschüre einfach „Das Internationale Einheitensystem“ lauten soll. Diese gleichbleibende Bezeichnung des SI verdeutlicht den Willen der CGPM und des CIPM, die Kontinuität von in SI-Einheiten ausgedrückten Messwerten nach jeder Änderung zu garantieren.

Das Ziel dieser Broschüre ist es, eine ausführliche Beschreibung des SI sowie geschichtliche Hintergrundinformationen zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus verfügt diese Broschüre über vier Anhänge:

- Anhang 1 liegt nur als PDF vor (www.bipm.org). Dieser listet in chronologischer Reihenfolge alle Entscheidungen (Beschlüsse, Empfehlungen, Erklärungen) auf, die seit 1889 von der Generalkonferenz und dem Internationalen Komitee in Bezug auf die Maßeinheiten und das Internationale Einheitensystem erlassen worden sind.

- Anhang 2 liegt nur als PDF vor (www.bipm.org). Für jeden messtechnischen Bereich gibt er eine Übersicht über die praktische Darstellung der sieben Basiseinheiten und anderer wichtiger Einheiten. Dieser Anhang wird regelmäßig aktualisiert, um den Verbesserungen der zur Darstellung der Einheiten verwendeten experimentellen Techniken Rechnung zu tragen.

- Anhang 3 liegt nur als PDF vor (www.bipm.org). Darin werden die Einheiten beschrieben, die zur Messung photochemischer und photobiologischer Größen notwendig sind.

- Anhang 4 liegt nur als PDF vor (www.bipm.org). Es ist ein Bericht über die geschichtliche Entwicklung des SI.

Abschließend möchten wir uns bei den Mitgliedern des Beratenden Komitees für die Einheiten des CIPM (CCU) bedanken, die für den Entwurf des vorliegenden Dokuments verantwortlich waren. Sowohl das CCU als auch das CIPM haben der Endfassung des Textes zugestimmt.

Alle Anhänge liegen als pdf-Dokumente in englischer und französischer Sprache vor. Links und QR-Codes zu den Anhängen in englischer Sprache finden Sie auf [Seite 5](#).



B. Inglis
Präsident des CIPM
von 2011 bis 2019,
Ehrenmitglied des CIPM



J. Ullrich
Präsident des CCU



M. J. T. Milton
Direktor des BIPM

Anmerkungen zum Text

Die 22. Sitzung der CGPM beschloss im Jahre 2003, einer Entscheidung des Internationalen Komitees aus dem Jahr 1997 folgend: „Das Symbol für das Dezimalzeichen soll entweder der Punkt auf der Linie oder das Komma auf der Linie sein.“ Dieser Entscheidung folgend und entsprechend dem Gebrauch in den jeweiligen zwei Sprachen wird in der französischen Fassung das Komma auf der Zeile als dezimales Trennzeichen benutzt, während die englische Fassung den Punkt auf der Zeile als Trennzeichen enthält. Diese Praxis hat keinerlei Einfluss auf die Übersetzung des dezimalen Trennzeichens in andere Sprachen. Es gibt kleine Unterschiede in der Rechtschreibung mancher Wörter in der englischen Fassung für die verschiedenen englischsprachigen Länder (z. B. „metre“ und „meter“, „litre“ und „liter“). In diesem Zusammenhang folgt der veröffentlichte englische Text den Regeln der ISO-Norm 80000, *Quantities and Units*

(Größen und Einheiten). Die in der vorliegenden Broschüre verwendeten Symbole für die SI-Einheiten sind jedoch in allen Sprachen gleich.

Wir weisen darauf hin, dass der offizielle Wortlaut der Sitzungen der CGPM und der CIPM-Sitzungen der des französischen Textes ist. Diese Broschüre stellt eine Übersetzung des Textes ins Deutsche dar. Wenn jedoch ein Originalzitat benötigt wird oder es Zweifel bezüglich der Auslegung des Textes gibt, gilt der französische Wortlaut.

Version 2.01 der 9. Ausgabe wurde im Jahr 2022 veröffentlicht. Diese Version enthält die neuen SI-Vorsätze, die von der CGPM auf ihrer 27. Sitzung im November 2022 verabschiedet wurden. Version 3.01 der 9. Ausgabe wurde im Jahr 2024 veröffentlicht. Diese aktualisierte Version enthält verbesserte Beschreibungen des Winkels und von Größen der Einheit Eins, wie sie vom CCU vorgeschlagen und vom CIPM genehmigt wurden.

In der deutschen Fassung wird (wie in Deutschland üblich) das Komma als dezimales Trennzeichen benutzt.

1. Einführung

1.1 Das SI und die definierenden Konstanten

Diese Broschüre liefert Informationen zur Definition und Anwendung des Internationalen Einheitensystems, das weltweit als SI (aus dem Französischen: *Système international d'unités*) bekannt ist und für das die Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) verantwortlich ist. 1960 definierte und führte die 11. CGPM formell das SI ein, das später nach Bedarf überarbeitet wurde, um den Anforderungen der Anwender und dem wissenschaftlichen und technologischen Fortschritt Rechnung zu tragen. Die letzte und vielleicht wichtigste Änderung des SI seit seiner Einführung wurde 2018 durch die 26. CGPM erarbeitet; diese Änderung ist in der vorliegenden 9. Ausgabe der SI-Broschüre dokumentiert. Die Meterkonvention und deren Gremien (die CGPM, das CIPM, das BIPM und die verschiedenen Beratenden Komitees) sind im Abschnitt „Das BIPM und die Meterkonvention“ auf Seite 7 beschrieben.

Das SI stellt ein konsistentes Einheitensystem dar, das in allen Lebensbereichen von Nutzen ist – auch im internationalen Handel, in der Produktion, in der Sicherheit, im Arbeitsschutz, im Umweltschutz und in der Grundlagenforschung, die die Basis aller Wissenschaften ist. Das Größensystem, das dem SI zugrunde liegt, und die Gleichungen, die die Verbindung zwischen diesen Größen herstellen, stützen sich auf die aktuell gültige Beschreibung der Natur und sind in der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Welt bekannt.

Die Definition der SI-Einheiten basiert auf einem Satz von sieben definierenden Konstanten. Das gesamte Einheitensystem kann von den festgelegten Werten dieser definierenden Konstanten hergeleitet werden, die in SI-Einheiten ausgedrückt sind. Diese sieben definierenden

Konstanten sind die fundamentale Basis der Definition des gesamten Einheitensystems. Diese besonderen Konstanten wurden ausgewählt, weil sie sich unter Berücksichtigung des Fortschritts in der Wissenschaft und der vorangegangenen Definition des auf sieben Basiseinheiten beruhenden SI als die beste Wahl herausgestellt haben.

Zur Realisierung der Einheiten darf eine Vielzahl von experimentellen Methoden verwendet werden. Diese werden von den Beratenden Komitees des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht (CIPM) beschrieben. Die Beschreibungen dieser Darstellungen werden auch als *mises en pratique* bezeichnet. Die Darstellungen können geändert werden, sobald neue Experimente entwickelt werden. Daher enthält diese Broschüre keine Empfehlungen dazu; sie sind aber auf der Website des BIPM verfügbar.

1.2 Beweggründe für die Verwendung definierender Konstanten zur Definition des SI

Seit Beginn des SI werden alle SI-Einheiten als Funktion von Basiseinheiten dargestellt. In den letzten Jahrzehnten waren es sieben *Basiseinheiten*. Alle anderen Einheiten heißen *abgeleitete Einheiten* und werden als Potenzprodukte der Basiseinheiten gebildet.

Für die Basiseinheiten wurden verschiedene Arten von Definitionen verwendet: spezifische Eigenschaften von Artefakten, wie des internationalen Kilogrammprototyps (IPK) für die Einheit der Masse; ein spezifischer physikalischer Zustand, wie der Tripelpunkt von Wasser für die Einheit Kelvin; idealisierte experimentelle Vorschriften, wie beim Ampere und der Candela; oder Naturkonstanten, wie die Lichtgeschwindigkeit bei der Definition der Einheit Meter.

Um von praktischem Nutzen zu sein, müssen

diese Einheiten nicht nur definiert, sondern auch für die Weitergabe physikalisch realisiert werden. Bei einem Artefakt entspricht die Definition bereits der Realisierung – ein Weg, den schon frühe Hochkulturen beschritten haben. Das ist zwar einfach und anschaulich, geht aber mit dem Risiko eines Verlusts, einer Beschädigung oder einer Veränderung des Artefakts einher. Die anderen drei Typen von Definitionen sind zunehmend abstrakt beziehungsweise idealisiert. Bei ihnen sind Definition und Realisierung konzeptionell getrennt, sodass grundsätzlich an jedem Ort und zu jeder Zeit unabhängige Realisierungen der Einheiten möglich sind. Zudem können aufgrund des Fortschritts von Wissenschaft und Technik neue und bessere Realisierungen entwickelt werden, ohne dafür die Einheit neu definieren zu müssen. Diese Vorteile, am deutlichsten zu sehen bei der Geschichte der Meterdefinition (von einem Artefakt über einen atomaren Referenzübergang bis hin zum festgelegten Zahlenwert der Lichtgeschwindigkeit), haben zu dem Entschluss geführt, alle Einheiten anhand definierender Konstanten zu definieren.

Die Auswahl der Basiseinheiten war nicht in Stein gemeißelt, sondern hat sich im Laufe der Zeit geändert und ist den Anwendern des SI vertraut geworden. Die Beschreibung des SI über Basis- und abgeleitete Einheiten bleibt in der vorliegenden Broschüre erhalten, ist aber infolge der Einführung definierender Konstanten umformuliert worden.

1.3 Umsetzung des SI

Die Definitionen der SI-Einheiten stellen, wie von der CGPM beschlossen, das höchste Referenzniveau für die Rückführung von Messungen auf das SI dar.

Metrologieinstitute in der ganzen Welt entwickeln praktische Realisierungen der Definitionen, um die Rückführbarkeit von Messungen auf das SI zu ermöglichen. Die Beratenden Komitees setzten den Rahmen für den Aufbau äquivalenter Realisierungen, damit die Rückführung in der ganzen Welt harmonisiert werden kann.

Normungsgremien können weitere Einzelheiten für Größen und Einheiten sowie Regeln für deren Anwendung festlegen, wenn interessierte Kreise dies benötigen. Sofern SI-Einheiten in den Normen erwähnt werden, müssen sich diese Normen auf die Definitionen beziehen, die die CGPM beschlossen hat. Viele solcher Anforderungen sind beispielsweise in den Normen der Organisation für Normung (*International Organization for Standardization* – ISO) und der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (*International Electrotechnical Commission* – IEC) (internationale Normenreihe ISO/IEC 80000) aufgeführt.

Staaten schreiben in nationalen Gesetzen Regeln zur Verwendung der Einheiten vor, sei es für den allgemeinen Gebrauch oder nur für bestimmte Bereiche, wie den Handel, das Gesundheitswesen, die öffentliche Sicherheit und die Ausbildung. In den meisten Ländern beruhen diese Gesetze auf dem Internationalen Einheitensystem. Die Internationale Organisation für gesetzliches Messwesen (OIML) hat die Aufgabe, die technischen Spezifikationen dieser Gesetze international zu harmonisieren.

2. Das Internationale Einheitensystem

2.1 Definition der Einheit einer Größe

Der Wert einer Größe wird generell als Produkt von Zahlenwert und Einheit ausgedrückt. Die Einheit ist dabei nur ein spezielles Beispiel der betreffenden Größe und wird als Bezugswert genutzt. Der Zahlenwert ist das Verhältnis zwischen dem Wert der betreffenden Größe und der Einheit.

Für eine bestimmte Größe kann man verschiedene Einheiten verwenden. Zum Beispiel kann die Geschwindigkeit v eines Teilchens als $v = 25 \text{ m/s}$ oder als $v = 90 \text{ km/h}$ ausgedrückt werden, wobei die Einheiten Meter pro Sekunde und Kilometer pro Stunde alternative Einheiten sind, die denselben Wert der Größe „Geschwindigkeit“ ausdrücken.

Bevor das Ergebnis einer Messung angegeben wird, muss die betreffende Größe unbedingt hinreichend beschrieben werden. Dies kann einfach sein (wie bei der Länge eines bestimmten Stahlstabs) oder aber auch komplexer (wenn höhere Genauigkeit gefordert ist und weitere Parameter, wie z. B. die Temperatur, angegeben werden müssen).

Zur Angabe des Messergebnisses einer Größe gehören der **Schätzwert** des Messwertes (der zu messenden Größe) sowie die zugehörige **Unsicherheit** dieses Wertes. Beide werden in derselben Einheit ausgedrückt.

Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum z. B. ist eine mit c bezeichnete Naturkonstante, deren Wert in SI-Einheiten durch das Verhältnis $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ angegeben wird, wobei der Zahlenwert 299 792 458 und die Einheit m/s ist.

2.2 Definition des SI

Wie für jede Größe kann der Wert einer Fundamentalkonstante als Produkt von Zahlenwert und Einheit ausgedrückt werden.

Die untenstehenden Definitionen legen den genauen Zahlenwert jeder Konstante fest, wenn deren Wert in der entsprechenden SI-Einheit ausgedrückt ist. Durch Festlegen des genauen Zahlenwertes wird die Einheit definiert, da das Produkt aus **Zahlenwert** und **Einheit** gleich dem **Wert** der Konstante sein muss, der wiederum unveränderlich sein soll.

Die sieben Konstanten sind so gewählt, dass jede SI-Einheit entweder durch eine definierende Konstante selbst oder durch Produkte oder Quotienten von definierenden Konstanten ausgedrückt werden kann.

Quotienten von SI-Einheiten können entweder anhand eines Schrägstrichs (/) oder eines negativen Exponenten ($^{-1}$) ausgedrückt werden.

Zum Beispiel:
 $\text{m/s} = \text{m s}^{-1}$
 $\text{mol/mol} = \text{mol mol}^{-1}$

Das SI ist das Einheitensystem, in dem die definierenden Konstanten folgende Werte besitzen:

- Der ungestörte Hyperfeinstrukturübergang des Grundzustands des Cäsium-133-Atoms, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, beträgt 9 192 631 770 Hz.
- Die Geschwindigkeit von Licht im Vakuum, c , beträgt 299 792 458 m/s.
- Die Planck-Konstante, h , beträgt $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$.
- Die Elementarladung, e , beträgt $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- Die Boltzmann-Konstante, k , beträgt $1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.
- Die Avogadro-Konstante, N_{A} , beträgt $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
- Das Photometrische Strahlungsäquivalent einer monochromatischen Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$, K_{cd} , ist genau gleich 683 lm/W.

Dabei beziehen sich das Hertz, das Joule, das Coulomb, das Lumen und das Watt (mit den jeweiligen Einheitenzeichen Hz, J, C, lm und W) auf die Einheiten Sekunde, Meter, Kilogramm, Ampere, Kelvin, Mol und Candela (mit den jeweiligen Einheitenzeichen s, m, kg, A, K, mol und cd) wie folgt: $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$, $\text{C} = \text{A s}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ und $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$.
Die Zahlenwerte der sieben definierenden Konstanten besitzen keine Unsicherheit.

Tabelle 1:
Die sieben definierenden Konstanten des SI und die sieben entsprechenden Einheiten, die sie definieren

Definierende Konstante	Einheitenzeichen	Zahlenwert	Einheit
Hyperfeinstrukturübergangsfrequenz Cs	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9 192 631 770	Hz
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	299 792 458	m s^{-1}
Planck-Konstante	h	$6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$	J s
Elementarladung	e	$1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$	C
Boltzmann-Konstante	k	$1,380\,649 \cdot 10^{-23}$	J K^{-1}
Avogadro-Konstante	N_{A}	$6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Photometrisches Strahlungsäquivalent	K_{cd}	683	lm W^{-1}

Bei jeder Änderung am Internationalen Einheitensystem wurde immer so gut wie möglich auf Kontinuität geachtet. Die Zahlenwerte der definierenden Konstanten sind so gewählt worden, dass sie mit den früheren Definitionen konsistent sind, soweit dies der Fortschritt der Wissenschaft erlaubt.

2.2.1 Die Natur der sieben definierenden Konstanten

Die Natur der definierenden Konstanten erstreckt sich von Fundamentalkonstanten der Natur bis hin zu technischen Konstanten.

Die Verwendung einer Konstante zur Definition einer Einheit entkoppelt die Definition von der Realisierung. Dies ermöglicht die Entwicklung ganz anderer oder neuer und besserer praktischer Realisierungen, die dem technischen Fortschritt Rechnung tragen, ohne dafür die Definition ändern zu müssen.

Eine technische Konstante wie K_{cd} , das photometrische Strahlungsäquivalent einer monochromatischen Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz, bezieht sich auf eine spezielle Anwendung. Sie kann im Prinzip frei gewählt werden, um beispielsweise konventionelle physiologische oder andere Gewichtungsfaktoren zu berücksichtigen. Im Gegensatz dazu erlaubt die Verwendung einer Fundamentalkonstante im Allgemeinen keine solche Wahl, da sie sich über physikalische Gleichungen auf andere Konstanten bezieht.

Der Satz von sieben definierenden Konstanten wurde so gewählt, dass er eine grundlegende, stabile und universell gültige Referenz bietet, die gleichzeitig praktische Realisierungen mit geringsten Unsicherheiten ermöglicht. Die technischen Vereinbarungen und Vorschriften berücksichtigen auch historische Entwicklungen.

Sowohl die Planck-Konstante h als auch die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum c gelten zu Recht als Fundamentalkonstanten. Sie bestimmen Quanteneffekte bzw. Raum-Zeit-Eigenschaften und wirken sich auf alle Partikel und Felder auf allen Skalen und in allen Umgebungen gleichermaßen aus.

Die Elementarladung e entspricht einer Kopplungsstärke der elektromagnetischen Kraft über die Feinstrukturkonstante $\alpha = e^2/(2c\epsilon_0 h)$, wobei ϵ_0 die Dielektrizitätskonstante des Vakuums oder elektrische Konstante ist. Manche Theorien sagen eine zeitliche Variation von α voraus. Die experimentellen Grenzen der größten möglichen Variation von α sind jedoch so niedrig, dass man davon ausgehen kann, dass dies keinerlei Auswirkungen auf absehbare praktische Messungen haben wird.

Die Boltzmann-Konstante k ist eine Proportionalitätskonstante zwischen den Größen Temperatur (mit der Einheit Kelvin) und Energie (mit der Einheit Joule), wobei sich der Zahlenwert aus historischen Festlegungen der Temperaturskala ergibt. Die Temperatur eines Systems skaliert mit der thermischen Energie, jedoch nicht zwangsläufig mit der Temperierung eines Systems. In der statistischen Physik verknüpft die Boltzmann-Konstante die Entropie S mit der Anzahl Ω an quantenmechanisch zugänglichen Zuständen: $S = k \ln \Omega$.

Die Cäsiumfrequenz $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ – der ungestörte Hyperfeinstrukturübergang des Grundzustands des Cäsium-133-Atoms – hat den Charakter eines atomaren Parameters, der von der Umgebung beeinflusst werden kann (z. B. durch elektromagnetische Felder). Der zugrundeliegende Übergang jedoch ist gut verstanden, stabil und unter praktischen Gesichtspunkten eine gute Wahl als Referenzübergang. Die Wahl eines atomaren Parameters wie $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ entkoppelt nicht die Definition von der Realisierung, wie dies der Fall bei h , c , e , oder k ist, sondern sie präzisiert die Referenz.

Die Avogadro-Konstante N_{A} ist eine Proportionalitätskonstante zwischen der Größe Stoffmenge (mit der Einheit Mol) und der Zählgröße (mit der Einheit Eins, Symbol 1). Somit hat sie, ähnlich der Boltzmann-Konstante k , den Charakter einer Proportionalitätskonstante.

Das photometrische Strahlungsäquivalent einer monochromatischen Strahlung von $540 \cdot 10^{12}$ Hz, K_{cd} , ist eine technische Konstante, die eine exakte numerische Beziehung zwischen den rein physikalischen Eigenschaften eines Strahlungsflusses (W), der das menschliche Auge stimuliert, und dessen photobiologischer Antwort darauf wiedergibt und als der Lichtstrom (lm) gemäß der spektralen Antwort eines Standardbeobachters bei einer Frequenz von $540 \cdot 10^{12}$ Hertz definiert ist.

2.3 Definitionen der SI-Einheiten

Vor der Verabschiedung der Revision im Jahre 2018 war das SI durch sieben *Basiseinheiten* definiert, anhand derer die *abgeleiteten Einheiten* als Produkte von Potenzen der *Basiseinheiten* gebildet wurden. Die neue Definition des SI auf Basis der numerischen Werte von sieben definierenden Konstanten macht diese Unterscheidung eigentlich überflüssig, da alle Einheiten – sowohl die *Basiseinheiten* als auch die *abgeleiteten Einheiten* – unmittelbar anhand der definierenden Konstanten gebildet werden können. Das Konzept von Basiseinheiten und abgeleiteten Einheiten wird jedoch beibehalten, weil es nützlich ist und sich historisch durchgesetzt hat; im Übrigen spezifiziert die Normenserie ISO/IE 80000 die Basiseinheiten und die abgeleiteten Einheiten, die notwendigerweise den in dieser Veröffentlichung definierten SI-Basiseinheiten und den abgeleiteten SI-Einheiten entsprechen.

2.3.1 Basiseinheiten

Basisgröße		Basiseinheit	
Name	Typisches Zeichen	Name	Zeichen
Zeit	t	Sekunde	s
Länge	l, x, r etc.	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
elektrische Stromstärke	I, i	Ampere	A
thermodynamische Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_{v}	Candela	cd

Tabelle 2:
SI-Basiseinheiten

Die Symbole für Größen sind üblicherweise einzelne Buchstaben des lateinischen oder griechischen Alphabets und werden kursiv gesetzt (Empfehlung). Die Symbole für Einheiten sind nicht kursiv gesetzt (Vorschrift) (siehe Kapitel 5)

Die Basiseinheiten des SI sind in Tabelle 2 aufgeführt. Ausgehend von der Definition des SI auf der Grundlage der festgelegten Zahlenwerte der definierenden Konstanten werden die Definitionen jeder der sieben Basiseinheiten durch Verwendung einer (oder nach Bedarf mehrerer) dieser definierenden Konstanten hergeleitet:

Die Sekunde

Die Sekunde, Einheitenzeichen s, ist die SI-Einheit der Zeit. Sie ist definiert, indem für die Cäsiumfrequenz, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, die Frequenz des ungestörten Hyperfeinstrukturübergangs des Grundzustands des Cäsium-133-Atoms, der Zahlenwert 9 192 631 770 festgelegt wird, ausgedrückt in der Einheit Hz, die gleich s^{-1} ist.

Diese Definition impliziert die exakte Beziehung $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$. Das Umkehren dieses Verhältnisses ergibt einen genauen Ausdruck für die Einheit Sekunde in Bezug auf die definierende Konstante $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1\text{ Hz} = \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}}}{9\,192\,631\,770} \quad \text{oder} \quad 1\text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}.$$

Diese Definition hat zur Folge, dass die Sekunde gleich dem 9 192 631 770-fachen der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des ungestörten Grundzustandes des Atoms des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung ist.

Die Referenz auf ein ungestörtes Atom soll verdeutlichen, dass die Definition der SI-Sekunde sich auf ein isoliertes Cäsium-Atom ohne jegliche Störung durch ein äußeres Feld (wie z. B. Schwarzkörperstrahlung) bezieht.

So definiert ist die Sekunde die Einheit für die wahre Zeit im Sinne der allgemeinen Relativitätstheorie. Um eine koordinierte Zeitskala zur Verfügung stellen zu können, werden die Signale verschiedener Primärurhnen an unterschiedlichen Orten kombiniert. Diese werden dann auf die relativistischen Frequenzschwankungen von Cäsium korrigiert (s. Punkt 2.3.6).

Das CIPM hat diverse sekundäre Darstellungen der Sekunde auf der Basis einer Serie von Spektrallinien von Atomen, Ionen oder Molekülen zugelassen. Die ungestörten Frequenzen dieser Linien können mit einer Unsicherheit ermittelt werden, die nicht kleiner ist als die der Darstellung der Sekunde mittels der Frequenz des Hyperfeinstrukturübergangs von ^{133}Cs , aber einige können mit besserer Stabilität reproduziert werden.

Der Meter

Der Meter, Einheitenzeichen m, ist die SI-Einheit der Länge. Er ist definiert, indem für die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, c , der Zahlenwert 299 792 458 festgelegt wird, ausgedrückt in der Einheit m s^{-1} , wobei die Sekunde mittels $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ definiert ist.

Diese Definition impliziert die exakte Beziehung $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$. Das Umkehren dieses Verhältnisses ergibt einen genauen Ausdruck für den Meter in Bezug auf die definierenden Konstanten c und $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1\text{ m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458} \right) \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \approx 30,663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

Diese Definition bewirkt, dass ein Meter der Länge der Strecke entspricht, die Licht im Vakuum während der Dauer von 1/299 792 458 Sekunden durchläuft.

Das Kilogramm

Das Kilogramm, Einheitenzeichen kg, ist die SI-Einheit der Masse. Es ist definiert, indem für die Planck-Konstante, h , der Zahlenwert $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ festgelegt wird, ausgedrückt in der Einheit J s, die gleich $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ ist, wobei der Meter und die Sekunde mittels c und $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ definiert sind.

Diese Definition impliziert die exakte Beziehung $h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\text{ kg m}^2 \text{s}^{-1}$. Das Umkehren dieses Verhältnisses ergibt einen genauen Ausdruck für das Kilogramm in Bezug auf die drei definierenden Konstanten h , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ und c :

$$1\text{ kg} = \left(\frac{h}{6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}} \right) \text{ m}^{-2} \text{ s}$$

welches gleich

$$1\text{ kg} = \frac{(299\,792\,458)^2}{(6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \approx 1,475\,5214 \cdot 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}$$

ist.

Durch diese Definition wird auch die Einheit $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ (die Einheit zweier physikalischer Größen, nämlich Wirkung und Drehimpuls) definiert. Zusammen mit den Definitionen der Sekunde und des Meters ergibt sich eine Definition der Einheit der Masse, ausgedrückt in Bezug auf den Wert der Planck-Konstante h .

Die frühere Definition des Kilogramms bestimmte den Wert der Masse des internationalen Kilogrammprototypen, $m(K)$, als genau ein Kilogramm und der Wert der Planck-Konstante h musste experimentell bestimmt werden. Die aktuelle Definition legt den Zahlenwert von h genau fest und nun muss die Masse des Prototypen experimentell bestimmt werden.

Die Zahl, die in dieser Definition für den Zahlenwert der Planck-Konstante gewählt wurde, ist so, dass zu dem Zeitpunkt ihrer Verabschiedung das Kilogramm gleich der Masse des internationalen Prototyps, $m(K) = 1 \text{ kg}$, war, mit einer relativen Standardunsicherheit von $1 \cdot 10^{-8}$, welches der Standardunsicherheit der kombinierten besten Schätzwerte für die Planck-Konstante zu diesem Zeitpunkt entsprach.

Beachtenswert ist es, dass diese Definition es erlaubt, Primärdarstellungen praktisch an jeder beliebigen Stelle der Masseskala zu realisieren.

Das Ampere

Das Ampere, Einheitenzeichen A, ist die SI-Einheit der elektrischen Stromstärke. Es ist definiert, indem für die Elementarladung, e , der Zahlenwert $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ festgelegt wird, ausgedrückt in der Einheit C, die gleich A s ist, wobei die Sekunde mittels $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ definiert ist.

Diese Definition impliziert die exakte Beziehung $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ A s}$. Das Umkehren dieses Verhältnisses ergibt einen genauen Ausdruck für die Einheit Ampere in Bezug auf die definierenden Konstanten e und $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1 \text{ A} = \left(\frac{e}{1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}} \right) \text{ s}^{-1}$$

welches gleich

$$1 \text{ A} = \frac{1}{(9\,192\,631\,770)(1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19})} \Delta\nu_{\text{Cs}} e \approx 6,789\,6868 \cdot 10^8 \Delta\nu_{\text{Cs}} e$$

ist.

Diese Definition bewirkt, dass ein Ampere der elektrische Strom ist, der einem Fluss von $1/(1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19})$ Elementarladungen pro Sekunde entspricht.

Die frühere Definition des Amperes basierte auf der Kraft zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern und legte den Wert der Vakuumpermeabilität μ_0 (auch als magnetische Konstante bekannt) als genau $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H m}^{-1} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$ fest, wobei H und N die kohärenten abgeleiteten Einheiten Henry und Newton darstellen. Die neue Definition des Amperes legt den Wert von e statt des Wertes von μ_0 fest. Daher muss μ_0 experimentell bestimmt werden.

Da jedoch die Dielektrizitätskonstante ϵ_0 (auch als elektrische Konstante bekannt), die charakteristische Impedanz des Vakuums Z_0 und die Admittanz des Vakuums Y_0 gleich $1/\mu_0 c^2$, $\mu_0 c$ bzw. $1/\mu_0 c$ sind, ergibt sich, dass die Werte von ϵ_0 , Z_0 und Y_0 nun auch experimentell bestimmt werden müssen und dass sie mit derselben relativen Standardunsicherheit wie μ_0 behaftet sind, da c genau bekannt ist. Das Produkt $\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$ und der Quotient $Z_0/\mu_0 = c$ bleiben exakt. Zum Zeitpunkt der Verabschiedung der aktuellen Definition des Amperes war μ_0 gleich $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ bei einer relativen Standardunsicherheit von $2,3 \cdot 10^{-10}$.

Das Kelvin

Das Kelvin, Einheitenzeichen K, ist die SI-Einheit der thermodynamischen Temperatur. Es ist definiert, indem für die Boltzmann-Konstante, k , der Zahlenwert $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ festgelegt wird, ausgedrückt in der Einheit J K^{-1} , die gleich $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$ ist, wobei das Kilogramm, der Meter und die Sekunde mittels h , c und $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ definiert sind.

Diese Definition impliziert die exakte Beziehung $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$. Das Umkehren dieses Verhältnisses ergibt einen genauen Ausdruck für das Kelvin in Bezug auf die definierenden Konstanten k , h und $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1 \text{ K} = \left(\frac{1,380\,649 \cdot 10^{-23}}{k} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

welches gleich

$$1 \text{ K} = \frac{1,380\,649 \cdot 10^{-23}}{(6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}) (9\,192\,631\,770)} \frac{\Delta \nu_{\text{Cs}} h}{k} \approx 2,266\,6653 \frac{\Delta \nu_{\text{Cs}} h}{k}$$

ist.

Diese Definition bewirkt, dass ein Kelvin gleich der Veränderung der thermodynamischen Temperatur ist, die sich bei einer Veränderung der thermischen Energie kT um $1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ J}$ ergibt.

Die frühere Definition des Kelvins legte die Temperatur des Tripelpunktes von Wasser, T_{TPW} als genau $273,16 \text{ K}$ fest. Da die jetzige Definition des Kelvins den Zahlenwert von k festlegt anstatt von T_{TPW} , muss der Tripelpunkt von Wasser nun experimentell bestimmt werden. Zum Zeitpunkt der Verabschiedung der aktuellen Definition war T_{TPW} gleich $273,16 \text{ K}$ bei einer relativen Standardunsicherheit von $3,7 \cdot 10^{-7}$, basierend auf Messungen von k , die vor der Neudefinition durchgeführt wurden.

Aufgrund der Art und Weise, wie Temperaturskalen früher definiert wurden, bleibt es allgemeine Praxis, die thermodynamische Temperatur, Zeichen T , in Bezug auf ihre Differenz zur Bezugstemperatur $T_0 = 273,15 \text{ K}$, nah dem Gefrierpunkt von Wasser, auszudrücken. Diese Temperaturdifferenz wird Celsius-Temperatur, Zeichen t , genannt und wird durch folgende Größengleichung definiert:

$$t = T - T_0.$$

Die Einheit der Celsius-Temperatur ist das Grad Celsius, Zeichen $^{\circ}\text{C}$, per definitionem von der Größe her gleich der Einheit Kelvin. Eine Temperaturdifferenz oder ein Temperaturintervall kann sowohl in Kelvin als auch in Grad Celsius ausgedrückt werden, da der Zahlenwert der Temperaturdifferenz in beiden Fällen derselbe ist. Der in Grad Celsius ausgedrückte Zahlenwert der Celsius-Temperatur hängt mit dem Zahlenwert der in Kelvin ausgedrückten thermodynamischen Temperatur wie folgt zusammen:

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

(s. 5.4.1 zur Erläuterung der hier verwendeten Schreibweise).

Das Kelvin und das Grad Celsius sind auch die Einheiten der Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90), die 1989 vom CIPM in dessen Empfehlung 5 (CI-1989; PV, 57, 115) angenommen wurde. Es muss hervorgehoben werden, dass die ITS-90 zwei Größen (T_{90} und t_{90}) definiert, die gute Näherungen an die entsprechenden thermodynamischen Temperaturen T und t sind.

Zu beachten ist, dass diese Definition es erlaubt, Primärdarstellungen des Kelvins praktisch an jeder beliebigen Stelle der Temperaturskala zu realisieren.

Das Mol

Das Mol, Einheitenzeichen mol, ist die SI-Einheit der Stoffmenge. Ein Mol enthält genau $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ Einzelteilchen. Diese Zahl entspricht dem für die Avogadro-Konstante N_A geltenden festen Zahlenwert, ausgedrückt in der Einheit mol^{-1} , und wird als Avogadro-Zahl bezeichnet.

Die Stoffmenge, Zeichen n , eines Systems ist ein Maß für eine Zahl spezifizierter Einzelteilchen. Bei einem Einzelteilchen kann es sich um ein Atom, ein Molekül, ein Ion, ein Elektron, ein anderes Teilchen oder eine Gruppe solcher Teilchen mit genau angegebener Zusammensetzung handeln.

Diese Definition impliziert die exakte Beziehung $N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Das Umkehren dieses Verhältnisses ergibt einen genauen Ausdruck des Mols in Bezug auf den Wert der definierenden Konstante N_A :

$$1 \text{ mol} = \left(\frac{6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}}{N_A} \right).$$

Diese Definition bewirkt, dass das Mol der Stoffmenge eines Systems entspricht, das $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ der genannten Elementarteilchen enthält.

Die frühere Definition des Mols legte den Wert der Molarmasse von Kohlenstoff-12, $M(^{12}\text{C})$, als genau 0,012 kg/mol fest. Entsprechend der aktuellen Definition ist $M(^{12}\text{C})$ nicht mehr genau bekannt und muss daher experimentell bestimmt werden. Der Wert für N_A ist so gewählt worden, dass zum Zeitpunkt der Verabschiedung der aktuellen Definition des Mols $M(^{12}\text{C})$ gleich 0,012 kg/mol bei einer relativen Standardunsicherheit von $4,5 \cdot 10^{-10}$ war.

Die Molarmasse eines jeden Atoms oder Moleküls X kann nach wie vor aus dessen relativer atomarer Masse anhand der Gleichung

$$M(X) = A_r(X) [M(^{12}\text{C})/12] = A_r(X) M_u$$

berechnet werden und die Molarmasse eines jeden Atoms oder Moleküls X hängt auch mit der Masse des Einzelteilchens $m(X)$ durch das Verhältnis

$$M(X) = N_A m(X) = N_A A_r(X) m_u$$

zusammen.

In diesen Gleichungen ist M_u die Molare Massenkonzstante, gleich $M(^{12}\text{C})/12$, und m_u die atomare Massenkonzstante, gleich $m(^{12}\text{C})/12$. Sie hängen mit der Avogadro-Konstante durch das Verhältnis

$$M_u = N_A m_u$$

zusammen.

Im Wort „Stoffmenge“ könnte der Begriff „Stoff“ einfach durch andere, den betreffenden Stoff beschreibende Wörter ersetzt werden. So könnte man beispielsweise von „Wasserstoffchlorid-Menge“ oder von „Benzolmenge“ sprechen. Wichtig ist, das betreffende Teilchen genau zu definieren (wie in der Definition des Mols betont); am besten ist es, die chemische Summenformel des betreffenden Materials anzugeben.

Obwohl das Wort „Menge“ im Wörterbuch viel allgemeiner definiert ist, kann diese Abkürzung des vollständigen Ausdrucks „Stoffmenge“ der Kürze halber gebraucht werden. Dies gilt auch für abgeleitete Größen wie die „Stoffmengenkonzentration“, die man auch einfach „Mengenkonzentration“ nennen kann. Im Bereich der klinischen Chemie wird der Begriff „Stoffmengenkonzentration“ generell mit „Stoffkonzentration“ abgekürzt.

Die Candela

Die Candela, Einheitenzeichen cd, ist die SI-Einheit der Lichtstärke in einer bestimmten Richtung. Sie ist definiert, indem für das photometrische Strahlungsäquivalent, K_{cd} , der monochromatischen Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz der Zahlenwert 683 festgelegt wird, ausgedrückt in der Einheit lm W^{-1} , die gleich cd sr W^{-1} oder $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$ ist, wobei das Kilogramm, der Meter und die Sekunde mittels h , c und $\Delta\nu_{Cs}$ definiert sind.

Diese Definition impliziert die exakte Beziehung $K_{cd} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$ für monochromatische Strahlung einer Frequenz von $\nu = 540 \cdot 10^{12}$ Hz. Das Umkehren dieses Verhältnisses ergibt einen genauen Ausdruck für die Candela in Bezug auf die definierenden Konstanten K_{cd} , h und $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1 \text{ cd} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1}$$

welches gleich

$$1 \text{ cd} = \frac{1}{(6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}) (9\,192\,631\,770)^2 683} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd} \\ \approx 2,614\,8305 \cdot 10^{10} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd}$$

ist.

Diese Definition hat zur Folge, dass eine Candela die Lichtstärke einer Strahlungsquelle in einer bestimmten Richtung ist, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $1/683 \text{ W sr}^{-1}$ beträgt. Die Definition des Steradianen ist unterhalb von Tabelle 4 angegeben.

2.3.2 Praktische Realisierung der SI-Einheiten

Die experimentellen Methoden, die auf höchstem Niveau angewandt werden, um die Einheiten anhand von physikalischen Gleichungen zu realisieren, sind unter der Bezeichnung „Primärverfahren“ bekannt. Das Hauptmerkmal eines Primärverfahrens ist, dass es die Messung einer Größe in einer bestimmten Einheit ermöglicht, indem nur Größen gemessen werden, die keinen Bezug auf die zu messende Größe haben. In der vorliegenden Formulierung des SI unterscheidet sich die Basis der Definitionen von jener, die früher verwendet wurde, sodass nun neue Verfahren genutzt werden können, um die SI-Einheiten in der Praxis zu realisieren. Anstatt dass jede Definition eine bestimmte Bedingung oder einen bestimmten physikalischen Zustand beschreibt (was die Genauigkeit der Darstellung erheblich einschränkt), kann jetzt jeder Anwender jedwede geeignete physikalische Gleichung frei wählen, die die definierenden Konstanten und die zu messende Größe verbindet. Dies ist eine viel allgemeinere Art, die Basiseinheiten zu definieren. Außerdem ist sie nicht durch den heutigen Stand der Technik begrenzt: Künftige Entwicklungen können zu verschiedenen Möglichkeiten führen, Einheiten mit größerer Genauigkeit zu realisieren. Bei einer solchen Definition sind der Realisierungsgenauigkeit einer Einheit prinzipiell keine Grenzen gesetzt. Die einzige Ausnahme bleibt die Definition der Sekunde, die nach wie vor auf dem Mikrowellenübergang von Cäsium basieren muss. Siehe [Anhang 2](#) (nur online, Link führt zur englischen Fassung) für detailliertere Erläuterungen zur Realisierung der SI-Einheiten.

2.3.3 Dimensionen der Größen

Physikalische Größen können in einem System von Dimensionen organisiert sein, wobei über das verwendete System per Übereinkunft entschieden wird. Jede der sieben im SI verwendeten Basisgrößen wird wie eine Größe betrachtet, die ihre eigene Dimension hat. Die für die Basisgrößen verwendeten Zeichen und die Zeichen, die verwendet werden, um ihre Dimension anzuzeigen, sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3:
Basisgrößen und Dimensionen, die im SI verwendet werden

Basisgröße	Typisches Zeichen für die Größe	Zeichen für die Dimension
Zeit	t	T
Länge	l, x, r etc.	L
Masse	m	M
Elektrische Stromstärke	I, i	I
Thermodynamische Temperatur	T	Θ
Stoffmenge	n	N
Lichtstärke	I_v	J

Alle anderen Größen, mit Ausnahme derer, deren Wert durch Zählen (d. h. durch eine Anzahl) bestimmt wird, sind abgeleitete Größen, die durch Basisgrößen mittels physikalischer Gleichungen ausgedrückt werden können. Ihre Dimensionen werden als Produkt von Potenzen der Dimensionen der Basisgrößen anhand der Gleichungen dargestellt, die die abgeleiteten Größen mit den Basisgrößen verknüpfen. Im Allgemeinen wird die Dimension einer Größe Q in Form eines dimensionalen Produkts ausgedrückt:
 $\dim Q = T^\alpha L^\beta M^\gamma I^\delta \Theta^\epsilon N^\zeta J^\eta$

wobei die Exponenten α , β , γ , δ , ε , ζ und η Dimensionsexponenten heißen und im Allgemeinen kleine, positive oder negative ganze Zahlen oder gleich Null sind.

Es gibt Größen Q , in deren definierender Gleichung alle Dimensionsexponenten in der Gleichung für die Dimension von Q gleich null sind. Dies gilt insbesondere für eine Größe, die als das Verhältnis zweier Größen gleicher Art definiert ist. Die Brechzahl z. B. ist das Verhältnis zweier Geschwindigkeiten, und die relative Dielektrizitätskonstante entspricht dem Verhältnis der Leitfähigkeit eines Dielektrikums zu der des Vakuums. Solche Größen sind einfach Zahlen. Die zugehörige Einheit ist die Einheit Eins, Zeichen 1, wobei dies selten explizit ausgeschrieben wird (s. 5.4.7).

Es gibt aber auch einige Größen, die gar nicht mittels der sieben SI-Basisgrößen beschrieben werden können, sondern deren Wert durch Zählen (d. h. durch eine Anzahl) gegeben ist. Beispiele sind eine Anzahl an Molekülen, eine Anzahl zellulärer und biomolekularer Strukturen (z. B. Kopien einer bestimmten Nukleotidsequenz) oder Quantenentartung. Zählgrößen sind auch Größen mit der zugehörigen Einheit Eins.

Die Einheit Eins ist das neutrale Element eines jeglichen Einheitensystems – notwendig und automatisch vorhanden. Es ist nicht nötig, sie formell durch einen Beschluss einzuführen. Daher kann die formelle Rückführung zum SI durch geeignete, validierte Messverfahren hergestellt werden.

Aus historischen Gründen werden der Radiant und der Steradian wie abgeleitete Größen behandelt, wie unter Punkt 2.3.4 erläutert. Die Zeichen rad und sr werden dann explizit geschrieben, wenn dies erforderlich ist, um zu unterstreichen, dass bei Radianten oder Steradianen die betrachtete Größe der ebene Winkel oder der räumliche Winkel ist bzw. einen von ihnen betrifft. Bei Steradianen beispielsweise wird dadurch die Unterscheidung zwischen Fluss und Intensität in der Radiometrie und Photometrie unterstrichen. Es wird darauf hingewiesen, dass in der Mathematik und in einigen Bereichen der Naturwissenschaften rad und sr weggelassen werden.

Es ist besonders wichtig, eine genaue Beschreibung jeglicher Größe mit der Einheit Eins (s. Abschnitt 5.4.7) zu haben, die in der Form eines Verhältnisses aus Größen der gleichen Art (z. B. Längenverhältnissen oder Anteilen) oder in der Form einer Anzahl (z. B. der Anzahl an Photonen oder Zerfallsereignissen) ausgedrückt ist.

2.3.4 Abgeleitete Einheiten

Die abgeleiteten Einheiten werden als das Produkt von Potenzen der Basiseinheiten definiert. Wenn der Zahlenfaktor dieses Produktes Eins ist, werden die abgeleiteten Einheiten *kohärente abgeleitete Einheiten* genannt. Die Basiseinheiten und die kohärenten abgeleiteten Einheiten des SI bilden eine kohärente Menge, die man als *Satz der kohärenten SI-Einheiten* bezeichnet. Hierbei bedeutet „kohärent“, dass die Gleichungen, die die Zahlenwerte der Größen verbinden, genau dieselbe Form haben wie die Gleichungen, die die Größen selbst verbinden.

Manche der abgeleiteten kohärenten SI-Einheiten haben besondere Namen erhalten. Tabelle 4 führt 22 SI-Einheiten mit besonderen Namen auf. Zusammen mit den sieben Basiseinheiten (s. Tabelle 2) bilden sie das Herzstück des SI-Einheiten-Satzes. Alle anderen SI-Einheiten sind Kombinationen aus diesen 29 Einheiten.

Es ist zu beachten, dass jede der sieben Basiseinheiten und der 22 SI-Einheiten mit besonderen Namen unmittelbar aus den sieben definierenden Konstanten gebildet werden können. Eigentlich enthalten die Einheiten der sieben definierenden Konstanten sowohl Basis- als auch abgeleitete Einheiten.

Die CGPM hat eine Reihe von Vorsätzen für die Bildung von dezimalen Vielfachen und Teilen der kohärenten SI-Einheiten festgelegt (s. Kapitel 3). Diese Vorsätze sind hilfreich, um die Werte von Größen auszudrücken, die viel größer oder viel kleiner als die kohärente Einheit sind. Wenn Vorsätze mit SI-Einheiten verwendet werden, sind die resultierenden Einheiten jedoch nicht mehr kohärent, denn der Vorsatz führt einen von Eins verschiedenen Zahlenfaktor ein. Vorsätze dürfen mit allen 29 SI-Einheiten mit besonderen Namen verwendet werden – mit der Ausnahme der Basiseinheit Kilogramm; der besondere Fall des Kilogramms wird in Kapitel 3 näher erläutert.

Tabelle 4:
Die 22 SI-Einheiten
mit besonderen
Namen und deren
Zeichen

Abgeleitete Größe	Besonderer Name der Einheit	Einheit ausgedrückt durch Basiseinheiten ^(a)	Einheit ausgedrückt durch andere SI-Einheiten
ebener Winkel	Radian ^(b)	rad = m/m	1
räumlicher Winkel	Steradian ^(c)	sr = m²/m²	1
Frequenz	Hertz ^(d)	Hz = s ⁻¹	
Kraft	Newton	N = kg m s ⁻²	
Druck, (mechanische) Spannung	Pascal	Pa = kg m ⁻¹ s ⁻²	N/m²
Energie, Arbeit, Wärmemenge	Joule	J = kg m² s ⁻²	N m
Leistung, Energiestrom	Watt	W = kg m² s ⁻³	J/s
elektrische Ladung, Elektrizitätsmenge	Coulomb	C = A s	
elektrisches Potential ^(e) elektrische Spannung, elektromotorische Kraft	Volt	V = kg m² s ⁻³ A ⁻¹	W/A
elektrische Kapazität	Farad	F = kg ⁻¹ m ⁻² s⁴ A²	C/V
elektrischer Widerstand	Ohm	Ω = kg m² s ⁻³ A ⁻²	V/A
elektrischer Leitwert	Siemens	S = kg ⁻¹ m ⁻² s³ A²	A/V
magnetischer Fluss	Weber	Wb = kg m² s ⁻² A ⁻¹	V s
magnetische Flussdichte, Induktion	Tesla	T = kg s ⁻² A ⁻¹	Wb/m²
Induktivität	Henry	H = kg m² s ⁻² A ⁻²	Wb/A
Celsius-Temperatur	Grad Celsius ^(f)	°C = K	
Lichtstrom	Lumen	lm = cd sr ^(g)	cd sr
Beleuchtungsstärke	Lux	lx = cd sr m ⁻²	lm/m²
Aktivität eines Radionuklids ^(d, h)	Becquerel	Bq = s ⁻¹	
Energiedosis, Kerma	Gray	Gy = m² s ⁻²	J/kg
Äquivalentdosis	Sievert ⁽ⁱ⁾	Sv = m² s ⁻²	J/kg
katalytische Aktivität	Katal	kat = mol s ⁻¹	

- (a) In dieser Tabelle unterscheidet sich die Reihenfolge der Zeichen für die Basiseinheiten von der in der 8. Ausgabe: Dies ist das Ergebnis eines Beschlusses des CCU bei seiner 21. Sitzung (2013), bei der eine Rückkehr zur ursprünglichen Reihenfolge aus Resolution 12 der 11. CGPM (1960) festgelegt wurde, wo das Newton noch kg m s^{-2} , das Joule $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ und J s noch $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ geschrieben wurde. Diese Änderung zielte darauf ab, die zugrunde liegenden physikalischen Eigenschaften der entsprechenden Größengleichungen widerzuspiegeln – wobei dies bei komplexeren abgeleiteten Einheiten nicht immer möglich ist.
- (b) Der Radiant ist die kohärente Einheit des ebenen Winkels. Ein Radiant ist der ebene Winkel im Bogenmaß, bei dem das Verhältnis von Kreisbogen und Radius gleich 1 ist. Dies legt den Schluss nahe, dass $\text{rad} = \text{m/m}$ ist, aber diese Darstellung ist in sich nicht schlüssig und kann irreführend sein, da der Winkel nicht dieselbe Art von Größe ist wie andere Längenverhältnisse. Eine alternative Definition lautet, dass ein rechter Winkel gleich $\pi/2$ rad ist. Das Bogenmaß ist auch die kohärente Einheit für den Phasenwinkel. Bei periodischen Phänomenen nimmt der Phasenwinkel in einer Periode um 2π rad zu.
- (c) Der Steradian ist die kohärente Einheit des räumlichen Winkels. Ein Steradian ist der räumliche Winkel, der von der Mitte einer Kugel aus gesehen eine Fläche auf der Kugeloberfläche einnimmt, die gleich dem Radius im Quadrat ist. Daraus ergibt sich $\text{sr} = \text{m}^2/\text{m}^2$, aber diese Darstellung ist nicht in sich schlüssig und kann irreführend sein, da der Raumwinkel nicht dieselbe Art von Größe ist wie andere Flächenverhältnisse. Eine alternative Definition besagt, dass eine vollständige Kugel 4π sr um ihren Mittelpunkt einschließt.
- (d) Das Hertz darf ausschließlich für periodische Ereignisse verwendet werden und das Becquerel für Zufallsprozesse, die mit der Messung der Aktivität eines Radionuklids verknüpft sind.
- (e) Das elektrische Potential wird in vielen Ländern auch „Spannung“ („*voltage*“ auf Englisch und „*tension*“ oder „*tension électrique*“ auf Französisch) genannt.
- (f) Grad Celsius wird zum Ausdruck von Celsius-Temperaturen verwendet. Der Zahlenwert einer Temperaturdifferenz oder eines Temperaturintervalls bleibt derselbe, ob er in Grad Celsius oder in Kelvin ausgedrückt wird.
- (g) Im Bereich der Photometrie werden üblicherweise der Name Steradian und das Zeichen sr beibehalten, um die Einheiten auszudrücken.
- (h) Die Aktivität eines Radionuklids wird manchmal auch fälschlicherweise Radioaktivität genannt.
- (i) Siehe Empfehlung 2 des CIPM über die Anwendung des Sieverts (PV, 2002, **70**, 102, (205)).

Die sieben Basiseinheiten und 22 Einheiten mit besonderen Namen und Zeichen können miteinander kombiniert werden, um die Einheiten anderer abgeleiteter Größen auszudrücken. Da die Anzahl der im wissenschaftlichen Bereich verwendeten Größen schier unbegrenzt ist, ist es nicht möglich, eine vollständige Liste der Größen und abgeleiteten Einheiten zu erstellen. Tabelle 5 stellt einige Beispiele abgeleiteter Größen zusammen, deren kohärente abgeleitete Einheiten unmittelbar durch Basiseinheiten ausgedrückt werden. Zudem führt Tabelle 6 Beispiele kohärenter abgeleiteter SI-Einheiten auf, deren Namen und Zeichen auch abgeleitete Einheiten enthalten. Der ganze Satz an SI-Einheiten enthält sowohl den kohärenten Satz als auch die Vielfachen und Teile, die durch die Verwendung von SI-Vorsätzen entstehen.

Tabelle 5:
Beispiele für
kohärente abge-
leitete und durch
die Basiseinheiten
ausgedrückte SI-
Einheiten

Abgeleitete Größe	Typisches Zeichen für die Größe	Abgeleitete Einheit ausgedrückt durch Basiseinheiten
Fläche	A	m^2
Volumen	V	m^3
Geschwindigkeit	v	m s^{-1}
Beschleunigung	a	m s^{-2}
Wellenzahl	σ	m^{-1}
Dichte, Massendichte	ρ	kg m^{-3}
flächenbezogene Masse	ρ_A	kg m^{-2}
spezifisches Volumen	v	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
Stromdichte	j	A m^{-2}
magnetische Feldstärke	H	A m^{-1}
Stoffmengenkonzentration	c	mol m^{-3}
Massenkonzentration	ρ, γ	kg m^{-3}
Leuchtdichte	L_v	cd m^{-2}

Es wird nachdrücklich darauf hingewiesen, dass jede physikalische Größe nur eine einzige kohärente SI-Einheit hat, auch dann, wenn diese Einheit mittels besonderer Namen oder Zeichen auf verschiedene Weise ausgedrückt werden kann.

Umgekehrt ist dies jedoch nicht der Fall, da im Allgemeinen mehrere unterschiedliche Größen sich eine SI-Einheit teilen können. Beispielsweise ist das „Joule durch Kelvin“ sowohl der Name der SI-Einheit für die Größe „Wärmekapazität“ als auch für die Größe „Entropie“. Gleichermassen ist das Ampere sowohl der Name der SI-Einheit für die Basisgröße „elektrische Stromstärke“ als auch für die abgeleitete Größen „magnetomotorische Kraft (magnetisches Potential)“. Es reicht also nicht aus – und dies muss besonders betont werden –, nur die Einheit anzugeben, um die Größe zu spezifizieren. Diese Regel gilt nicht nur für technische Texte, sondern beispielsweise auch für Messgeräte (d. h. es muss auf ihnen nicht nur die Einheit angegeben sein, sondern auch die Messgröße).

Um die Unterscheidung unterschiedlicher Größen mit gleicher Dimension zu erleichtern, wird ihre Einheit in der Praxis so ausgedrückt, dass vorzugsweise ein besonderer Name¹ verwendet wird, der an die Definition der Größe erinnert. Die Größe „Drehmoment“ z. B. kann man als Ergebnis des Kreuzprodukts aus Abstand und Kraft betrachten, dann bietet sich der Newtonmeter als Einheit an, obwohl dieser dieselbe Dimension wie Energie besitzt und daher mit der Einheit Joule ausgedrückt werden könnte.

Die SI-Einheit der Frequenz ist das Hertz; die SI-Einheit der Winkelgeschwindigkeit und der Winkelfrequenz ist der Radiant durch Sekunde, und die SI-Einheit der Aktivität ist das Becquerel, welches ein Zerfallsereignis pro Sekunde bedeutet. Selbst wenn es korrekt ist, diese drei Einheiten als Kehrwert der Sekunde zu notieren, dient der Gebrauch unterschiedlicher Namen dazu, die unterschiedliche Art der betreffenden Größen zu betonen. Es ist besonders wichtig, Frequenzen von Winkelfrequenzen klar zu unterscheiden, denn ihre Zahlenwerte unterscheiden sich per Definition um den Faktor¹ 2π . Bei Nichtbeachtung kann ein Fehler von 2π daraus entstehen. In manchen Ländern jedoch werden Frequenzwerte üblicherweise als „Zyklus/s“ oder „cps“ statt der SI-Einheit Hertz ausgedrückt, obwohl „Zyklus“ und „cps“ keine SI-Einheiten sind. Es ist zu beachten, dass es üblich – wenn auch nicht empfohlen – ist, den Begriff „Frequenz“ für Größen zu verwenden, die in rad/s ausgedrückt werden. Aufgrund dessen wird empfohlen, „Frequenz“, „Winkelfrequenz“ oder „Winkelgeschwindigkeit“ genannte Größen immer mit den Einheiten Hz oder rad/s, jedoch nicht s^{-1} anzugeben.

Im Bereich der ionisierenden Strahlung wird eher die SI-Einheit Becquerel als der Kehrwert

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) hat das Var (Zeichen: var) als besonderen Namen für die Einheit der Blindleistung eingeführt. Ausgedrückt in kohärenten SI-Einheiten ist das Var identisch mit dem Voltampere.

¹ Für nähere Einzelheiten: siehe ISO 80000-3

der Sekunde verwendet. Für die Energiedosisleistung bzw. für die Äquivalentdosis werden eher die SI-Einheiten Gray und Sievert als Joule durch Kilogramm verwendet. Die besonderen Namen Becquerel, Gray und Sievert wurden speziell aufgrund der Gefahren für die menschliche Gesundheit eingeführt, die sich ergeben könnten, wenn die Einheiten Kehrwert der Sekunde und Joule durch Kilogramm fälschlicherweise benutzt würden, um die Größen zu identifizieren.

Tabelle 6:
Beispiele für kohärente abgeleitete SI-Einheiten, deren Namen und Zeichen mithilfe von kohärenten abgeleiteten SI-Einheiten ausgedrückt werden, die besondere Namen und besondere Zeichen haben

Abgeleitete Größe	Name der kohärenten abgeleiteten Einheit	Zeichen	Abgeleitete Einheit ausgedrückt durch Basiseinheiten
dynamische Viskosität	Pascalsekunde	Pa s	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$
Moment einer Kraft	Newtonmeter	N m	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
Oberflächenspannung	Newton durch Meter	N m^{-1}	kg s^{-2}
Winkelgeschwindigkeit	Radian durch Sekunde	rad s^{-1}	s^{-1}
Winkelbeschleunigung	Radian durch Quadratsekunde	rad s^{-2}	s^{-2}
Wärmestromdichte, Bestrahlungsstärke	Watt durch Quadratmeter	W m^{-2}	kg s^{-3}
Wärmekapazität, Entropie	Joule durch Kelvin	J K^{-1}	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
spezifische Wärmekapazität, spezifische Entropie	Joule durch Kilogramm · Kelvin	$\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
spezifische Energie	Joule durch Kilogramm	J kg^{-1}	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
Wärmeleitfähigkeit	Watt durch Meter · Kelvin	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m s}^{-3} \text{K}^{-1}$
Energiedichte	Joule durch Kubikmeter	J m^{-3}	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$
elektrische Feldstärke	Volt durch Meter	V m^{-1}	$\text{kg m s}^{-3} \text{A}^{-1}$
elektrische Ladungsdichte	Coulomb durch Kubikmeter	C m^{-3}	A s m^{-3}
Oberflächenladungsdichte	Coulomb durch Quadratmeter	C m^{-2}	A s m^{-2}
elektrische Flussdichte, Verschiebung	Coulomb durch Quadratmeter	C m^{-2}	A s m^{-2}
Permittivität	Farad durch Meter	F m^{-1}	$\text{kg}^{-1} \text{m}^{-3} \text{s}^4 \text{A}^2$
Permeabilität	Henry durch Meter	H m^{-1}	$\text{kg m s}^{-2} \text{A}^{-2}$
molare Energie	Joule durch Mol	J mol^{-1}	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
molare Entropie, molare Wärmekapazität	Joule durch Mol · Kelvin	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
Ionendosis (Röntgen- und γ -Strahlen)	Coulomb durch Kilogramm	C kg^{-1}	A s kg^{-1}
Energiedosisleistung	Gray durch Sekunde	Gy s^{-1}	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
Strahlstärke	Watt durch Steradian	W sr^{-1}	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$
Strahldichte	Watt durch Steradian · Quadratmeter	$\text{W sr}^{-1} \text{m}^{-2}$	kg s^{-3}
katalytische Aktivitätskonzentration	Katal durch Kubikmeter	kat m^{-3}	$\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-3}$

Besondere Sorgfalt ist geboten, wenn es darum geht, Temperaturen bzw. Temperaturunterschiede auszudrücken. Ein Temperaturunterschied von 1 K ist gleich einem Temperaturunterschied von 1 °C, aber für eine absolute Temperatur muss der Unterschied von 273,15 K berücksichtigt werden. Die Einheit Grad Celsius ist nur für den Ausdruck von Temperaturunterschieden kohärent.

2.3.5 Einheiten für Größen, die biologische und physiologische Effekte beschreiben

Vier der in den Tabellen 2 und 4 aufgeführten SI-Einheiten enthalten physiologische Wichtungsfaktoren, nämlich die Candela, das Lumen, das Lux und das Sievert.

Das Lumen und das Lux sind von der Basiseinheit Candela abgeleitet. Genauso wie die Candela enthalten sie Informationen über die menschliche Sehkraft. Die Candela wurde 1954 als Basiseinheit festgelegt, um der Bedeutung des Lichtes im Alltag Rechnung zu tragen. Weitere Einheiten zu den Einheiten und den Übereinkünften, die für die Definition photochemischer und photobiologischer Größen gelten, sind in [Anhang 3](#) (nur online, Link führt zur englischen Fassung) zu finden.

Ionisierende Strahlung deponiert Energie in bestrahlter Materie. Das Verhältnis von abgegebener Energie zu Masse nennt man Energiedosis D . Wie 2002 vom CIPM beschlossen, ist die Größe Äquivalentdosis $H = Q D$ das Produkt der Energiedosis D und eines numerischen Gütefaktors Q , der die biologische Wirksamkeit der Strahlung berücksichtigt und von der Energie und der Strahlungsart abhängig ist.

Es gibt Einheiten für Größen, die die biologische Wirkung beschreiben und mit Wichtungsfaktoren einhergehen, die keine SI-Einheiten sind. Zwei Beispiele dafür:

Schall verursacht kleine, dem normalen atmosphärischen Druck überlagerte Luftdruckschwankungen, die vom menschlichen Ohr erfasst werden. Die Empfindlichkeit des Ohrs hängt von der Schallfrequenz ab, aber sie ist keine einfache Funktion entweder der Druckschwankungen oder der Frequenz. Daher werden in der Akustik frequenzgewichtete Größen verwendet, um näherungsweise darzustellen, wie Schall wahrgenommen wird. Diese werden beispielsweise verwendet, um Messungen zum Gehörschutz durchzuführen. Die Wirkung von Ultraschallwellen gibt Anlass zu ähnlichen Bedenken in der medizinischen Diagnostik und Therapie.

Es gibt einen Satz von Einheiten, mit denen die biologische Aktivität bestimmter Substanzen quantifiziert wird und die in der medizinischen Diagnostik und Therapie verwendet werden; sie können jedoch noch nicht in Bezug auf SI-Einheiten definiert werden. Diese fehlenden Definitionen rühren daher, dass der Mechanismus der speziellen biologischen Wirkung dieser Substanzen noch nicht ausreichend gut verstanden ist, um mittels physikalisch-chemischer Parameter quantifiziert werden zu können. Wegen ihrer Bedeutung für die menschliche Gesundheit und Sicherheit hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) die Verantwortung übernommen, Internationale WHO-Einheiten (IU) für die biologische Aktivität dieser Substanzen zu definieren.

2.3.6 SI-Einheiten im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie

Die praktische Darstellung einer Einheit und der Vergleichsprozess erfordern einen Satz von Gleichungen innerhalb einer theoretischen Beschreibung. In manchen Fällen enthalten diese Gleichungen relativistische Effekte.

Bei Frequenznormalen ist es möglich, solche Vergleiche über Entfernungen mittels elektromagnetischer Signale durchzuführen. Um die Ergebnisse zu interpretieren, muss man die allgemeine Relativitätstheorie anwenden, da diese unter anderem eine relative Frequenzverschiebung zwischen Normalen von ca. $1 \cdot 10^{-16}$ pro Meter Höhendifferenz auf der Erdoberfläche voraussagt. Einflüsse dieser Größenordnung müssen beim Vergleich der besten Frequenznormalen korrigiert werden.

Wenn praktische Darstellungen lokal (d. h. innerhalb eines kleinen Raum-Zeit-Bereichs) verglichen werden, können die Auswirkungen der Raum-Zeit-Krümmung, die von der allgemeinen Relativitätstheorie beschrieben werden, vernachlässigt werden. Wenn Darstellungen dieselben Raum-Zeit-Koordinaten (z. B. dieselbe Bewegung und Beschleunigung bzw. dasselbe Schwerfeld) aufweisen, können relativistische Effekte gänzlich vernachlässigt werden.

3. Dezimale Vielfache und Teile der SI-Einheiten

Die dezimalen Vielfache und Teile, die zur Verwendung mit den SI-Einheiten zur Verfügung stehen, erstrecken sich von 10^{30} bis 10^{-30} . Die Namen und Zeichen der Vorsätze dieser Vielfachen und Teile sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Wie für die Einheitenzeichen, wird auch für die Vorsatzzeichen aufrechte Schrift verwendet, unabhängig davon, welche Schrift im restlichen Text verwendet wird; sie werden den Einheitenzeichen ohne Leerzeichen zwischen dem Vorsatz- und dem Einheitenzeichen vorangestellt. Mit der Ausnahme von da (Deka-), h (Hekto-) und k (Kilo-) werden alle Vorsatzzeichen für die Vielfachen großgeschrieben, während die Vorsatzzeichen für die Teile kleingeschrieben werden. Im Französischen und Englischen werden die Namen der SI-Vorsätze nur am Anfang eines Satzes groß-, sonst immer kleingeschrieben.

Eine Verbindung aus einem Vorsatzzeichen und einem Einheitenzeichen stellt ein neues, untrennbares Zeichen dar (das Zeichen eines Vielfachen oder Teiles dieser Einheit), das man mit positiven oder negativen Exponenten potenzieren kann und das man mit anderen Einheitenzeichen zu einem zusammengesetzten Einheitenzeichen verbinden kann.

Die SI-Vorsätze beziehen sich ausschließlich auf Potenzen von 10. Sie sollten nicht benutzt werden, um Potenzen von 2 auszudrücken (z. B. steht ein Kilobit für 1000 Bits und nicht für 1024 Bits). Zur Verwendung mit Potenzen von 2 werden folgende Vorsätze mit den entsprechenden Namen und Zeichen empfohlen:

kibi	Ki	2^{10}
mebi	Mi	2^{20}
gibi	Gi	2^{30}
tebi	Ti	2^{40}
pebi	Pi	2^{50}
exbi	Ei	2^{60}
zebi	Zi	2^{70}
yobi	Yi	2^{80}

Faktor	Name	Zeichen	Faktor	Name	Zeichen
10^1	Deka	da	10^{-1}	Dezi	d
10^2	Hekto	h	10^{-2}	Zenti	c
10^3	Kilo	k	10^{-3}	Milli	m
10^6	Mega	M	10^{-6}	Mikro	μ
10^9	Giga	G	10^{-9}	Nano	n
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	Piko	p
10^{15}	Peta	P	10^{-15}	Femto	f
10^{18}	Exa	E	10^{-18}	Atto	a
10^{21}	Zetta	Z	10^{-21}	Zepto	z
10^{24}	Yotta	Y	10^{-24}	Yocto	y
10^{27}	Ronna	R	10^{-27}	Ronto	r
10^{30}	Quetta	Q	10^{-30}	Quecto	q

Tabelle 7:
SI-Vorsätze

Beispiele: pm (Pikometer), mmol (Millimol), GΩ (Gigaohm), THz (Terahertz)

$$2,3 \text{ cm}^3 = 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}.$$

Gleichermaßen werden die Vorsatznamen nicht von den Einheitennamen getrennt, denen sie vorangestellt sind. So werden beispielsweise Millimeter, Mikropascal und Meganewton als ein Wort geschrieben.

Es ist nicht zulässig, zwei oder mehr Vorsatzzeichen zusammenzusetzen. Diese Regel gilt auch für aus zwei oder mehr Teilen zusammengesetzte Vorsatznamen.

Vorsatzzeichen dürfen nicht allein oder mit der Zahl 1, dem Zeichen für die Einheit Eins, verwendet werden. Gleichermaßen dürfen Vorsatznamen nicht mit dem Namen der Einheit Eins, d. h. dem Wort „Eins“, zusammengesetzt werden.

Aus historischen Gründen ist das Kilogramm die einzige kohärente SI-Einheit, deren Name und Zeichen einen Vorsatz enthält. Die Namen und Zeichen der dezimalen Vielfachen und Teile der Einheit der Masse werden durch Hinzufügen von Vorsatznamen und Zeichen zum Namen der Einheit „Gramm“ bzw. von Vorsatzzeichen zum Zeichen der Einheit „g“ gebildet. So wird 10^{-6} kg als Milligramm, mg, geschrieben und nicht als Mikrokilogramm, μkg .

4. Einheiten außerhalb des SI, deren Gebrauch im Zusammenhang mit dem SI zugelassen ist

Das SI stellt die international anerkannten Bezugseinheiten zur Verfügung, auf deren Grundlage alle anderen Einheiten definiert sind. Die kohärenten SI-Einheiten haben den bedeutenden Vorteil, dass es nicht nötig ist, Einheiten umzurechnen, wenn in Größengleichungen bestimmte Werte eingesetzt werden.

Es wird allerdings zur Kenntnis genommen, dass einige Einheiten außerhalb des SI weitverbreitet sind, und es wird damit gerechnet, dass sie für viele Jahre weiterverwendet werden. Daher hat das CIPM einige Einheiten außerhalb des SI zur Verwendung mit dem SI zugelassen; sie sind in Tabelle 8 aufgelistet. Man sollte sich jedoch darüber im Klaren sein, dass die Vorteile des SI bei Verwendung solcher Einheiten verloren gehen. Die SI-Vorsätze können mit mehreren dieser Einheiten gebraucht werden, jedoch nicht – beispielsweise – mit den Einheiten außerhalb des SI für die Zeit.

Größe	Einheitenname	Einheitenzeichen	Wert in SI-Einheiten
Zeit	Minute Stunde Tag	min h d	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h = 86 400 s
Länge	astronomische Einheit ^(a)	au	1 au = 149 597 870 700 m
Ebener Winkel und Phasenwinkel	Grad Minute Sekunde ^(b)	° ' "	1° = (π/180) rad 1' = (1/60)° = (π/10 800) rad 1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
Fläche	Hektar ^(c)	ha	1 ha = 1 hm² = 10⁴ m²
Volumen	Liter ^(d)	l, L	1 l = 1 L = 1 dm³ = 10³ cm³ = 10⁻³ m³
Masse	Tonne ^(e) Dalton ^(f)	t Da	1 t = 10³ kg 1 Da = 1,660 539 066 60(50) · 10⁻²⁷ kg
Energie	Elektronenvolt ^(g)	eV	1 eV = 1,602 176 634 · 10⁻¹⁹ J
Logarithmische Verhältnissgrößen	Neper ^(h) Bel ^(h) Dezibel ^(h)	Np B dB	siehe Text auf folgender Seite

Tabelle 8: Einheiten außerhalb des SI, deren Gebrauch im Zusammenhang mit den SI-Einheiten zugelassen ist.

Das Gal (Einheitenzeichen: Gal) ist eine Nicht-SI-Einheit der Beschleunigung und wird in Geodäsie und Geophysik verwendet, um die Schwerebeschleunigung auf der Erde auszudrücken:
1 Gal = 1 cm s⁻² = 10⁻² m s⁻²

(a) Wie bei der 28. Generalversammlung der Internationalen Astronomischen Union (IAU) (Resolution B2, 2012) beschlossen

- (b) Für bestimmte Anwendungen in Bereichen wie der Astronomie werden kleine Winkel in Bogensekunden gemessen (d. h. in Winkelsekunden) [Zeichen: as oder: "] und in Milli-, Mikro- oder Pikobogensekunden (Zeichen jeweils mas, μ as und pas), wobei die Bogensekunde ein anderer Name für die Winkelsekunde ist.
- (c) Die Einheit Hektar und ihr Zeichen ha wurden 1879 vom CIPM angenommen (PV, 1879, 41). Landwirtschaftliche Flächen werden in Hektar angegeben.
- (d) Der Liter und sein Zeichen l (kleingeschrieben) wurden 1879 vom CIPM angenommen (PV, 1879, 41). Das alternative Zeichen L (großgeschrieben) wurde von der 16. CGPM (1979, Resolution 6 ; CR, 101 und *Metrologia*, 1980, **16**, 56–57) als Alternative angenommen, um Verwechslungen zwischen dem Buchstaben l und der Zahl 1 (Eins) zu vermeiden.
- (e) Die Tonne und ihr Zeichen t wurden 1879 vom CIPM (PV, 1879, 41) angenommen. In einigen englischsprachigen Ländern wird diese Einheit manchmal als „metrische Tonne“ bezeichnet.
- (f) Das Dalton (Da) und die atomare Masseneinheit (u) sind andere Bezeichnungen (und Zeichen) für ein und dieselbe Einheit, die gleich $1/12$ der Masse des freien ^{12}C -Atoms in seinem Ruhe- und Grundzustand ist. Dieser Wert des Dalton ist der in der CODATA-Ausgleichsrechnung von 2018 empfohlene Wert.
- (g) Das Elektronenvolt ist die kinetische Energie, die ein Elektron nach Durchlaufen einer Potentialdifferenz von 1 V im Vakuum erhält. Das Elektronenvolt wird oft mit SI-Vorsätzen kombiniert.
- (h) Wenn man diese Einheiten verwendet, ist es wichtig, genau anzugeben, welche Größenart gemeint und welcher Bezugswert verwendet wird.

Tabelle 8 enthält auch die Einheiten logarithmierter Größenverhältnisse, nämlich das Neper, das Bel und das Dezibel. Sie werden verwendet, um Information über logarithmierte Größenverhältnisse zu vermitteln. Das Neper, Np, gibt den Wert des Neperschen (natürlichen) Logarithmus eines Größenverhältnisses an, also bezogen auf die Basis e , $\ln = \log_e$. Das Bel und das Dezibel, B und dB, $1 \text{ dB} = (1/10) \text{ B}$, geben den Wert des dekadischen Logarithmus eines Größenverhältnisses an, also bezogen auf die Basis 10, $\lg = \log_{10}$. Die Aussage $L_X = m \text{ dB} = (m/10) \text{ B}$ (wobei m eine Zahl ist) wird verstanden als $m = 10 \lg(X/X_0)$. Die Einheiten Neper, Bel und Dezibel wurden vom CIPM zur Verwendung mit dem SI zugelassen, sie sind aber keine SI-Einheiten.

Es gibt viele weitere Einheiten außerhalb des SI, die entweder historisch interessant sind oder in spezifischen Bereichen (z. B. das Barrel für Rohöl) oder in bestimmten Ländern (das Zoll, der Fuß oder das Yard) immer noch verwendet werden. Das CIPM sieht keinen Grund, diese Einheiten in modernen wissenschaftlichen und technischen Abhandlungen weiter zu verwenden. Es ist jedoch wichtig, das Verhältnis zwischen diesen Einheiten und den entsprechenden SI-Einheiten zu kennen – und dies wird noch viele Jahre lang so bleiben.

5. Schreibweise der Namen und Zeichen der Einheiten und Darstellung von Größenwerten

5.1 Verwendung der Einheitenzeichen und -namen

Allgemeine Prinzipien zur Schreibweise von Einheitenzeichen und Zahlen wurden erstmals von der 9. CGPM (1948, Resolution 7) vorgeschlagen. Sie wurden dann von der ISO und der IEC und anderen internationalen Organisationen angenommen und umgesetzt. Daraus ist ein allgemeiner Konsens darüber entstanden, wie die Zeichen und Namen der Einheiten – einschließlich der Zeichen und Namen der Vorsätze – sowie die Zeichen und Werte der Größen ausgedrückt werden sollen. Die Einhaltung dieser Regeln und Stilvereinbarungen, von denen die wichtigsten in diesem Kapitel erläutert werden, verbessert die Lesbarkeit und Eindeutigkeit zahlenmäßiger Ergebnisse, die in SI-Einheiten ausgedrückt werden.

5.2 Einheitenzeichen

Die Einheitenzeichen werden in gerader Schrift gedruckt, unabhängig davon, welche Schriftart im restlichen Text verwendet wird. Die Einheitenzeichen werden kleingeschrieben, es sei denn, der Name der Einheit wurde von einem Eigennamen abgeleitet. In diesem Fall wird der erste Buchstabe des Zeichens großgeschrieben.

Das Zeichen für den Liter ist eine Ausnahme. Die 16. CGPM (1979, Resolution 6) hat den Gebrauch des Buchstaben L (großgeschrieben) oder l (kleingeschrieben) als Zeichen für den Liter angenommen, um eine Verwechslung zwischen der Zahl 1 (Eins) und dem Buchstaben l zu vermeiden.

Wenn ein Vielfach- oder Teilungsvorsatz verwendet wird, ist dieser ein Bestandteil der Einheit und steht vor dem Einheitenzeichen, ohne Leerzeichen zwischen dem Zeichen des Vorsatzes und dem Zeichen der Einheit. Ein Vorsatz wird nie ohne Einheit verwendet, und es werden niemals zusammengesetzte Vorsätze (Komposita) gebildet.

Einheitenzeichen sind keine Abkürzungen, sondern individuelle, nicht weiter auftrennbare mathematische Objekte; im französischen und englischen Text wird dafür das Wort „Entitäten“ (entité, entity) verwendet. Sie dürfen daher – außer am Ende eines Satzes – nicht mit einem Punkt versehen werden. Sie sind unveränderlich und man kann weder einen Plural bilden noch sie mit Einheitenamen in einem Ausdruck vermischen, da Einheitenamen keine mathematischen Entitäten sind.

Produkte und Quotienten der Einheitenzeichen werden nach den üblichen Regeln der Algebra gebildet. Die Multiplikation muss durch ein Leerzeichen oder einen zentrierten Malpunkt in mittlerer Höhe ($\cdot$) gekennzeichnet werden, um zu vermeiden, dass manche Vorsätze fälschlicherweise als Einheitenzeichen interpretiert werden. Die Division wird durch einen waagerechten oder schrägen ($/$) Strich oder durch negative Exponenten gekennzeichnet. Wenn mehrere Einheitenzeichen kombiniert werden, muss auf die Eindeutigkeit geachtet werden, z. B. durch Verwendung eckiger bzw. runder Klammern oder negativer Exponenten. Es darf nicht mehr als ein Teilungsschrägstrich in einem Ausdruck verwendet werden, ohne durch Klammern die Eindeutigkeit zu gewährleisten.

Es ist nicht zulässig, für die Einheitenzeichen und -namen Abkürzungen wie sek (für s oder

Sekunde), quad. mm (für mm² oder Quadratmillimeter), cc (für cm³ oder Kubikzentimeter) oder mps (für m/s oder Meter durch Sekunde) zu benutzen. Der korrekte Gebrauch der Zeichen für SI-Einheiten ist verpflichtend. Dies gilt im Allgemeinen auch für die Zeichen der Einheiten, die in den vorangegangenen Kapiteln dieser Broschüre erwähnt wurden. Nur so können Mehrdeutigkeiten und Missverständnisse bezüglich der Werte von Größen vermieden werden.

5.3 Einheitennamen

Die Namen der Einheiten werden in gerader Schrift geschrieben und wie gewöhnliche Substantive behandelt. Auf Französisch und auf Englisch werden die Einheitennamen kleingeschrieben, außer wenn sie am Anfang eines Satzes oder in einem großgeschriebenen Titel stehen; dies gilt auch für die Einheiten, deren Zeichen mit einem großgeschriebenen Buchstaben beginnen.

Obwohl die Werte der Größen meist durch Zahlen und Einheitenzeichen ausgedrückt werden, sollte der Name der Einheit ausgeschrieben werden, falls dieser aus irgendeinem Grund geeigneter ist als deren Zeichen.

Der Name eines Vielfach- oder Teilungsvorsatzes wird dem Namen einer Einheit ohne Leerzeichen oder Bindestrich vorangestellt. Das so entstandene Kompositum bildet dann ein einziges Wort (s. Kapitel 3).

Jedoch muss, wenn der Name einer abgeleiteten Einheit durch Multiplikation einzelner Einheitennamen gebildet ist, ein Leerzeichen oder ein Bindestrich benutzt werden, um die Einheitenamen voneinander zu trennen.

Im Deutschen werden Einheitennamen wie Eigennamen großgeschrieben.

5.4 Regeln und Stilvereinbarungen zur Angabe von Größenwerten

5.4.1 Wert und Zahlenwert einer Größe; Rechnen mit Größen

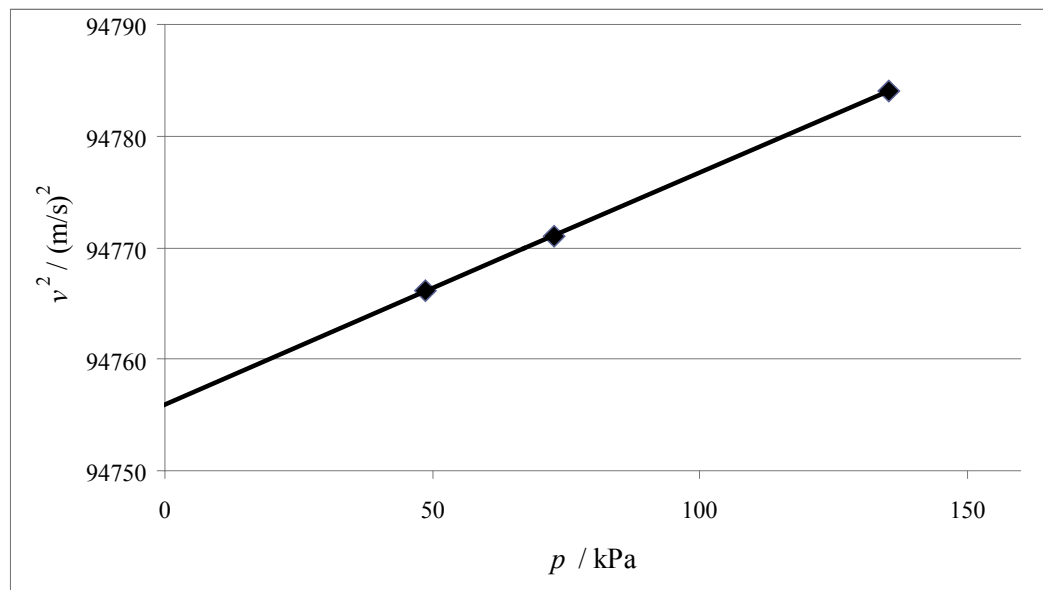
Die Größenzeichen werden üblicherweise durch einen einzigen kursiv gestellten Buchstaben dargestellt, sie können aber durch weitere Information als hoch- oder tiefgestellte Zeichen oder in Klammern spezifiziert werden. So ist C das empfohlene Zeichen für die Wärmekapazität, C_m für die molare Wärmekapazität, C_{m,p} für die molare Wärmekapazität bei konstantem Druck und C_{m,v} für die molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen.

Die empfohlenen Namen und Zeichen für die Größen sind in vielen Nachschlagewerken wie der Normenserie ISO 80000 *Größen und Einheiten*, dem „Roten Buch“ der IUPAP SUNAMCO, *Symbols, Units and Nomenclature in Physics* und dem „Grünen Buch“ der IUAPC, *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry* aufgeführt. Die Größenzeichen sind allerdings nur Empfehlungen, während der Gebrauch der richtigen Einheitenzeichen verbindlich vorgeschrieben ist. Unter bestimmten Umständen möchten Autoren für eine gegebene Größe lieber das Zeichen ihrer Wahl verwenden, z. B. um Verwechslungen vorzubeugen, die entstehen könnten, wenn man dasselbe Zeichen für zwei unterschiedliche Größen verwendet. In diesem Fall muss aber die Bedeutung des Zeichens deutlich erklärt werden. Weder der Name einer Größe noch das dafür verwendete Zeichen bedingen die Verwendung einer bestimmten Einheit.

Einheitenzeichen werden, wie oben bereits erläutert, wie mathematische Objekte behandelt. Wenn der Wert einer Größe als Produkt von Zahlenwert und Einheit ausgedrückt wird, können der Zahlenwert und die Einheit nach den üblichen algebraischen Regeln behandelt werden. Dieses Vorgehen nennt man Rechnen mit Größen. Beispielsweise kann die Gleichung $p = 48 \text{ kPa}$ auch $p/\text{kPa} = 48$ geschrieben werden. In der Praxis werden oft der Quotient einer Größe und eine Einheit an den Spaltenanfang einer Tabelle angegeben, um nur noch einfache Zahlen in die Tabelle eintragen zu müssen. Eine Tabelle, in die das Quadrat der Geschwindigkeit im Vergleich zum Druck eingetragen ist, kann so wie im untenstehenden Beispiel formatiert werden.

p/kPa	$v^2/(\text{m/s})^2$
48,73	94766
72,87	94771
135,42	94784

Die Achsen einer Grafik können auf dieselbe Weise beschriftet werden, damit die Achsenwerte nur Zahlen sind, wie in der unten stehenden Abbildung.



5.4.2 Größen und Einheitenzeichen

Einheitenzeichen dürfen nicht verwendet werden, um spezifische Informationen über die betreffende Größe zu geben, und sollten niemals die einzige Informationsquelle über die Größe sein. Die Einheiten dürfen nie dazu dienen, Zusatzinformationen über die Art der Größe zu geben; jegliche Zusatzinformation muss dem Größenzeichen und nicht dem Einheitenzeichen beigelegt sein.

Beispiel:

Die maximale elektrische Spannung wird wie folgt angegeben: $U_{\max} = 1000 \text{ V}$, jedoch nicht $U = 1000 \text{ V}_{\max}$.

Der relative Massenanteil von Kupfer in der Siliziumprobe wird wie folgt ausgedrückt: $w(\text{Cu}) = 1,3 \cdot 10^{-6}$, jedoch nicht $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ w/w}$.

5.4.3 Angabe des Wertes einer Größe

Der Zahlenwert steht immer vor der Einheit, und zwischen der Zahl und der Einheit ist immer ein Leerzeichen einzufügen. Da der Wert der Größe das Produkt einer Zahl mit einer Einheit ist, wird das Leerzeichen zwischen der Zahl und der Einheit als Multiplikationszeichen betrachtet (ebenso wie das Leerzeichen zwischen den Einheiten). Die einzigen Ausnahmen zu dieser Regel sind das Einheitenzeichen für den Grad, die Minute und die Sekunde des ebenen Winkels, jeweils $^{\circ}$, $'$ und $''$, bei denen zwischen Zahl und Einheitenzeichen kein Leerzeichen gelassen wird.

$m = 12,3 \text{ g}$, wobei m hier als Größenzeichen für die „Masse“ verwendet wird, aber $\phi = 30^{\circ} 22' 8''$, wobei ϕ hier das Größenzeichen für den ebenen Winkel ist.

Diese Regel bedeutet auch, dass ein Leerzeichen vor dem Zeichen $^{\circ}\text{C}$ für den Grad Celsius steht, um den Wert der Celsius-Temperatur t auszudrücken.

$t = 30,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
jedoch nicht $t = 30,2^{\circ}\text{C}$
und auch nicht $t = 30,2^{\circ} \text{C}$

Im Deutschen gilt:

Im Deutschen muss, wenn der Wert einer Größe als Adjektiv verwendet wird, ein Bindestrich zwischen Zahlenwert, Einheitenzeichen und Substantiv vorhanden sein. Auch wenn der Name der Einheit ausgeschrieben wird, muss, wie im Deutschen üblich, mit Bindestrichen durchgekoppelt werden.

Beispiel deutsche Schreibweise:
ein 10-k Ω -Widerstand
ein 35-Millimeter-Film

Im Englischen gilt:

Im Englischen muss, wenn der Wert einer Größe als Adjektiv verwendet wird, ein Leerzeichen zwischen dem Zahlenwert und dem Einheitenzeichen vorhanden sein. Wenn der Name der Einheit ausgeschrieben wird, wird im Englischen ein Bindestrich verwendet, um die Zahl von der Einheit zu trennen.

Beispiel englische Schreibweise:
a 10 k Ω resistor
a 35-millimetre film

$l = 10,234 \text{ m}$,
jedoch nicht
 $l = 10 \text{ m } 23,4 \text{ cm}$

In einem Ausdruck wird immer nur eine einzige Einheit verwendet. Die Werte der Größen Zeit und ebener Winkel, die in Einheiten außerhalb des SI ausgedrückt werden, sind jedoch Ausnahmen zu dieser Regel. Es wird empfohlen, den Grad des ebenen Winkels dezimal zu teilen. So ist die Schreibweise $22,20^\circ$ der Schreibweise $22^\circ 12'$ vorzuziehen – außer in Fachgebieten wie z. B. der Navigation, der Kartografie und der Astronomie sowie bei der Messung sehr kleiner Winkel.

5.4.4 Angabe von Zahlenwerten und Dezimalzeichen

Das Zeichen, das benutzt wird, um den ganzzahligen Teil von seinem dezimalen Teil zu trennen, heißt Dezimalzeichen. Nach einem Beschluss der 22. CGPM (2003, Resolution 10) „soll das Dezimalzeichen entweder der Punkt auf der Linie oder das Komma auf der Linie sein“. Das geeignete Dezimalzeichen ist dasjenige, das in der Landessprache geläufig ist; dies ist in Deutschland das Komma.

Wenn die Zahl zwischen +1 und –1 liegt, steht immer eine Null vor dem Dezimalzeichen.

Beispiel: $-0,234$
jedoch nicht $-,234$

Im Deutschen gilt:

Im Deutschen findet die DIN 1338 Anwendung, in der es unter „4.1.2 Ausschluss bei Zahlen“ heißt:

Vielstellige Dezimalzahlen dürfen nach DIN 1333 – zur besseren Übersicht – vom Dezimalkomma nach links und rechts in Gruppen zu je drei Ziffern gegliedert werden. Die Gruppen werden voneinander durch Ausschluss getrennt (nicht durch Punkt oder Komma!).

Einzelne Tausender und einzelne Zehntausendstel werden nur abgetrennt, wenn in Kolonnen gesetzt wird.

Beispiel für Kolonnensatz:

9 086,653 5
37 103,473 47
1 000,000 1

Im Englischen gilt:

Gemäß der 9. CGPM (1948, Resolution 7) und der 22. CGPM (2003, Resolution 10) können Zahlen, die aus vielen Ziffern bestehen, in Dreiergruppen unterteilt werden, die jeweils durch ein Leerzeichen getrennt werden, um eine bessere Lesbarkeit zu gewährleisten.

Diese Dreiergruppen dürfen nicht durch Punkte oder Kommata voneinander getrennt werden.

Beispiel:

43 279,168 29
jedoch nicht 43.279,168.29

Wenn jedoch nur vier Ziffern vor oder nach dem Dezimaltrennzeichen stehen, ist es nicht üblich, eine einzelne Ziffer durch ein Leerzeichen zu isolieren. Ziffern so zu gruppieren, ist letztlich eine persönliche Geschmacksfrage, aber in speziellen Anwendungen wie der Industriezeichnung, bei Finanzdokumenten oder elektronisch lesbaren Belegen wird nicht immer so verfahren.

Beispiel:

entweder 3279,1683
oder 3 279,168 3 (unüblich)

5.4.5 Ausdruck der Messunsicherheit im Wert einer Größe

Die dem Schätzwert einer Größe beigeordnete Unsicherheit sollte gemäß dem Dokument JCGM 100:2008 (GUM 1995 mit minimalen Korrekturen) *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen* ermittelt und ausgedrückt werden. Die einer Größe x beigeordnete Standardunsicherheit wird $u(x)$ geschrieben. Das folgende Beispiel ist eine praktische Möglichkeit, die Standardunsicherheit darzustellen:

$$m_n = 1,674\,927\,471\,(21) \cdot 10^{-27} \text{ kg},$$

wobei m_n das Zeichen für die Größe ist (hier die Masse eines Neutrons) und die Zahl in Klammern der Zahlenwert der Standardunsicherheit des Schätzwertes von m_n – bezogen auf die letzten Ziffern des angegebenen Wertes; in diesem Fall $u(m_n) = 0,000\,000\,21 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Wenn eine erweiterte Unsicherheit $U(x)$ statt der Standardunsicherheit $u(x)$ verwendet wird, müssen die Überdeckungswahrscheinlichkeit p und der Erweiterungsfaktor k angegeben werden.

5.4.6 Multiplikation oder Division von Größenzeichen, Größenwerten und Zahlen

Um die Formelzeichen zu multiplizieren oder zu dividieren, sind alle folgenden Notierungen erlaubt:

ab , $a\,b$, $a \cdot b$, $a \times b$, a/b , a/b , $a\,b^{-1}$.

Beispiel: $F = ma$ für Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung.

Im Deutschen gilt:

Für die Multiplikation finden im deutschen Sprachraum die DIN-Normen 5008, 1302 und 1338 Anwendung. In der DIN 1338 heißt es unter 4.2.3: Das liegende Kreuz wird für Zahlenangaben für Flächenformate und für räumliche Abmessungen benutzt. Dabei steht hinter jedem Zahlenwert das Einheitenzeichen, siehe auch DIN 820-2.

Beispiel:
Papierformat 10,5 cm × 14,8 cm
(nicht 10,5 × 14,8 cm)

Vierkantstab 3 mm × 3 mm × 80 mm
(nicht 3 × 3 × 80 mm)

Wundpflaster 6 cm × 1 m

Außerdem ist das liegende Kreuz für das Vektorprodukt
(Beispiel: $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$) und für das kartesische Produkt zu benutzen.

In allen anderen Fällen, z. B. bei der Multiplikation von Größenwerten, setzt man im Deutschen den hochgestellten Multiplikationspunkt (·) mit vor- und nachgestelltem Leerzeichen oder runde bzw. eckige Klammern.

Beispiel:
25 · 60,5 (nicht 25 × 60,5)
(53 m/s) · 10,2 s
oder (53 m/s)(10,2 s)

Im Englischen gilt:

Wenn man Größenwerte multipliziert, darf man entweder ein Multiplikationszeichen, ×, oder runde bzw. eckige Klammern, aber nicht den (zentrierten) Punkt in mittlerer Höhe verwenden.

Beispiel:
(53 m/s) × 10,2 s
oder (53 m/s)(10,2 s)

Wenn man ausschließlich Zahlen multipliziert, sollte das Multiplikationszeichen × verwendet werden.

Beispiel:
25 × 60,5
jedoch nicht 25 · 60,5

Wenn man Werte von Größen dividiert, die einen Schrägstrich enthalten, werden Klammern verwendet, um jegliche Mehrdeutigkeit auszuschließen.

Beispiel:
(20 m)/(5 s) = 4 m/s
(a/b)/c, jedoch nicht a/b/c

5.4.7 Angabe von Größenwerten, die reine Zahlen sind

Wie unter Abschnitt 2.3.3 bereits erwähnt, werden die Werte von Größen mit der Einheit Eins einfach durch Zahlen ausgedrückt. Das Einheitenzeichen 1 oder der Einheitenname „Eins“ werden nicht explizit gezeigt. Da die SI-Vorsätze weder an das Zeichen 1 noch an den Einheitennamen „Eins“ angehängt werden können, werden Zehnerpotenzen verwendet, um besonders große oder kleine Werte anzugeben.

Werte, die Verhältnisse von gleichartigen Größen (z. B. Längenverhältnisse und Stoffmengenanteile) sind, können auch mit Einheiten (m/m, mol/mol) ausgedrückt werden, um zu verdeutlichen, um welche Größe es sich handelt. In diesem Fall können, wenn erwünscht, auch SI-Vorsätze verwendet werden (µm/m, nmol/mol). Bei Größen, die sich auf Zählereignisse beziehen, entfällt diese Option, denn es handelt sich lediglich um Zahlen.

Obwohl sie nicht Teil des SI sind, werden beschreibende Begriffe üblicherweise anstelle der Einheit 1 verwendet, um die zu berücksichtigenden Einheiten anzugeben, wenn die Werte von Größen ausgedrückt werden, die eine Anzahl von Einheiten darstellen. In diesem Fall müssen

$n = 1,51$
jedoch nicht
 $n = 1,51 \times 1$,
wobei n das
Größenzeichen für
die Brechzahl ist

die Definitionen solcher Begriffe und die Konventionen für ihre Verwendung klar dokumentiert werden. Die allgemeinen Grundsätze von Abschnitt 5 sollten ebenfalls befolgt werden. Das international anerkannte Zeichen % (Prozent) kann mit dem SI gebraucht werden. Wenn es gebraucht wird, muss ein Leerzeichen zwischen der Zahl und dem Zeichen % stehen. Es sollte eher das Zeichen % als der Name „Prozent“ verwendet werden. In einem geschriebenen Text bedeutet das Zeichen % meist „Teile von Hundert“. Ausdrücke wie „Prozentsatz der Masse“, „Prozentsatz des Volumens“, „Prozentsatz der Stoffmenge“ dürfen nicht verwendet werden; die zusätzlichen Informationen über die betreffende Größe müssen durch die Beschreibung und das Zeichen der Größe vermittelt werden.

Man gebraucht auch den Ausdruck „ppm“ (englisch: *parts per million*). Er bedeutet den relativen Wert 10^{-6} , $1 \cdot 10^{-6}$, „Eins pro Million“ oder ein Millionstel. In englischsprachigen Ländern werden auch die Ausdrücke „*parts per billion*“ und „*parts per trillion*“ und deren jeweilige Abkürzungen „ppb“ und „ppt“ verwendet.

Heutzutage wird in englischsprachigen Ländern „*billion*“ als 10^9 und „*trillion*“ als 10^{12} verstanden; „*billion*“ kann allerdings manchmal noch immer als 10^{12} und „*trillion*“ als 10^{18} interpretiert werden. Die Abkürzung ppt wird manchmal als „*parts per thousand*“ (also Tausendstel) verstanden, was zu noch größerer Verwirrung beiträgt.

Dabei entspricht „*billion*“ 10^9 und „*trillion*“ 10^{12} , wohingegen man im Deutschen und in vielen anderen Sprachen das Wort Milliarde für 10^9 und Billion für 10^{12} verwendet. Deswegen wird davon abgeraten, diese Ausdrücke oder Abkürzungen zu gebrauchen. In deutschen Texten wird auch „Promille“, Zeichen ‰, für 10^{-3} verwendet; man sollte dafür aber nie die Abkürzung ppt („*parts per thousand*“) verwenden.

Liste der Abkürzungen

1. Abkürzungen für Laboratorien, Komitees und Konferenzen

BAAS	<i>British Association for the Advancement of Science;</i> Britische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften
BIPM	<i>Bureau international des poids et mesures/</i> <i>International Bureau of Weights and Measures;</i> Internationales Büro für Maß und Gewicht
CARICOM	<i>Caribbean Community;</i> Karibische Gemeinschaft
CCAUV	<i>Comité consultatif de l'acoustique, des ultrasons et des vibrations/</i> <i>Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration;</i> Beratendes Komitee für Akustik, Ultraschall und Vibration
CCDS	<i>Comité consultatif pour la définition de la seconde/</i> <i>Consultative Committee for the Definition of the Second;</i> Beratendes Komitee für die Definition der Sekunde (s. CCTF)
CCE	<i>Comité consultatif d'électricité/</i> <i>Consultative Committee for Electricity;</i> Beratendes Komitee für Elektrizität (s. CCEM)
CCEM	<i>Comité consultatif d'électricité et magnétisme/</i> <i>Consultative Committee for Electricity and Magnetism;</i> Beratendes Komitee für Elektrizität und Magnetismus (ehemals CCE)
CCL	<i>Comité consultatif des longueurs/</i> <i>Consultative Committee for Length;</i> Beratendes Komitee für Länge
CCM	<i>Comité consultatif pour la masse et les grandeurs apparentées/</i> <i>Consultative Committee for Mass and Related Quantities;</i> Beratendes Komitee für Masse und verwandte Größen
CCPR	<i>Comité consultatif de photométrie et radiométrie/</i> <i>Consultative Committee for Photometry and Radiometry;</i> Beratendes Komitee für Photometrie und Radiometrie

CCQM	<i>Comité consultatif pour la quantité de matière: métrologie en chimie et biologie/</i> <i>Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology;</i> Beratendes Komitee für die Stoffmenge: Metrologie in Chemie und Biologie
CCRI	<i>Comité consultatif des rayonnements ionisants/</i> <i>Consultative Committee for Ionizing Radiation;</i> Beratendes Komitee für Ionisierende Strahlung
CCT	<i>Comité consultatif de thermométrie/</i> <i>Consultative Committee for Thermometry;</i> Beratendes Komitee für Thermometrie
CCTF	<i>(formerly the CCDS) Comité consultatif du temps et des fréquences/</i> <i>Consultative Committee for Time and Frequency;</i> Beratendes Komitee für Zeit und Frequenz
CCU	<i>Comité consultatif des unités/</i> <i>Consultative Committee for Units;</i> Beratendes Komitee für Einheiten
CGPM	<i>Conférence générale des poids et mesures/</i> <i>General Conference on Weights and Measures</i> Generalkonferenz für Maß und Gewicht
CIPM	<i>Comité international des poids et mesures/</i> <i>International Committee for Weights and Measures;</i> Internationales Komitee für Maß und Gewicht
CODATA	<i>Committee on Data for Science and Technology;</i> Komitee für Daten aus Wissenschaft und Technologie
CR	<i>Comptes Rendus de la Conférence générale des poids et mesures,</i> <i>CGPM;</i> Berichte der Generalkonferenz für Maß und Gewicht
IAU	<i>International Astronomical Union;</i> Internationale Astronomische Union
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i> Internationale Strahlenschutzkommission
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements;</i> Internationale Kommission für Strahlungseinheiten und Messung
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> Internationale Elektrotechnische Kommission
IERS	<i>International Earth Rotation and Reference Systems Service;</i> Internationaler Dienst für Erdrotation und Referenzsysteme
ISO	<i>International Organization for Standardization;</i> Internationale Organisation für Normung
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry;</i> Internationale Union für reine und angewandte Chemie

IUPAP	<i>International Union of Pure and Applied Physics;</i> Internationale Union für reine und angewandte Physik
OIML	<i>Organisation internationale de métrologie légale/</i> <i>International Organization of Legal Metrology;</i> Internationale Organisation für das gesetzliche Messwesen
PV	<i>Procès-Verbaux of the Comité international des poids et mesures, CIPM</i> Protokoll des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht (CIPM)
SUNAMCO	<i>Commission for Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and</i> <i>Fundamental Constants, IUPAP</i> Kommission für Symbole, Einheiten, Nomenklatur, Atommassen und Fundamentalkonstanten (IUPAP)
WHO	<i>World Health Organization;</i> Weltgesundheitsorganisation

2. Abkürzungen für wissenschaftliche Begriffe

CGS	<i>Three-dimensional coherent system of units based on the three</i> <i>mechanical units centimetre, gram and second;</i> dreidimensionales, kohärentes Einheitensystem basierend auf den mechanischen Einheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde
EPT-76	<i>Échelle provisoire de température de 1976/</i> <i>Provisional Low Temperature Scale of 1976;</i> Vorläufige Skala für den Tieftemperaturbereich von 1976
GUM	<i>Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure/</i> <i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement;</i> internationale Norm zur Interpretation und Ermittlung von Messunsicherheiten
IPTS-68	<i>International Practical Temperature Scale of 1968;</i> Internationale Temperaturskala von 1968
ITS-90	<i>International Temperature Scale of 1990;</i> Internationale Temperaturskala von 1990
MKS	<i>System of units based on the three mechanical units metre,</i> <i>kilogram, and second;</i> Einheitensystem, das auf den drei mechanischen Basiseinheiten Meter, Kilogramm und Sekunde basiert
MKSA	<i>Four-dimensional system of units based on the metre, kilogram,</i> <i>second, and the ampere;</i> Vierdimensionales Einheitensystem basierend auf den Basiseinheiten Meter, Kilogramm, Sekunde und Ampere
SI	<i>Système international d'unités/</i> <i>International System of Units;</i> Internationales Einheitensystem

TAI	<i>Temps atomique international/</i> <i>International Atomic Time;</i> Internationale Atomzeit
TCG	<i>Temps-coordonnée géocentrique/</i> <i>Geocentric Coordinated Time;</i> Geozentrische Koordinatenzeit
TT	<i>Terrestrial Time;</i> Terrestrische Zeit
UTC	<i>Coordinated Universal Time;</i> Koordinierte Weltzeit
VSMOW	<i>Vienna Standard Mean Ocean Water;</i> Wiener mittleres Standard-Ozeanwasser



Impressum

Die PTB-Mitteilungen sind metrologisches Fachjournal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. Als Fachjournal veröffentlichen die PTB-Mitteilungen wissenschaftliche Fachaufsätze zu metrologischen Themen aus den Arbeitsgebieten der PTB. Die PTB-Mitteilungen stehen in einer langen Tradition, die bis zu den Anfängen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (gegründet 1887) zurückreicht.

Herausgeber

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

ISNI: 0000 0001 2186 1887

Postanschrift:

Postfach 33 45,
38023 Braunschweig

Lieferanschrift:

Bundesallee 100,
38116 Braunschweig

Redaktion/Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB

Dr. Sebastian Ulbricht (Faktencheck)

Dr. Dr. Jens Simon (verantwortlich)

Sabine Siems (Redaktion / Lektorat)

Sebastian Baumeister / stilsicher.design (Layout / Satz)

Telefon: (05 31) 592-82 02

Telefax: (05 31) 592-30 08

E-Mail: sabine.siems@ptb.de

Erscheinungsweise und Copyright

Die PTB-Mitteilungen erscheinen viermal jährlich.

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM und in allen anderen elektronischen Datenträgern.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Printed in Germany ISSN 0030-834X

Die fachlichen Aufsätze aus dieser Ausgabe der PTB-Mitteilungen sind auch online verfügbar unter:
doi: 10.7795/310.20250299

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, das nationale Metrologieinstitut, ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.



Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Nationales Metrologieinstitut

Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Telefon: (05 31) 592-82 02
Fax: (05 31) 592-30 08
E-Mail: presse@ptb.de
www.ptb.de