

Sekunde

Meter

Kilogramm

Ampere

Kelvin

Mol

Candela

Neue Definitionen im Internationalen Einheitensystem (SI)



Sieben Naturkonstanten, sogenannte „definierende Konstanten“, erhalten im neuen SI festgelegte Werte; die Zahlenwerte entstammen den Ausgleichsrechnungen von CODATA im Sommer 2017 (CODATA 2017 special adjustment).
Veröffentlichung: Peter J. Mohr et al, Metrologia **55**, 125–146 (2018) (<https://doi.org/10.1088/1681-7575/aa99bc>)

Die hier wiedergegebenen Definitionen der Einheiten sind sinngemäße Übersetzungen des englischen (verbindlichen) Originals. Dieses ist die 9. Auflage der SI-Broschüre des Internationalen Büros für Maße und Gewichte (BIPM).

Quelle: www.bipm.org/en/publications/si-brochure

Die Definitionen treten am 20. Mai 2019, dem Weltmetrologietag dieses Jahres, in Kraft.

Impressum

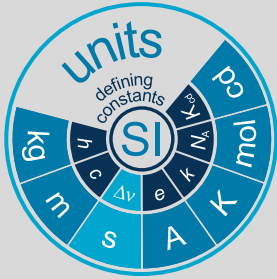
Fotos, Grafiken, Übersetzung: PTB
Redaktion: Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB
Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig
www.ptb.de
presse@ptb.de

Redaktionsschluss: Februar 2019

Definierende Konstanten

- Frequenz des **Hyperfeinstrukturübergangs** des Grundzustands im ^{133}Cs -Atom
 $\Delta\nu = 9\,192\,631\,770\text{ s}^{-1}$
- **Lichtgeschwindigkeit** im Vakuum
 $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$
- **Planck-Konstante**
 $h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\text{ J s}$ ($\text{J s} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$)
- **Elementarladung**
 $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\text{ C}$ ($\text{C} = \text{A s}$)
- **Boltzmann-Konstante**
 $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$ ($\text{J K}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$)
- **Avogadro-Konstante**
 $N_{\text{A}} = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
- Das **Photometrische Strahlungsäquivalent** K_{cd} einer monochromatischen Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}\text{ Hz}$ ist genau gleich 683 Lumen durch Watt.

Sekunde



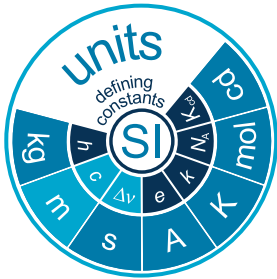
Die Sekunde (Symbol s) ist die SI-Einheit der Zeit. Sie wird definiert durch die Konstante der Cäsiumfrequenz $\Delta\nu$, der Frequenz des ungestörten Hyperfeinübergangs des Grundzustands des Cäsium-Isotops ^{133}Cs . Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf 9 192 631 770 festgelegt, wenn sie in der Einheit Hz bzw. s^{-1} angegeben wird.

Diese Definition legt $\Delta\nu$ fest zu $9\,192\,631\,770\,\text{s}^{-1}$. Löst man diese Beziehung nach der Einheit s auf, so ergibt sich:

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

Das heißt, eine Sekunde ist gleich der Dauer von 9 192 631 770 Schwingungen der Strahlung, die der Energie des Übergangs zwischen den zwei Hyperfeinstrukturniveaus des ungestörten Grundzustands im ^{133}Cs -Atom entspricht.

Meter



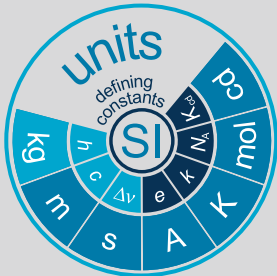
Der Meter (Symbol m) ist die SI-Einheit der Länge. Er wird definiert durch die Konstante der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum c . Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf 299 792 458 festgelegt, wenn sie in der Einheit $\text{m}\,\text{s}^{-1}$ angegeben wird und die Sekunde durch $\Delta\nu$ definiert ist.

Diese Definition gibt c den Wert $299\,792\,458\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$. Löst man diese Beziehung nach der Einheit m auf, so ergibt sich:

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

Das heißt, ein Meter ist gleich der Strecke, die Licht im Vakuum innerhalb des Bruchteils von $1/299\,792\,458$ einer Sekunde zurücklegt.

Kilogramm



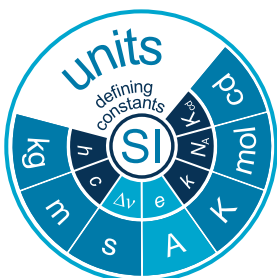
Das Kilogramm (Symbol kg) ist die SI-Einheit der Masse. Es wird definiert durch die Konstante des Planck'schen Wirkungsquantums h . Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ festgelegt, wenn sie in der Einheit $\text{J}\,\text{s}$ bzw. $\text{kg}\,\text{m}^2\,\text{s}^{-1}$ angegeben wird und die Sekunde und der Meter durch $\Delta\nu$ und c definiert sind.

Diese Definition gibt h den Wert $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\,\text{kg}\,\text{m}^2\,\text{s}^{-1}$. Löst man diese Beziehung nach der Einheit kg auf, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} 1\,\text{kg} &= \left(\frac{h}{6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}} \right) \text{m}^{-2} \text{s} \\ &= \frac{(299\,792\,458)^2}{(6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h\,\Delta\nu}{c^2} \approx 1,475\,5214 \cdot 10^{40} \frac{h\,\Delta\nu}{c^2} \end{aligned}$$

Das heißt, die Einheit kg wird mit der Wirkung (Einheit: $\text{kg}\,\text{m}^2\,\text{s}^{-1}$) verknüpft, einer physikalischen Größe in der theoretischen Physik. Zusammen mit der Definition für die Sekunde und den Meter ergibt sich die Definition für das Kilogramm als Funktion des Planck'schen Wirkungsquantums h .

Ampere



Das Ampere (Symbol A) ist die SI-Einheit der Stromstärke. Es wird definiert durch die Konstante der Elementarladung e . Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ festgelegt, wenn sie in der Einheit C bzw. $\text{A}\,\text{s}$ angegeben wird und die Sekunde durch $\Delta\nu$ definiert ist.

Diese Definition gibt e den Wert $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\,\text{A}\,\text{s}$. Löst man diese Beziehung nach der Einheit A auf, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} 1\,\text{A} &= \left(\frac{e}{1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}} \right) \text{s}^{-1} \\ &= \frac{1}{(9\,192\,631\,770)(1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19})} e\,\Delta\nu \approx 6,789\,687 \cdot 10^8 e\,\Delta\nu \end{aligned}$$

Das heißt, ein Ampere entspricht dem Stromfluss von $1/(1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19})$ Elementarladungen (Elektronen) pro Sekunde.

Das Kelvin (Symbol K) ist die SI-Einheit der thermodynamischen Temperatur. Es wird definiert durch die Boltzmann-Konstante k . Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ festgelegt, wenn sie in der Einheit J K^{-1} bzw. $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$ angegeben wird und das Kilogramm, der Meter und die Sekunde durch h , c und $\Delta\nu$ definiert sind.

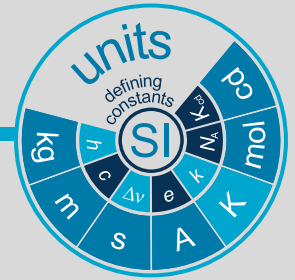
Kelvin

Diese Definition gibt k den Wert $1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Löst man diese Beziehung nach der Einheit K auf, so ergibt sich:

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

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

Das heißt, ein Kelvin entspricht einer Änderung der thermodynamischen Temperatur, die mit einer Änderung der thermischen Energie (kT) um $1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ J}$ einhergeht.



Das Mol, Symbol mol, ist die SI-Einheit der Stoffmenge. Ein Mol enthält genau $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ Einzelteilchen. Diese Zahl ist der festgelegte numerische Wert der Avogadrokonstante N_A , ausgedrückt in der Einheit mol^{-1} , und wird als Avogadrozahl bezeichnet.

Mol

Die Stoffmenge, Symbol n , eines Systems ist ein Maß für eine Anzahl spezifizierter Einzelteilchen. Dies kann ein Atom, Molekül, Ion, Elektron sowie ein anderes Teilchen oder eine Gruppe solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein.

Diese Definition gibt N_A den Wert $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Löst man diese Beziehung nach der Einheit mol auf, so ergibt sich:

$$1 \text{ mol} = \frac{6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}}{N_A}$$

Das heißt, ein Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ eines bestimmten Einzelteilchens enthält.



Die Candela (Symbol cd) ist die SI-Einheit der Lichtstärke in einer bestimmten Raumrichtung. Sie wird definiert durch die Konstante K_{cd} , das photometrische Strahlungsäquivalent einer monochromatischen Strahlung von $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$. Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf 683 festgelegt, wenn sie in der Einheit lm W^{-1} bzw. cd sr W^{-1} oder $\text{cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$ angegeben wird und das Kilogramm, der Meter und die Sekunde durch h , c und $\Delta\nu$ definiert sind.

Candela

Diese Definition gibt K_{cd} den Wert $683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$. Löst man diese Beziehung nach der Einheit cd auf, so ergibt sich:

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

$$= \frac{1}{(6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34})(9\,192\,631\,770)^2 \cdot 683} (\Delta\nu)^2 h K_{cd} \approx 2,614\,830 \cdot 10^{10} (\Delta\nu)^2 h K_{cd}$$

Das heißt, eine Candela ist die Lichtstärke (in eine bestimmte Raumrichtung) einer Strahlquelle, die mit einer Frequenz von $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ emittiert und die eine Strahlungsintensität in dieser Richtung von $1/683 \text{ W sr}^{-1} \text{ hat}^*$.



Anmerkung: Die Definitionen für die Sekunde, den Meter und die Candela entsprechen inhaltlich den bisher gültigen Definitionen für diese drei Einheiten (Sekunde: 1967/1968, Meter: 1983, Candela: 1979). Allerdings sind diese Definitionen in ihrer Formulierung den neuen Definitionen für das Kilogramm, das Ampere, das Mol und das Kelvin angepasst.

* Der Steradian (sr) ist eine Maßeinheit für den Raumwinkel. Auf einer Kugel mit 1 m Radius umschließt ein Steradian eine Fläche von 1 m^2 auf der Kugeloberfläche.