

Tag der Metrologie

seit 2000 jeweils am 20. Mai

DL5VU

10. Mai 2019

- Längeneinheit außerhalb des Internationalen Einheitensystems

- Längeneinheit außerhalb des Internationalen Einheitensystems
- ursprünglich von der Länge eines Unterarmes abgeleitet

- Längeneinheit außerhalb des Internationalen Einheitensystems
- ursprünglich von der Länge eines Unterarmes abgeleitet
- eines der ältesten Naturmaße

- Längenmaßeinheit außerhalb des Internationalen Einheitensystems
- ursprünglich von der Länge eines Unterarmes abgeleitet
- eines der ältesten Naturmaße
- besonders unter Schneidern verbreitet gewesen

- Längenmaßeinheit außerhalb des Internationalen Einheitensystems
- ursprünglich von der Länge eines Unterarmes abgeleitet
- eines der ältesten Naturmaße
- besonders untern Schneidern verbreitet gewesen
- viele verschiedene Ellenmaße

- Längeneinheit außerhalb des Internationalen Einheitensystems
- ursprünglich von der Länge eines Unterarmes abgeleitet
- eines der ältesten Naturmaße
- besonders unter Schneidern verbreitet gewesen
- viele verschiedene Ellenmaße
 - geringe Elle; Ägypten; 0,45 m

- Längeneinheit außerhalb des Internationalen Einheitensystems
- ursprünglich von der Länge eines Unterarmes abgeleitet
- eines der ältesten Naturmaße
- besonders unter Schneidern verbreitet gewesen
- viele verschiedene Ellenmaße
 - geringe Elle; Ägypten; 0,45 m
 - Cana (Doppelelle); Mallorca, 1,713 m

Nippur-Elle

erste Hälfte des 3. Jahrtausends v. Chr





Duderstädter Elle

am Rathaus Duderstadt, Niedersachsen angebrachte Elle



Rheinische Elle und Rheinischer Fuß

öffentliches Maß am alten Rathaus Mannheim (1711)



Preußische Elle und Preußisches Fuß

am Rathaus von Bad Langensalza, Thüringen



Heinrich I. (1068 - 1135)

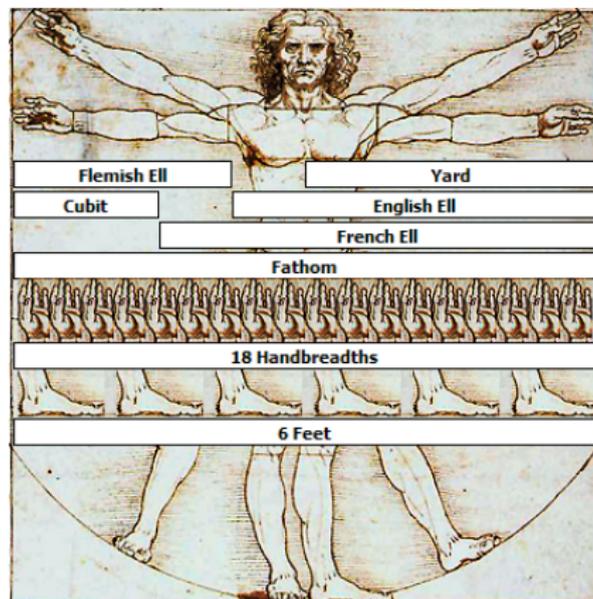
Yard und Inch (Zoll)



- $1 \text{ yd} = 0,9144 \text{ m}$
- $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$

Vitruvianischer Mensch

Darstellung verschiedener historischer Maßeinheiten



Maßverkörperung

Öffentlich zugängliche Etalons verschiedener Länge an der Außenwand des Royal Greenwich Observatory



- 26. März 1791: Auf Vorschlag der Pariser Akademie der Wissenschaften wird die Einführung einer universellen Längeneinheit beschlossen

- 26. März 1791: Auf Vorschlag der Pariser Akademie der Wissenschaften wird die Einführung einer universellen Längeneinheit beschlossen
- 1792 - 1799: Meridianexpedition - Vermessung der Breitengrade zwischen Dünkirchen und Barcelona von Delambre, Méchain und Tranchot

- 26. März 1791: Auf Vorschlag der Pariser Akademie der Wissenschaften wird die Einführung einer universellen Längeneinheit beschlossen
- 1792 - 1799: Meridianexpedition - Vermessung der Breitengrade zwischen Dünkirchen und Barcelona von Delambre, Méchain und Tranchot
- 1. August 1793: Längenmaß wird Meter genannt und provisorisch eingeführt

- 26. März 1791: Auf Vorschlag der Pariser Akademie der Wissenschaften wird die Einführung einer universellen Längeneinheit beschlossen
- 1792 - 1799: Meridianexpedition - Vermessung der Breitengrade zwischen Dünkirchen und Barcelona von Delambre, Méchain und Tranchot
- 1. August 1793: Längenmaß wird Meter genannt und provisorisch eingeführt
- 1795: Herstellung des ersten Urmeters (Prototyp) aus Messing

- 26. März 1791: Auf Vorschlag der Pariser Akademie der Wissenschaften wird die die Einführung einer universellen Längeneinheit beschlossen
- 1792 - 1799: Meridianexpedition - Vermessung der Breitengrade zwischen Dünkirchen und Barcelona von Delambre, Méchain und Tranchot
- 1. August 1793: Längenmaß wird Meter genannt und provisorisch eingeführt
- 1795: Herstellung des ersten Urmeters (Prototyp) aus Messing
- 1799: ein zweites sogenanntes definitives Urmeter als Endmaß wird aus Platin hergestellt

- 26. März 1791: Auf Vorschlag der Pariser Akademie der Wissenschaften wird die die Einführung einer universellen Längeneinheit beschlossen
- 1792 - 1799: Meridianexpedition - Vermessung der Breitengrade zwischen Dünkirchen und Barcelona von Delambre, Méchain und Tranchot
- 1. August 1793: Längenmaß wird Meter genannt und provisorisch eingeführt
- 1795: Herstellung des ersten Urmeters (Prototyp) aus Messing
- 1799: ein zweites sogenanntes definitives Urmeter als Endmaß wird aus Platin hergestellt
- **20. Mai 1875:** Übernahme des zweiten Urmeters als Maßeinheit wird in der „internationalen Meterkonvention“ von siebzehn Staaten beschlossen

Delambre und Méchain

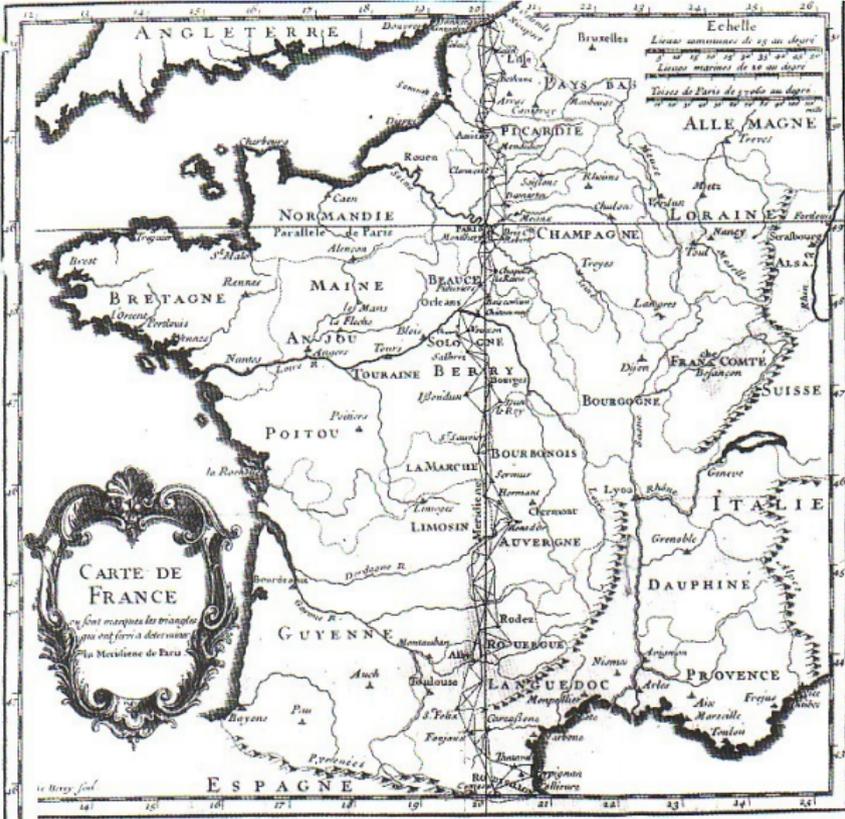


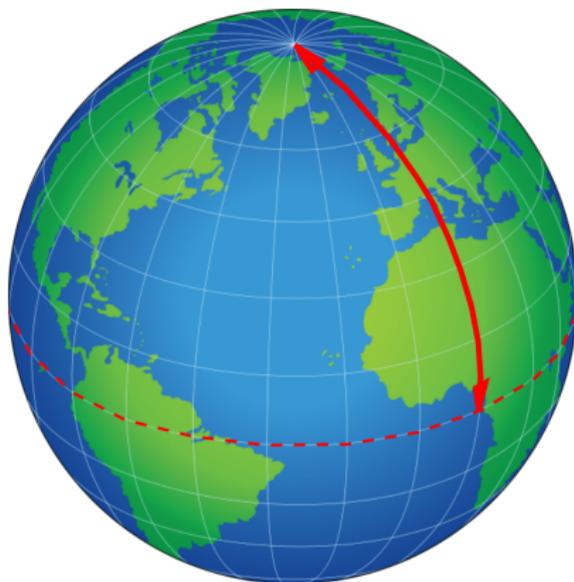
Jean-Baptiste Joseph Delambre



Pierre-François-André Méchain

Meridian expedition





1799: Ein Meter ist der zehnmillionste Teil des Erdquadranten auf dem Meridian von Paris (also der zehnmillionste Teil der Entfernung vom Nordpol über Paris zum Äquator)

Urmeter

Kopie Nr. 27 von 1889 für die Vereinigten Staaten



- 1799: Ein Meter ist der zehnmillionste Teil des Erdquadranten auf dem Meridian von Paris (also der zehnmillionste Teil der Entfernung vom Nordpol über Paris zum Äquator)

- 1799: Ein Meter ist der zehnmillionste Teil des Erdquadranten auf dem Meridian von Paris (also der zehnmillionste Teil der Entfernung vom Nordpol über Paris zum Äquator)
- 1889: Ein Meter ist der Abstand der Mittelstriche zweier Strichgruppen auf dem auf einer konstanten Temperatur von 0 Grad Celsius gehaltenen Urmeter-Stab

- 1799: Ein Meter ist der zehnmillionste Teil des Erdquadranten auf dem Meridian von Paris (also der zehnmillionste Teil der Entfernung vom Nordpol über Paris zum Äquator)
- 1889: Ein Meter ist der Abstand der Mittelstriche zweier Strichgruppen auf dem auf einer konstanten Temperatur von 0 Grad Celsius gehaltenen Urmeter-Stab
- 1960: Ein Meter ist das 1 650 763,73-Fache der Wellenlänge der von Atomen des Nuklids ^{86}Kr beim Übergang vom Zustand $5d\ 5$ zum Zustand $2p\ 10$ ausgesandten, sich im Vakuum ausbreitenden Strahlung

- 1799: Ein Meter ist der zehnmillionste Teil des Erdquadranten auf dem Meridian von Paris (also der zehnmillionste Teil der Entfernung vom Nordpol über Paris zum Äquator)
- 1889: Ein Meter ist der Abstand der Mittelstriche zweier Strichgruppen auf dem auf einer konstanten Temperatur von 0 Grad Celsius gehaltenen Urmeter-Stab
- 1960: Ein Meter ist das 1 650 763,73-Fache der Wellenlänge der von Atomen des Nuklids ^{86}Kr beim Übergang vom Zustand $5d\ 5$ zum Zustand $2p\ 10$ ausgesandten, sich im Vakuum ausbreitenden Strahlung
- 1983 (bis heute aktuell): Ein Meter ist diejenige Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $(1/299\ 792\ 458)$ Sekunden durchläuft

Überblick: SI-Basisgrößen und -einheiten

Basisgröße		SI-Basiseinheit		Dimensionssymbol
Name	Formelzeichen	Name	Zeichen	
Länge	l	Meter	m	L
Masse	m	Kilogramm	kg	M
Zeit	t	Sekunde	s	T
Stromstärke	I	Ampere	A	I
Temperatur	T	Kelvin	K	Θ
Stoffmenge	N	Mol	mol	N
Lichtstärke	I_V	Candela	cd	J

- 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 (s)

$$1 \text{ s} = 9\,192\,631\,770/\Delta\nu$$

Meter (m)

$$1 \text{ m} = (c/299\,792\,458) \text{ s} = 30,663\,318\dots c/\Delta\nu$$

Kilogramm (kg)

$$1 \text{ kg} = (h/6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}) \text{ m}^{-2} \text{ s} = 1,475\,521\dots \cdot 10^{40} h \Delta\nu/c^2$$

Ampere (A)

$$1 \text{ A} = e/(1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}) \text{ s}^{-1} = 6,789\,686\dots \cdot 10^8 \Delta\nu e$$

Kelvin (K)

$$1 \text{ K} = (1,380\,649 \cdot 10^{-23}/k) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = 2,266\,665\dots \Delta\nu h/k$$

Mol (mol)

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

Candela (cd)

$$1 \text{ cd} = (K_{\text{cd}}/683) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1} = 2,614\,830\dots \cdot 10^{10} (\Delta\nu)^2 h K_{\text{cd}}$$

Ab 20. Mai 2019 treten für folgende Maßeinheiten neue Definitionen in Kraft:

- Kilogramm
- Ampere
- Kelvin
- Mol

Damit können erstmals alle sieben Basiseinheiten auf fundamentale physikalische Konstanten (Naturkonstanten) zurückgeführt werden.

Sekunde

gültig seit 1967

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 Hyperfeinstruktur-niveaus des ungestörten Grundzustands im ^{133}Cs -Atom entspricht.



Meter

gültig seit 1983

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 m s^{-1} angegeben wird und die Sekunde durch $\Delta\nu$ definiert ist.

Diese Definition gibt c den Wert $299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$. 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

Neudefinition ab 20. Mai 2019 gültig

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 J s bzw. $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ angegeben wird und die Sekunde und der Meter durch $\Delta\nu$ und c definiert sind.

Diese Definition gibt h den Wert $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-1}$. 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: $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$) 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

Neudefinition ab 20. Mai 2019 gültig

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. A s angegeben wird und die Sekunde durch $\Delta\nu$ definiert ist.

Diese Definition gibt e den Wert $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ A 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.



Kelvin

Neudefinition ab 20. Mai 2019 gültig

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.

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.



Mol

Neudefinition ab 20. Mai 2019 gültig

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.

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 $540 \cdot 10^{12}$ 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.

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:

$$1 \text{ cd} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1}$$
$$= \frac{1}{(6,26207015 \cdot 10^{-34})(9\,192\,631\,770)^2 \cdot 683} (\Delta\nu)^2 h K_{cd} \approx 2,614\,830 \cdot 10^{10} (\Delta\nu)^2 h K_{cd}$$

Das heißt, eine Candela ist die Lichtstärke (in eine bestimmte Raumrichtung) einer Strahlquelle, die mit einer Frequenz von $540 \cdot 10^{12}$ Hz emittiert und die eine Strahlungsintensität in dieser Richtung von $1/683 \text{ W sr}^{-1} \text{ hat}^2$.



Danke für eure Aufmerksamkeit!