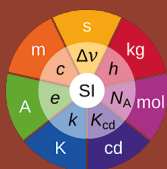
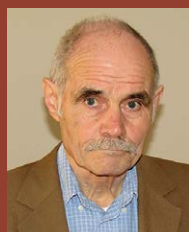


Historiske kopier af metriske standarder fra det hollandske Rijksmuseums samling i Amsterdam: Forrest ses en "jernmeter" med etui (konstrueret af Étienne Lenoir i 1799), og til højre ses et standard kobberkilogram med etui fra 1798. Til venstre ses flere kobbervolumenmål fra 1829. Foto: CC BY 4.0



HVOR LANG ER EN METER?

I dag giver det ikke længere mening at måle, hvor lang en meter i virkeligheden er. Hvorfor det er tilfældet, får du den videnskabshistoriske forklaring på i denne artikel, som er den første i en serie om de syv fundamentale enheder, der indgår i det metriske system også kaldet SI-systemet.



Forfatteren
Helge Kragh er videnskabshistoriker og professor emeritus ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Han har læst fysik og kemi på Københavns Universitet og er dr. phil. fra Aarhus Universitet, samt dr. scient. fra Roskilde Universitet. Hans nuværende interesse er det historiske forhold mellem fiktionslitteratur og naturvidenskab. helge.kragh@nbi.ku.dk

I 1676 viste Ole Rømer, at lyset udbreder sig med en endelig hastighed af størrelsesordenen 230.000 km/s. Efter at være vendt hjem fra Paris blev han ansvarlig for et nyt enhedssystem for mål og vægt i det dansk-norske rige. I denne egenskab indførte han blandt andet en ny standard for længde ved hjælp af en "kaliberstok". Ud fra denne standard, der svarede til 1 alen (= 62,81 cm), kunne han kontrollere traditionelle længdemål som favn, alen og fod. Rømer kunne ikke have haft nogen anelse om, at de to størrelser – lysets hastighed og længdeen-

heden – engang ville blive intimt forbundet.

Det i dag accepterede enhedssystem, det metriske system eller

Enheder i det metriske system

Egenskab	navn	symbol
Længde	meter	m
Masse	kilogram	kg
Tid	sekund	s
Strømstyrke	ampere	A
Temperatur	kelvin	K
Stofmængde	mol	mol
Lysstyrke	candela	cd

SI-systemet (som står for *Système International d'Unités*), omfatter syv fundamentale enheder, hvoraf de tre er for egenskaber kendt på Rømers tid, nemlig længde, masse og tid (se tabel). Alle enhederne har deres egen indviklede historie, der så sent som 2019 førte til endnu en revision baseret på fundamentale naturkonstanter – altså fysiske størrelser, hvis numeriske værdi synes at være uforanderlig. Disse, som Plancks konstant h og den elektriske elementarladning e , er irreducibile i den forstand, at de ikke kan udledes fra andre konstanter eller i det hele taget forklares. Der

kan være lidt uenighed om, hvilke konstanter der hører til denne eksklusive gruppe, men de i tabellen nævnte er de alment accepterede. Bemærk, at Newtons gravitationskonstant G , den ældste af naturkonstanterne, ikke er tilknyttet det metriske system.

Definitionen på en meter

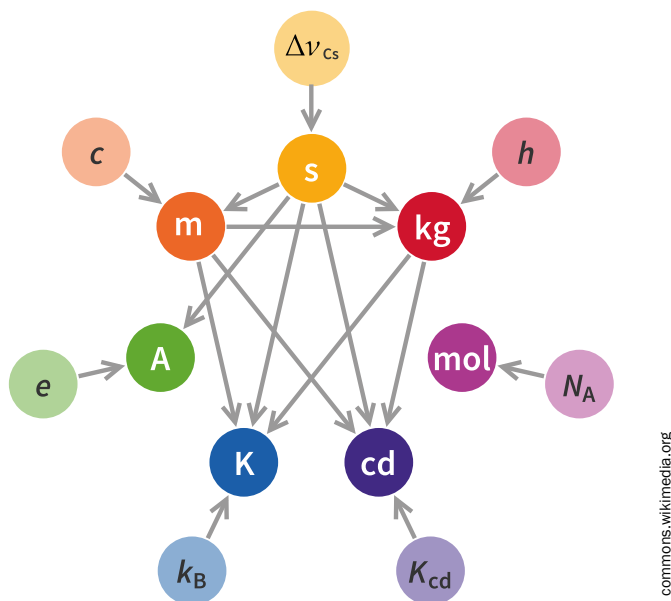
Længdeenheden meter stammer fra 1791, hvor det franske videnskabsakademi valgte Jordens uforanderlige overflade som basis, idet man definerede en meridianlinje på den (omtrent) kugleformede Jord til at være 40 millioner meter. Konventionen viste sig dog at være upraktisk og blev snart erstattet af en materiel prototype – dvs. en stang lavet af platin og senere af en platin-iridium legering.

Først i 1875 tilsluttede en række lande (herunder Danmark) sig den såkaldte Meterkonvention på dette grundlag. Den nævnte standard blev brugt helt op til 1960, da man af måletekniske grunde enedes om at basere enheden meter på spektroskopiske målinger. Mere præcist, en meter var nu et bestemt antal (1.650.763,73) bølgelængder af en emissionslinje i kryptonisotopen Kr-86. Den noget sære talværdi blev valgt af tekniske grunde og for at bibeholde kontinuiteten til den gamle meter.

Men det er ikke den nutidige definition, for i 1983 blev meteren fastlagt direkte ud fra en naturkonstant, nemlig lysets hastighed: En meter er længden af den afstand, som lys udbreder sig med i vakuum i løbet af $1/299.792.458$ af et sekund. Nævneren i det lille tal er netop lysets hastighed, sådan at naturkonstanten c direkte bestemmer længdeenheden meter. Hvad angår tidsenheden sekund blev tidligere astronomiske definitioner i 1967 erstattet af en atomfysisk definition, idet sekundet nu blev fastlagt ved frekvensen af en bestemt overgang mellem to kvantetilstande i et cæsium-133 atom. Ændringen fra 2019 vedrørte kun

Naturkonstanter

Navn	Tilnærmet værdi	Symbol
Plancks konstant	$6,26 \times 10^{-34} \text{ J s}$	h
Elektrisk elementarladning	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	e
Lysets hastighed	$2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$	c
Avogadros konstant	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	N_A
Boltzmanns konstant	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	k
Gravitationskonstant	$6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg/s}^2$	G



Det nye SI-system med angivelse af forbindelsen mellem måleenheder og naturkonstanter.

Internationalt samarbejde

Meterkonventionen blev underskrevet i 1875 og kan altså her i 2025 fejre sit 150 års jubilæum. Baggrunden for konventionen var et behov for et fælles målesystem, der kunne understøtte handel, videnskab og teknologisk udvikling på tværs af landegrænser. Danmark var blandt de første 17 lande til at underskrive Meterkonventionen – i dag (2025) er der 64 medlemsstater samt 37 associerede lande.

I kølvandet på underskrivelsen af aftalen i 1875 blev institutionen Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) oprettet med det formål at koordinere det internationale enhedssystem (SI) og sikre global sammenhæng i målinger. I Danmark har Danmarks Nationale Metrologiinstitut (DFM) ansvaret for at sikre nøjagtige og sporbare målinger (metrologi – ikke at forveksle med meteorologi! – er videnskaben om målinger og måleteknik). En af de fysiske meterstænger, der blev produceret i 1889, opbevares på DFM.

denne frekvens (kaldet $\Delta\nu_{\text{Cs}}$), idet denne blev omformet fra en målt til en defineret frekvens, nemlig præcist 9.192.631.770 svingninger per sekund. Som det hedder i en SI-brochure fra dette år:

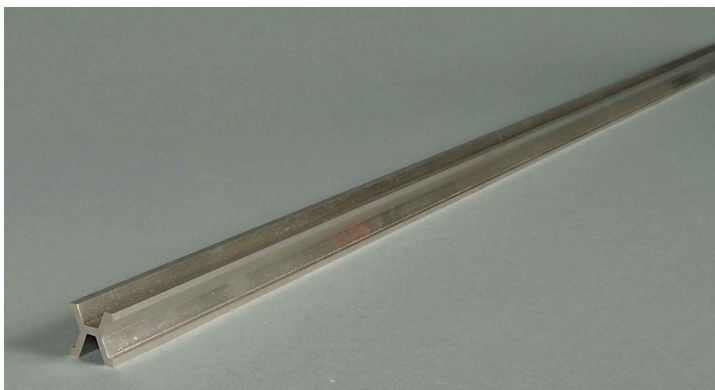
»Meteren ... defineres ved at tage den numeriske værdi af lysets hastighed i vakuum, c , til at være 299.792.458 udtrykt i enheden m/s, hvor sekundet er defineret ud fra cæsium-frekvensen $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ «

Litteratur

Petersen, K. (2002) Mål & Vægt i Danmark. København: Polyteknisk Forlag.

The International System of Units: www.bipm.org/en/publications/si-brochure/

Barrow, J.D. (2002) The Constants of Nature. London: Jonathan Cape.



I 1889 blev der fremstillet en række identiske prototyper af meterstandarden i en legering med 90 % platin og 10 % iridium, som blev sendt til forskellige lande, hvor de kunne tjene som nationale standarder. Billedet viser prototype no. 27, som blev sendt til USA, hvor den opbevares på National Institute of Standards and Technology.

Foto: NIST Research Library & Museum

Giver ikke længere mening at måle en meter

Tidligere var meteren en målelig størrelse, ligesom lyshastigheden var det, men det er altså ikke længere tilfældet. Al den stund lyshastigheden nu er en konventionelt fastlagt størrelse, har den frigjort sig fra målinger. Tidligere var værdien empirisk og derfor tilknyttet en eksperimentel usikkerhed Δc . Således var den bedste værdi i 1967 givet ved $c = 299.792,56 \pm 0,11$ km/s.

I dag er $\Delta c = 0$, ikke fordi målingerne er blevet mere præcise, men fordi der er tale om en definition. Noget tilsvarende gælder for meteren. Det giver ikke længere mening at måle, hvor lang en meter "virkelig" er. Situationen har givet anledning til en disput vedrørende visse kosmologiske modeller, der antager en voldsom ændring af lyshastigheden i det tidlige univers. For hvis c er fastlagt per definition, hvordan kan den så ændre sig?

Der er naturligvis mange andre længdeenheder end den SI-sanktionerede meter. Tilbage i 1899 foreslog Max Planck et system af enheder, der "for alle tider og alle kulturer beholder deres mening, selv for livsformer der er ikke-menneskelige og uden for Jorden". Disse såkaldte Planck-enheder er direkte givet ved naturkonstanterne c , h , G og k , sådan som tilfældet er med Planck-længden:

$$\sqrt{Gh/c^3} = \text{ca. } 4 \times 10^{-35} \text{ m}$$

Der er tilsvarende Planck-enheder for masse, tid og temperatur. Det siger sig selv, at den hysterisk lille Planck-længde ikke er af interesse i sammenhænge, hvor man praktisk skal måle noget. Derimod spiller den en rolle i kosmologi og i teorier for kvantegravitation, der opfatter rummet selv som værende diskret og ikke kontinuert. Ifølge disse noget esoteriske teorier består det tomme rum af minimale "atomer" med en længdedimension svarende til Planck-længden. ■

Synet af en syg kan øge din immunaktivitet

Ifølge et studium for nyligt publiceret af i *Nature Neuroscience*, kan bare det at se på en syg person være nok til, at din krop bliver sat i beredskab til at bekæmpe en infektion. Det humane immunsystem sætter sin lid til både "bottom-up" beskyttelsesmekanismer – for eksempel hvide blodlegemer (lymfocytter), der kaster sig over de indtrængende skadevoldere – og top-down signalering fra hjernen, som øger kroppens respons. Men hvordan og hvornår hjernen iscenesætter denne respons efter at have opfattet en trussel, er et spørgsmål, forskere stadig tumler med.



Foto: Shutterstock.

For at studere fænomenet har et team af forskere fra Schweiz i samarbejde med internationale kolleger udstyret 248 raske mennesker med virtual reality headsets og vist dem en serie af virtuelle ansigter, der kom nærmere og nærmere. Nogle af disse ansigter viste åbenlyse tegn på sygdom såsom udslæt

eller hoste, mens andre som kontrol enten var neutrale eller virkede truende.

Det viste sig, at hos forsøgspersoner, som så syge ansigter, var der en større aktivering af lymfocytter (som ILC- og NK-celler), der fungerer som første respons i kroppens forsvar, i blodet indenfor to timer efter at have set det første ansigt. Forskerne så en tilsvarende øget aktivering af samme type immunceller i blodet efter to timer hos personer, der havde fået en vaccine.

Forskerne prøver nu at gentage deres resultater i en større gruppe forsøgspersoner, hvor de vil monitorere opførslen af andre dele af immunsystemet.

CRK, Kilder: *Science* og *Nature Neuroscience*, doi.org/10.1038/s41593-025-02008-y