



VSL  
Beyond all doubt

Dutch  
Metrology  
Institute

## Revisie van het SI-stelsel

Op 10 december 1799 voerde Frankrijk als eerste land het SI-stelsel in. De in dit stelsel gebruikte basiseenheden zoals de meter en de kilogram waren gebaseerd op unieke tastbare voorwerpen, de seconde was gedefinieerd als een 86 400e deel van een zonnedag, terwijl de ampère weer was afgeleid via de kilogram. Deze definities hebben een aantal nadelen. Zo is de zonnedag niet constant en heeft de ampère een grotere onzekerheid, omdat hij via een andere eenheid is vastgelegd. Verder zullen de tastbare voorwerpen in de loop der tijd veranderen en zijn ze niet voor iedereen, overall en altijd beschikbaar. De internationale kilogram komt bijvoorbeeld maar eens in de 30 jaar uit zijn kluis. Daarom wordt momenteel een revisie van het SI voorbereid.

Voor een aantal eenheden zoals de meter en de seconde zijn een aantal jaren geleden de

definities al aangepast. Zo is de meter nu gedefinieerd via de lichtsnelheid, een natuurconstante. Dat betekent dat iedereen overall en altijd zijn eigen meter kan realiseren. Daarmee is aan de eerste twee eisen voor een goede realisatie van een eenheid voldaan: reproduceerbaar en constant in de tijd. De derde eis is dat een vergelijking van een object met die eenheid goed uitvoerbaar moet zijn. Voor de meter is dit relatief eenvoudig met behulp van commercieel verkrijgbare lasers.

Het doel is om alle eenheden vast te leggen met behulp van natuurconstanten. De bottleneck hierbij is de kilogram, die nu nog gedefinieerd is als de massa van de internationale kilogram in Parijs. Sinds de jaren '90 weet men zeker dat de massa van dit object niet zo stabiel is als men lang geleden hoopte. Er wordt dan ook al ruim 20 jaar hard gewerkt aan een herdefinitie, maar dat blijkt

niet zo eenvoudig te zijn. Er zijn twee manieren om de kilogram te realiseren. De eerste maakt gebruik van elektrische metingen om daarmee een relatie te leggen tussen de kilogram en de constante van Planck. Bij de andere methode wordt een bol van zeer zuiver silicium gemaakt. Door hiervan allerlei fysische eigenschappen te meten, kan het getal van Avogadro worden bepaald. Tussen deze twee natuurconstanten, die van Planck en het getal van Avogadro, is een verband, waardoor de resultaten van beide methoden met elkaar kunnen worden vergeleken.

Tot nu toe verschillen de resultaten nog te veel van elkaar, ongeveer 0,3 mg per kilogram. Dit lijkt misschien niet veel, maar voor een primaire standaard is het te veel, omdat de vereiste meetonzekerheid 0,04 mg per kilogram is. Daar komt bij dat het dermate ingewikkelde en kostbare metingen zijn, dat

er slechts enkele meetopstellingen voor de 'nieuwe' kilogram op de wereld zullen staan. Deze zullen typisch eens in de 5 tot 10 jaar gebruikt worden. Voor de tussenliggende jaren zal er een *mise en pratique* nodig zijn en die is op dit moment nog niet uitgekristalliseerd.

Kortom, metrologen hebben er voorlopig voldoende werk aan. Er moet natuurlijk nu al wel vast worden nagedacht over hoe het nieuwe SI-stelsel er uit zou kunnen zien en wat de gevolgen zijn. Een voorbeeld van een nieuwe definitie zou kunnen zijn:

*de meter, symbool m, is de eenheid van lengte; de grootte ervan wordt bepaald door de numerieke waarde van de snelheid van licht in vacuüm exact vast te stellen op 299 792 458, uitgedrukt in de SI-eenheid m.s<sup>-1</sup>.*

De nieuwe definities van de andere eenheden zouden er dan vergelijkbaar uitzien, waardoor het SI-stelsel veel uniformer wordt dan het nu is. Deze manier van vastleggen is fundamenteel anders dan we gewend zijn. Tot nu toe werden natuurconstanten bepaald door ze te meten met behulp van de definities van de eenheden. Dat zal met het nieuwe SI-stelsel precies omgekeerd zijn. De constanten liggen dan voor eens en voor altijd vast.

De gevolgen hiervan voor het dagelijks leven zullen overigens minimaal zijn: niemand gaat meer of minder wegen en weegschalen zullen nog steeds met tastbare massastukken gecontroleerd moeten worden. Voor metrologen bij de nationale meetinstituten gaan er wel zaken veranderen. Zo zullen de onzekerheden voor massametingen op het hoogste niveau toenemen,

maar kunnen voor elektrische metingen juist veel lagere onzekerheden worden bereikt.

De grote vraag is wanneer we deze veranderingen kunnen verwachten. Beslissingen omtrent het SI-stelsel mogen alleen genomen worden door de Conférence Générale des Poids et Mesures die eens in de vier jaar bij elkaar komt. Dit betekent dat een definitief besluit niet voor 2015 te verwachten is.



Bron:PTB/Stork

# Het internationale SI-eenhedenstelsel

In Nederland beheert en ontwikkelt VSL ([www.vsl.nl](http://www.vsl.nl)) in opdracht van de Nederlandse overheid dé meetstandaarden.

De zeven SI-basiseenheden zijn:

eenheid:	meter	eenheid:	kilogram	eenheid:	seconde	eenheid:	ampère	eenheid:	kelvin	eenheid:	mol	eenheid:	candela
symbool:	m	symbool:	kg	symbool:	s	symbool:	A	symbool:	K	symbool:	mol	symbool:	cd
grootheid:	lengte	grootheid:	massa	grootheid:	tijd	grootheid:	elektrische stroom	grootheid:	thermodynamische temperatuur	grootheid:	hoeveelheid stof	grootheid:	lichtsterkte
symbool:	<i>l</i>	symbool:	<i>m</i>	symbool:	<i>t</i>	symbool:	<i>I</i>	symbool:	<i>T</i>	symbool:	<i>n</i>	symbool:	<i>I<sub>v</sub></i>
<b>definitie</b>	De eenheid van lengte is gelijk aan de lengte die het licht in vacuüm aflegt in een tijdsinterval van 1/299 792 458 seconde (17th CGPM (1983) Resolution 1, CR 97).	<b>definitie</b>	De eenheid van massa is gelijk aan de massa van het internationale prototype van de kilogram, een cilinder van platina-iridium, bewaard in het Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), te Sèvres, Parijs (3rd CGPM (1901), CR 70).	<b>definitie</b>	De eenheid van tijd is de duur van precies 9 192 631 770 perioden van de straling die overeenkomt met de overgang tussen twee hyperfijne energieniveaus van de grondtoestand van het cesium-133 atoom (13th CGPM (1967-1968) Resolution 1, CR 103).	<b>definitie</b>	De eenheid van elektrische stroom is die constante stroom die, indien gehandhaafd in twee rechte parallelle geleiders van oneindige lengte en verwaarloosbare doorsnede, op 1 meter afstand van elkaar in vacuüm, een kracht tussen deze twee geleiders veroorzaakt gelijk aan $2 \times 10^{-7}$ newton per meter lengte (9th CGPM (1948) Resolution 7, CR 70).	<b>definitie</b>	De eenheid van temperatuur is 1/273,16 (exact) deel van de temperatuur van het tripelpunt van water (13th CGPM (1967) Resolution 4, CR 104).	<b>definitie</b>	De eenheid van hoeveelheid stof is het aantal elementaire eenheden dat gelijk is aan het aantal atomen in 0,012 kilogram zuiver koolstof-12. Waar mol gebruikt wordt dient de aard van de elementaire eenheden aangegeven te worden, dit kan zijn atomen, moleculen, ionen, elektronen, andere deeltjes, of gedefinieerde groepen van zulke deeltjes (14th CGPM (1971) Resolution 3, CR 78).	<b>definitie</b>	De eenheid van lichtsterkte is gelijk aan de lichtintensiteit in een bepaalde richting uitgestraald door een bron die monochromatische straling uitzendt bij een frequentie van $540 \times 10^{12}$ hertz en die een stralingsintensiteit heeft in die richting van 1/683 watt per steradiaal (16th CGPM (1979) Resolution 3, CR 100).
	Dit getal is exact. Hierdoor is de lichtsnelheid in vacuüm exact gedefinieerd als $c_0 = 299\,792\,458$ m/s.		De kilogram is de enige basiseenheid met een SI-prefix. De gram is derhalve een afgeleide eenheid. De kilogram is ook de enige eenheid die is gedefinieerd als een prototype in plaats van als meting van een natuurlijk fenomeen.		In deze definitie wordt uitgegaan van een cesium-133 atoom in rust bij een temperatuur van 0 K (toegevoegd door CIPM in 1997).		In deze definitie wordt uitgegaan van water van exact de volgende isotopische samenstelling: 0,000 155 76 mol <sup>2</sup> H per mol <sup>1</sup> H, 0,000 379 9 mol <sup>17</sup> O per mol <sup>16</sup> O, en 0,002 005 2 mol <sup>18</sup> O per mol <sup>16</sup> O (toegevoegd door CIPM in 2005).		In deze definitie wordt uitgegaan van ongebonden koolstof-12-atomen in rust en in de grondtoestand (toegevoegd door CIPM in 1980). De mol is ongeveer gelijk aan $6,022\,141\,99 \times 10^{23}$ eenheden.		Simpeler gezegd, een candela is ongeveer het licht van 1 kaars. (Candela is het Latijnse woord voor kaars) en dus wordt deze benadering ook wel eens gebruikt om de eenheid uit te leggen.		

Het eenhedenstelsel SI (afkomstig van *Système International d'Unités*) definieert zeven SI-basiseenheden. Dit zijn fundamentele eenheden voor natuurkundige grootheden, die door de algemene conferentie voor maten en gewichten (*Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM)) is aangenomen en aanbevolen. Alle andere SI-eenheden kunnen worden afgeleid van deze basiseenheden.



**VSL** is het nationale metrologisch instituut van Nederland.

Goed en betrouwbaar meten is de kernactiviteit van VSL. Wij leveren voor bedrijfsleven en overheden directe herleidbaarheid van meetresultaten naar internationaal geaccepteerde meetstandaarden.

Als bedrijf richt VSL zich op het leveren van kalibratie en referentiematerialen, het verrichten van onderzoek, het ontwikkelen van nieuwe meetstandaarden en het verzorgen van consultancy, gericht op metrologie. De kenmerken van VSL zijn:

- wereldwijd toonaangevend meetinstituut
- hightech laboratoria
- snijvlak van wetenschap en industrie
- onafhankelijk en betrouwbaar

## Dienstverlening VSL

### Kalibratie & Referentiematerialen

Via een kalibratie van VSL wordt uw meetapparatuur herleidbaar gemaakt naar een nationale meetstandaard. Door uw apparatuur bij VSL te laten kalibreren of karakteriseren maakt u de weg tussen de nationale standaard en uw apparatuur zo kort mogelijk, hetgeen zorgt voor een lagere meetonzekerheid. VSL zit in het hart van de internationale metrologische infrastructuur: onze certificaten worden breed erkend via het CIPM Mutual Recognition Agreement (MRA). VSL kan ook herleidbaarheid leveren via referentiematerialen.

### Consultancy

Heeft u de juiste expertise niet in huis, of heeft u behoefte aan het oordeel van een deskundige onafhankelijke partij? VSL helpt uw problemen helder te krijgen, en deze te vertalen in metrologische oplossingen. VSL adviseert ook overheden

bij het opstellen van beleid gebaseerd op betrouwbare en onafhankelijke informatie, of bij het realiseren van nieuwe standaarden voor opkomende thema's waar eenduidigheid en continuïteit vereist zijn.

### Interlaboratoriumvergelijkingen

Laboratoria steken veel tijd in interne controles van instrumenten, procedures en vaardigheden. Het is echter ook belangrijk meetwaarden regelmatig met die van andere laboratoria te vergelijken. Deelname aan interlaboratoriumvergelijkingen is een voorwaarde voor de accreditatie van een laboratorium, maar het is vooral een investering in betrouwbaarheid, bedrijfszekerheid en zelfvertrouwen van medewerkers. VSL biedt een breed aanbod van ringonderzoeken en proficiency tests. Praktisch, deskundig en betrouwbaar.

### Cursussen en trainingen

Ontwikkelingen op het gebied van technologie, wetgeving en (meet)standaarden volgen elkaar in snel tempo op. Het is daarvoor belangrijk dat uw medewerkers blijven. VSL biedt hiervoor een uitgebreid pakket aan cursussen en trainingen op het gebied van metrologie. Dit aanbod is gericht op het verwerven van kennis en het verkrijgen van inzicht. Praktische oefeningen om vaardigheden te trainen en nieuwe inzichten toe te passen vormen een belangrijk onderdeel van elke cursus.

## Meer informatie: [www.vsl.nl](http://www.vsl.nl)

Op [www.rva.nl](http://www.rva.nl) leest u meer over onze ISO 17025 accreditatiescope en op [www.bipm.org](http://www.bipm.org) vindt u alles over onze calibration & measurement capabilities (CMC).



## VSL Technologieën

**Chemie** Levering van Primaire Referentie Gasmengsels. Kalibratie van gasmonitoren. Analyse van gasmengsels van derden.

**Druk** Kalibratie en justering van drukmeters en drukbalansen.

**Elektriciteit** Kalibratie van elektrische apparatuur over een breed frequentiegebied en meetbereik. Leveren van advies, met name op het gebied van vermogen en energie.

**Ioniserende straling** Kalibratie van dosimetrie-apparatuur, stralingsniveau- en contaminatiemonitoren en putonisatiekamers. Kalibraties en dosimetrie-audits van stralingsbundels op locatie.

**Lengte** Kalibraties op het gebied van dimensionale meettechniek: lengte, diameter, vorm of hoek, van meer dan een meter tot op nanometerniveau, in 1D, 2D of 3D.

**Massa** Kalibratie en justering van massastukken van klasse M1 tot en met klasse E1.

**Optica** Kalibraties van lichtbronnen, lichtmeetsystemen en optische materialen. Daarnaast ook verschillende diensten voor LED-gebaseerde producten.

**Stroming** Kalibraties van luchtsnelheidsmeter en stromingsmeters voor gas en vloeistof. Daarnaast kalibratie en evaluatie van complete meetinstallaties op locatie.

**Tijd en frequentie** Kalibraties van oscilloscopen, stopwatches, counters en frequentiegeneratoren. Levering van tijdsynchronisatie via een Time service Bulletin.

### Temperatuur en vocht

Kalibraties op het gebied van temperatuur en luchtvochtigheid. Daarnaast ook speciale meetopdrachten, zoals het karakteriseren van (geavanceerde) meetsystemen.

### Viscositeit

Levering van gecertificeerde referentiematerialen. Kalibratie van de viscositeit en dichtheid van vloeistofmonsters of bepaling van de constante van viscosimeters.

In de natuurwetenschappen is het vaak van belang de numerieke waarde van natuurkundige grootheden te bepalen. Dit gebeurt over het algemeen met behulp van meettechnieken. Hieronder volgt een overzicht van enkele vaak in de natuurkunde gebruikte grootheden. De bijbehorende eenheden zijn afgeleid van de zeven SI-basiseenheden.

afgeleide grootheid	afgeleide eenheid	symbool	uitgedrukt in andere eenheden
hoek	radiaal	rad	1
ruimtehoek	sterdiaal	sr	1
elektrische lading	coulomb	C	A·s
frequentie	hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
katalytische activiteit	katal	kat	mol·s <sup>-1</sup>
geabsorbeerde radioactieve dosis	gray	Gy	J·kg <sup>-1</sup>
radioactieve-dosisequivalent	sievert	Sv	J·kg <sup>-1</sup>
verlichtingssterkte	lux	lx	cd·sr·m <sup>-2</sup>
zelfinductie, wederzijdse inductie	henry	H	V·A <sup>-1</sup> ·s
kracht	newton	N	m·kg·s <sup>-2</sup>
energie, arbeid, warmte	joule	J	N·m
vermogen	watt	W	J·s <sup>-1</sup>
lichtstroom	lumen	lm	cd·sr
druk, mechanische spanning	pascal	Pa	N·m <sup>-2</sup>
magnetische fluxdichtheid, magnetische inductie	tesla	T	V·s·m <sup>-2</sup>
elektrische spanning, elektromotorische kracht	volt	V	W·A <sup>-1</sup>
magnetische flux	weber	Wb	V·s
weerstand	ohm	Ω	V·A <sup>-1</sup>
elektrische geleidbaarheid	siemens	S	A·V <sup>-1</sup>
elektrische capaciteit	farad	F	C·V <sup>-1</sup>

## SI-prefixen (vermenigvuldigingsfactoren)

10 <sup>n</sup>	voorvoegsel	symbool	naam
10 <sup>24</sup>	yotta	Y	quadriljoen
10 <sup>21</sup>	zetta	Z	triljard
10 <sup>18</sup>	exa	E	triljoen
10 <sup>15</sup>	peta	P	biljard
10 <sup>12</sup>	tera	T	biljoen
10 <sup>9</sup>	giga	G	miljard
10 <sup>6</sup>	mega	M	miljoen
10 <sup>3</sup>	kilo	k	duizend
10 <sup>2</sup>	hecto	h	honderd
10 <sup>1</sup>	deca	da	tien
10 <sup>-1</sup>	deci	d	tiende
10 <sup>-2</sup>	centi	c	honderdste
10 <sup>-3</sup>	milli	m	duizendste
10 <sup>-6</sup>	micro	μ	miljoenste
10 <sup>-9</sup>	nano	n	miljardste
10 <sup>-12</sup>	pico	p	biljoenste
10 <sup>-15</sup>	femto	f	biljardste
10 <sup>-18</sup>	atto	a	triljoenste
10 <sup>-21</sup>	zepto	z	triljardste
10 <sup>-24</sup>	yocto	y	quadriljoenste

In de landen van de Europese Unie is het gebruik van het SI als enig toegestane stelsel wettelijk verplicht.



UNESCO en IUPAC hebben besloten 2011 aan te wijzen als “Internationaal jaar van de Chemie” (IYC 2011) om daarmee wereldwijd stil te staan bij de prestaties van de chemie en de bijdragen van de chemie aan het welzijn van de mens. Metrologie in de chemie is betrekkelijk jong maar al een aantal jaren de sterkst groeiende technologie in veel nationale meet-instituten.

## Gasanalyse

Chemische metingen zijn belangrijk in ons dagelijks leven met toepassingen variërend van voedsel tot milieu en van gezondheid tot energie, in zowel vaste stoffen, vloeistoffen en gassen. VSL is al meer dan 25 jaar actief in gasanalyse en levert wereldwijd zeer nauwkeurige primaire referentie gasmengsels als internationaal geaccepteerde referentiematerialen.

Gasanalyse is de meting van de samenstelling van een gasmengsel en/of de zuiverheid van het gas. Om nauwkeurig de samenstelling te kunnen meten worden kalibratiegassen gebruikt. Bereiding van een kalibratiegas bestaat uit het vullen van een schone fles met bekende, afgewogen hoeveelheden zuivere gassen. De concentratie van de gascomponenten in het mengsel wordt uitgedrukt in de eenheid ‘hoeveelheid stof’ (mol) en wordt gerealiseerd door het omzetten van de massa van het ingebrachte gas in mol. Kalibratiegassen spelen ondermeer een belangrijke rol in de handel van aardgas waarbij de calorische waarde (‘energie-inhoud’) wordt berekend uit de samenstelling van het gas.

## Ademanalyse

Meer dan 2000 jaar geleden wisten Griekse artsen al dat de geur van menselijke adem kan worden gebruikt voor medische diagnostiek. Een bekend voorbeeld is de zoete geur veroorzaakt door aceton in de adem van mensen met ongecontroleerde diabetes. Het moderne tijdperk van ademanalyse begon in 1971 met het werk van Nobelprijswinnaar Linus Pauling. Hij verzamelde het gas van 10 tot 15 uitademingen in een koude buis. Na verhitting van de buis werd het vrijgekomen gas geanalyseerd en zo'n 250 verschillende stoffen werden aangetoond. Accumulatie was nodig omdat de meeste moleculen aanwezig zijn op een niveau van slechts enkele deeltjes per miljard.

VSL heeft een gevoelige cavity ring-down (CRD) spectrometer ontwikkeld voor zuiverheidsanalyse van gassen, die ook geschikt is om zonder accumulatie de lage concentraties van gassen in adem te meten.

In een CRD meetsysteem is licht gevangen in een cel bestaande uit een paar hoog reflecterende spiegels. Een kleine hoeveelheid van het licht lekt door de spiegels wat resulteert in een afnemende intensiteit in de cel. Wanneer een adem sample aanwezig is in de cel dan neemt de lichtintensiteit sneller af bij de golflengten die worden geabsorbeerd door het gas. De gasconcentratie wordt berekend met behulp van de afvaltijd van het licht. De spectrometer maakt gebruik van een speciale lichtbron waardoor tientallen verschillende gassen kunnen worden gemeten, waarvan vele relevant zijn voor medische diagnostiek.

In samenwerking met de Nederlandse academische ziekenhuizen wordt de mogelijkheid onderzocht voor het opsporen van gassen die potentiële biomarkers zijn voor ziekten zoals taaislijmziekte. De laatste stap is om compacte instrumenten te ontwikkelen voor routineonderzoek in ziekenhuizen.

### VSL

Thijsseweg 11, 2629 JA Delft  
Postbus 654, 2600 AR Delft  
T +31 (0)15 269 15 00  
F +31 (0)15 261 29 71  
E [info@vsl.nl](mailto:info@vsl.nl)  
I [www.vsl.nl](http://www.vsl.nl)