

# Standaardeenheden – SI-stelsel

Het SI (système International) is de internationaal geaccepteerde vorm van het MKSA-stelsel (= meter, kilogram, seconde, ampère). De samenhang tussen de grootheden is gebaseerd op de fundamentele wetten van de fysica.

Het SI is o.m. vastgelegd in de volgende normen: ISO 31/0 en 31/I-XII, ISO 1000, ISO/DR 2337, NEN 999, NEN 1000, NEN 3049, NEN 3069, NEN 1225, NEN 1226.

De wet bepaalt dat in Nederland en de andere EG-landen alleen de tot het SI behorende eenheden en een beperkt aantal (per land vastgestelde) 'toegestane eenheden' mogen worden gebruikt.

Het SI omvat:

- zeven grondeenheden;
- afgeleide eenheden met een eigen naam;
- afgeleide, samengestelde eenheden;
- decimale veelvoud en delen van SI-eenheden;
- fundamentele natuurconstanten.

## Grondeenheden

basisgrootheid		grondeenheid	
naam	symbool	naam	symbool
lengte	<i>l</i>	meter	m
massa	<i>m</i>	kilogram	kg
tijd	<i>t</i>	seconde	s
elektrische stroom	<i>I</i>	ampère	A
temperatuur	<i>T</i>	kelvin	K
hoeveelheid stof	<i>n</i>	mol	mol
lichtsterkte	<i>I</i>	candela	cd

## Definities van de grondeenheden:

### **meter (m)**

De meter is de lengte gelijk aan 1.650.763,73 golflengten in het luchtledige van de straling overeenkomend tussen de niveaus  $2p_{10}$  en  $5d_5$  van het atoom krypton 86.

**kilogram (kg)**

Het kilogram is de eenheid van massa; het is gelijk aan de massa van het internationale prototype van het kilogram.

**seconde (s)**

De seconde is de tijdsduur van 9.192.631.770 perioden van de straling overeenkomend met de overgang tussen de twee hyperfijn niveaus van de grondtoestand van het atoom cesium 133.

**ampère (A)**

De ampère is de constante stroom die, indien hij wordt onderhouden in twee evenwijdige, rechtlijnige en oneindig lange geleiders van te verwaarlozen cirkelvormige doorsnede, welke geplaatst zijn in het luchtledige op een onderlinge afstand van 1 meter, tussen deze twee geleiders een kracht veroorzaakt gelijk aan  $2 \times 10^{-7}$  newton voor iedere meter lengte.

**kelvin (K)**

De kelvin, eenheid van thermodynamische temperatuur, is het  $1/273,16$  deel van de thermodynamische temperatuur van het tripelpunt van water.

**mol (mol)**

De mol is de hoeveelheid stof van een systeem dat evenveel elementaire entiteiten bevat als er atomen zijn in 0,012 kilogram koolstof 12.

Bij gebruikmaking van de mol moeten de elementaire entiteiten worden gespecificeerd; deze kunnen zijn: atomen, moleculen, ionen, elektronen, andere deeltjes of bepaalde groeperingen van dergelijke deeltjes.

**candela (cd)**

De candela is de lichtsterkte, in loodrechte richting, van een oppervlakte van  $1/600.000$  vierkante meter van een zwart lichaam bij een stollingstemperatuur van platina onder een druk van 101.325 newton per vierkante meter.

**Aanvullende eenheden:**

**radiaal (rad)**

De radiaal is de vlakke hoek tussen twee stralen van een cirkel die op de omtrek een boog afsnijden waarvan de lengte gelijk is aan de straal.

**steradiaal (sr)**

De steradiaal is de ruimtehoek die, wanneer zijn top samenvalt met het middelpunt van een bol, op die bol een oppervlakte uitsnijdt gelijk aan die van het vlakke vierkant dat de straal van de bol als zijde heeft.

**Afgeleide eenheden****Afgeleide eenheden met een eigen naam**

<i>afgeleide grootheid</i>		<i>afgeleide eenheid</i>		
<i>naam</i>	<i>symbool</i>	<i>naam</i>	<i>symbool</i>	<i>afleiding</i>
oppervlakte	$A, (S)$	vierkante meter	$m^2$	$m \cdot m$
volume	$V$	kubieke meter	$m^3$	$m \cdot m \cdot m$
(vlakke) hoek	$\alpha, \beta, \dots$	radiaal	rad	zie def.
ruimtehoek	$\Omega$	steradiaal	sr	zie def.
frequentie	$f, \nu$	hertz	Hz	$s^{-1}$
kracht	$F$	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
druk, spanning	$p$	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$
arbeid, energie	$W, E$	joule	J	$N \cdot m$
hoeveelheid warmte	$Q$			
vermogen, energiestroom	$P$	watt	W	$J \cdot s^{-1}$
warmtestroom	$\dot{Q}$			
(elektrische) lading	$Q$	coulomb	C	$A \cdot s$
(elektrische) spanning	$U, V$	volt	V	$W \cdot A^{-1}$
potentiaalverschil	$V$			
(elektrische) weerstand	$R$	ohm	$\Omega$	$V \cdot A^{-1}$
(elektrische) geleiding	$G$	siemens	S	$A \cdot A^{-1}$
capaciteit	$C$	farad	F	$C \cdot V^{-1}$
magnetische flux	$\phi$	weber	Wb	$V \cdot s$
(elektrische) inductantie	$L$	henry	H	$V \cdot s \cdot A^{-1}$
magnetische inductie	$B$	tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$
lichtstroom	$\phi$	lumen	lm	$cd \cdot sr$
verlichtingssterkte	$E$	lux	lx	$lm \cdot m^{-2}$
activiteit	$A$	becquerel	Bq	$s^{-1}$
geabsorbeerde dosis	$D$	gray	Gy	$J \cdot kg^{-1}$

**Samengestelde afgeleide eenheden (voorbeelden)**

<i>grootheid</i>	<i>definitievergelijking</i>	<i>afgeleide SI-eenheid</i>
snelheid	$u = dl/dt$	m/s
versnelling	$a = du/dt$	$m/s^2$
hoeksnelheid	$\omega = \alpha/t$	rad/s
volumestroom	$\dot{V} = dV/dt$	$m^3/s$
moment	$M = F \cdot l$	N.m

<i>grootheid</i>	<i>definitievergelijking</i>	<i>afgeleide SI-eenheid</i>
dichtheid	$\rho = m/V$	kg/m <sup>3</sup>
dynamische viscositeit	$\eta, \mu = F/(A \cdot du/dy)$	Pa·s
kinematische viscositeit	$\nu = \eta/\rho$	m <sup>2</sup> /s
entropie	$S = Q/T$	J/K
warmte-overdrachtscoëfficiënt	$\alpha = \dot{Q}/(A \cdot \Delta T)$	W/(m <sup>2</sup> ·K)
warmte-geleidingscoëfficiënt	$\lambda = \dot{Q} \cdot d/(A \cdot \Delta T)$	W/(m·K)
warmtecapaciteit	$C = dQ/d$	J/K
soortelijke warmte	$c = C/m$	J/(kg·K)
temperatuurvereffenings-coëfficiënt	$a = \lambda/(\rho \cdot c_p)$	m <sup>2</sup> /s
molaire massa	$M = m/n$	kg/mol

***Decimale voorvoegsels***

<i>voorvoegsels</i>	<i>symbool</i>	<i>factor</i>	
exa	E	10 <sup>18</sup>	1 000 000 000 000 000 000
peta	P	10 <sup>15</sup>	1 000 000 000 000 000
tera	T	10 <sup>12</sup>	1 000 000 000 000
giga	G	10 <sup>9</sup>	1 000 000 000
mega	M	10 <sup>6</sup>	1 000 000
kilo	k	10 <sup>3</sup>	1 000
(hecto)	(h)	(10 <sup>2</sup> )	100
(deca)	(da)	(10)	10
deci	d	10 <sup>-1</sup>	0,1
centi	c	10 <sup>-2</sup>	0,01
milli	m	10 <sup>-3</sup>	0,001
micro	$\mu$	10 <sup>-6</sup>	0,000 001
nano	n	10 <sup>-9</sup>	0,000 000 001
pico	p	10 <sup>-12</sup>	0,000 000 000 001
femto	f	10 <sup>-15</sup>	0,000 000 000 000 001
atto	a	10 <sup>-18</sup>	0,000 000 000 000 000 001

***Regels voor gebruik:***

- Het symbool van een voorvoegsel vormt één geheel met het symbool waaraan het is toegevoegd en vormt zo een symbool van een nieuwe eenheid.
- Eenheden met voorvoegsels kunnen tot een macht worden verheven en met andere eenheden worden samengesteld tot afgeleide eenheden.  
 let op:  $\text{cm}^2 = (10^{-2} \text{ m})^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$   
 en dus  $\text{cm}^2 \neq \text{c}(\text{m}^2) = 10^{-2} \text{ m}^2$
- Het combineren van voorvoegsels is niet toegestaan, bijvoorbeeld:  
 $10^{-12} \text{ F} = 1 \text{ pF}$  en niet:  $1 \mu\mu\text{F}$

4. Bij het kilogram is reeds een voervoegsel gebruikt met betrekking tot het gram (symbool: g). Hier moeten dus ook de andere decimale veelvoudens en delen worden betrokken op het gram, bijvoorbeeld:  $10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$  en niet:  $1 \mu\text{kg}$

### Enige fundamentele natuurconstanten

<i>constante</i>	<i>symbol</i>	<i>waarde</i>	$\sigma$ <sup>1)</sup>
lichtsnelheid in vacuüm	<i>c</i>	$299,792\,548 \times 10^6 \text{ m/s}$	0,004
elementaire lading (de lading van een proton)	<i>e</i>	$0,160\,218\,92 \times 10^{-18} \text{ C}$	2,9
getal van Avogadro (aantal deeltjes per mol)	$N_A$	$602,204\,5 \times 10^{21} \text{ mol}^{-1}$	5,1
constante van Faraday ( $F = N_A \cdot e$ )	<i>F</i>	$96,484\,56 \times 10^3 \text{ C/mol}$	2,8
constante van Planck (de grootte van een licht- quantum is $h \cdot \nu$ )	<i>h</i>	$0,662\,617\,6 \times 10^{-33} \text{ J/Hz}$	5,4
molaire gasconstante ( $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ voor ideaal gas)	$R_m$	$8,314\,41 \text{ J(mol}\cdot\text{K)}$	31
constante van Boltzmann ( $k = R/N_A$ )	<i>k</i>	$13,806\,62 \times 10^{-24} \text{ J/K}$	32
constante van Stefan-Boltzmann ( $\sigma = (\pi^2/60) \cdot k^4 / [(h/2\pi)^3 \cdot c_0^2]$ )	$\sigma$	$56,703\,2 \times 10^{-9} \text{ W(K}^4\cdot\text{m}^2)$	125
stralingsfluxdichtheid van zwarte straling per ruimte- hoek $2\pi$ is $\sigma \cdot T^4$ )			
gravitatieconstante ( $F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$ )	<i>G, k</i>	$66,720 \times 10^{-12} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$	615

<sup>1)</sup>  $\sigma = 10^6 \times$  de relatieve standaardafwijking  
(gegevens: 'Eenheid in eenheden' StichtingTeleac Utrecht 1977)

### Toelichtingen

#### Schrijfwijze van eenheidssymbolen

Symbolen van eenheden zijn onveranderlijk; ze mogen niet cursief worden gezet; kleine letters mogen niet in hoofdletters worden veranderd. Toevoegingen aan een eenheidssymbool, bijv. een index zijn niet toegestaan.

#### Temperatuur

Het SI is gebaseerd op de thermodynamische of absolute temperatuur, zoals deze volgt uit de Wet van Carnot-Clausius. In de praktijk ijkt men volgens de Internationale Praktische Temperatuur-Schaal (IPST 68), die de absolute schaal zeer dicht benadert. De absolute temperatuurschaal, met de kelvin als eenheid, heeft als vaste punten:

- het absolute nulpunt:  $T = 0 \text{ K}$
- het tripelpunt van  $\text{H}_2\text{O}$ :  $T = 273,16\text{K}$ .

Naast de absolute temperatuurschaal blijft de Celsiuschaal in gebruik, met als eenheid de graad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), die gelijk is aan de kelvin.

Het nulpunt van de Celsiuschaal komt overeen met  $273,15\text{K}$  op de absolute temperatuurschaal. De eenheid  $^{\circ}\text{C}$  wordt bij voorkeur uitsluitend gebruikt voor de aanduiding van temperatuurniveau, bijv.:  $20^{\circ}\text{C}$  ( $= 293,15\text{K}$ ).

Temperatuurverschillen, -intervallen en -veranderingen zijn steeds uit te drukken in kelvin (K), bijv.:  $20^{\circ}\text{C} \pm 1\text{K}$ .

### **Druk**

Absolute druk wordt aangegeven met het symbool  $p$ , of ter onderscheiding van effectieve druk met  $p_a$ . Manometers die absolute druk aangeven, dienen op de wijzerplaat de aanduiding 'abs' te dragen.

Onder de effectieve druk wordt verstaan het verschil tussen absolute en atmosferische druk, aan te geven met het symbool  $p_e$ .

Bij buisveermanometers, die effectieve druk meten, is de schaalindeling in het algemeen gebaseerd op een atmosferische druk van  $100 \text{ kPa}$  ( $1 \text{ bar}$ ).

Bij een absolute druk die lager is dan de atmosferische druk, wordt de effectieve druk met een negatieve waarde aangegeven, bijv.:  $p_e = -30 \text{ kPa}$  voor  $p_a = 70 \text{ kPa}$ .

### **Hoeveelheid stof**

De eenheid omvat evenveel elementaire deeltjes (atomen, moleculen, ionen, enz.) als er atomen zijn in  $0,012 \text{ kg}$  van het koolstof nuclide  $^{12}\text{C}$ . Dit aantal is gelijk aan het getal van Avogadro.

De mol is de meest geschikte eenheid voor berekeningen en aanduidingen inzake gasmengsels. Voor ideale gassen is het volume van  $1 \text{ mol}$  alleen afhankelijk van temperatuur en druk; er geldt bij  $p = 101.325 \text{ Pa}$ .

$V_m \triangleq 22,414 \text{ m}^3/\text{kmol}$  bij  $0^{\circ}\text{C}$

$V_m \triangleq 23,645 \text{ m}^3/\text{kmol}$  bij  $15^{\circ}\text{C}$

$V_m \triangleq 24,05 \text{ m}^3/\text{kmol}$  bij  $20^{\circ}\text{C}$ .

Voor niet-ideale gassen moeten deze volumina worden vermenigvuldigd met de compressibiliteitsfactor  $Z [= p \cdot v \cdot M / (R_m \cdot T)]$ ; voor  $R_m$  (molaire gasconstante, zie Fundamentele natuurconstanten).

De correcte aanduiding voor fracties in gasmengsels is:

mol/mol, event. mmol/mol,  $\mu\text{mol/mol}$ .

### **Getal van Avogadro**

Het getal van Avogadro geeft het aantal atomen in  $0,012 \text{ g}$  koolstof  $^{12}\text{C} = 6,022045 \times 10^{23}$ .

### **Molaire gasconstante**

Indien men in de Wet van Boyle-Gay Lussac ( $pV = mRT$ ) de massa ( $m$ ) vervangt door het product van hoeveelheid stof ( $n$ ) en molaire massa ( $M$ ), verkrijgt men  $pV = nMRT$ .

Volgens de Wet van Avogadro is bij constante waarden van volume ( $V$ ) en temperatuur ( $T$ ) de verhouding  $p_a/p_b$  gelijk aan  $n_a/n_b$  voor elk willekeurig paar gassen a en b. Hieruit volgt:  $M_a R_a = M_b R_b = R_m$ . De molaire gasconstante  $R_m$  is derhalve een constante grootheid

(natuurconstante). Ingevolge zijn afleiding uit de Wet van Boyle-Gay Lussac geldt hij voor de ideale gastoestand.

**Gravitatieconstante**

De graviteit van Newton stelt dat twee (geheel buiten elkaar gelegen) massa's elkaar aantrekken met een kracht evenredig met het product van beide massa's en omgekeerd evenredig met de tweede macht van hun zwaarpuntsafstand.

Deze wet wordt uitgedrukt in de vergelijking  $F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$ , waarin G uitsluitend dient om het rechter lid van de vergelijking de dimensie van kracht te geven. G is derhalve een onveranderlijke grootheid (natuurconstante), die wordt aangeduid met 'gravitatieconstante'.

**Overzicht van enige in Nederland naast het SI erkende eenheden (niet tot het Si behorende eenheden)**

<i>eenheid naam</i>	<i>symbool</i>	<i>beperking van toepassingsgebied</i>	<i>toegestane dec. voorv.</i>	<i>waarde</i>
bar	bar	vloeistof- en gasdruk	m, $\mu$	1 bar = $10^5$ Pa
dag	d	-	geen	1 d = $86,4 \times 10^3$ s
graad Celsius	$^{\circ}\text{C}$	Celsius temp.	geen	$^{\circ}\text{C}$ = K
hoekgraad	$^{\circ}$	-	geen	$1^{\circ}$ = $(\pi/180)$ rad $\approx$ $\approx 17,4533 \times 10^{-3}$ rad
hoekminuut	'	-	geen	$1'$ = $(\pi/108.000)$ rad $\approx$ $\approx 0,290888 \times 10^{-3}$ rad
hoekseconde	"	-	geen	$1''$ = $(\pi/648.000)$ rad $\approx$ $\approx 4,84814 \times 10^{-6}$ rad
rechte hoek	$\neg$	-	geen	$90^{\circ}$ = $(\pi/2)$ rad $\approx$ $\approx 1,57080$ rad
jaar	a	-	geen	1 a = 31,6 Ms
liter	L	vloeistoffen	alle	1 L = $1\text{dm}^3$
minuut	min	-	geen	1 min = 60 s
ton	t	-	k, M, G, T	1 t = $10^3$ kg
uur	h	-	geen	1 h = $3,6 \times 10^3$ s

**Herleiding van nog voorkomende oude eenheden naar SI**

<i>grootheid</i>	<i>naam</i>	<i>waarde (= : exact; <math>\approx</math> : benaderd def: per definitie vastgesteld)</i>
Lengte	Ångström	$1\text{Å} = 10^{-10}$ m
	inch	1 in = $1/12$ ft = 25,4 mm
	foot	1 ft = 12 in = 0,3408 m
	yard	1 yd = 3 ft = 0,9144 m (def)
	(statute) mile	1 mile = 1.760 yd $\approx 1,609344 \times 10^3$ m
	nautical mile (int.)	1 nmile = 1.852 m (def)
Oppervlakte	are	1 a = $(10\text{ m})^2 = 100\text{ m}^2$
	acre	1 acre $\approx 4.046,86\text{ m}^2$
Volume	fluid ounce (UK)	1 fl oz (UK) $\approx 28,4131 \times 10^{-6}\text{ m}^3$
	fluid ounce (US)	1 fl oz (US) $\approx 29,5735 \times 10^{-6}\text{ m}^3$
	pint (UK)	1 pt (UK) = 20 fl oz $\approx 0,568261 \times 10^{-3}\text{ m}^3$
	gallon (UK)	1 gal (UK) = 8 pt $\approx 4,54609 \times 10^{-3}\text{ m}^3$
	gallon (US)	1 gal (US) = 231 in $^3$ $\approx 3,78541 \times 10^{-3}\text{ m}^3$
	bushel (UK)	1 bu (UK) = 8 gal (UK) $\approx 36,3687 \times 10^{-3}\text{ m}^3$
bushel (US)	1 bu (US) $\approx 35,2391 \times 10^{-3}\text{ m}^3$	

	barrel dry (US)	1 dry bbl (US) = 7056 in <sup>3</sup> ≈ 0,115627 m <sup>3</sup>
	barrel oil (US)	1 oil bbl (US) = 42 gal (US) ≈ 0,158987 m <sup>3</sup>
	stère	1 stère = 1 m <sup>3</sup>
	register ton	1 register ton ≈ 2,83286 m <sup>3</sup>
Massa	grain	1 gr = 1/7000 lb = 64,79891 × 10 <sup>-6</sup> kg
	ounce	1 oz = 1/16 lb ≈ 28,3495 × 10 <sup>-3</sup> kg
	troy ounce	1 troy ounce = 480 gr ≈ 31,1035 × 10 <sup>-3</sup> kg
	pound	1 lb = 0,45349237 kg (def)
	stone	1 stone = 14 lb ≈ 6,35029 kg
	slug (geepound)	1 slug = 1 lbf·s <sup>2</sup> /ft ≈ 14,5939 kg
	hundredweight (UK)	1 cwt (UK) = 112 lb ≈ 50,8023 kg
	hundredweight (US)	1 cwt (US) = 100 lb ≈ 45,3592 kg
	ton (UK) (long, gross)	1 ton (UK) = 2240 lb ≈ 1016,05 kg
	ton (US) (short, nett)	1 ton (US) = 2000 lb ≈ 907,185 kg
	sthène	1 sn = 1 t·m/s <sup>2</sup> = 10 <sup>3</sup> N
Kracht	dyne	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N
	poundal	1 pdl = 1 lb·ft/s <sup>2</sup> ≈ 0,138255 N
	poundforce	1 lbf = 1 lb × 9,80665 N/kg ≈ 4,44822 N
	kilogram kracht (kilopond)	1 kgf (kp) = 9,80665 N
	tonkracht	1 tf = 1000 kgf = 9.806,65 N
Druk	atmosfeer	1 atm = 101,325 × 10 <sup>3</sup> Pa (def)
	technische atmosfeer	1 at = 1 kgf/cm <sup>2</sup> = 98,0665 × 10 <sup>3</sup> Pa
	meter waterkolom	1 mH <sub>2</sub> O = 9,80665 × 10 <sup>3</sup> Pa
	pound per square inch	1 psi = 1 lb/in <sup>2</sup> ≈ 6,89476 × 10 <sup>3</sup> Pa
	inch mercury column	1 in Hg ≈ 3,38638 × 10 <sup>3</sup> Pa
	foot water gauge	1 ft H <sub>2</sub> O ≈ 2,98898 × 10 <sup>3</sup> Pa
	pièze	1 pz = 1 sn/m <sup>2</sup> = 10 <sup>3</sup> Pa
	millimeter kwikkolom, torr	1 mm Hg (Torr) ≈ 133,322 Pa
	millimeter waterkolom	1 mmH <sub>2</sub> O = 9,80665 Pa
	meter waterkolom	1 mwk = 9,806651 × 10 <sup>3</sup> Pa
Arbeid, energie	erg	1 erg = 1 dyn·cm = 10 <sup>-7</sup> J
Warmte	British thermal unit	1 Btu = 1 kcal·lb·°F/(kg·K) ≈ 1,05506 kJ
	calorie	1 cal = 1 cal <sub>IT</sub> = 4,1868 J (def)
	15°C-calorie	1 cal <sub>15</sub> ≈ 4,1855 J
	International table calorie	1 cal <sub>IT</sub> = 4,1868 J (def)
	thermie	1 th = 10 <sup>6</sup> cal <sub>15</sub> ≈ 4,1855 × 10 <sup>6</sup> J
	therm	1 thm = 10 <sup>5</sup> Btu ≈ 105,506 × 10 <sup>6</sup> J
Elektrische energie	kilowatt uur	1 kWh = 3,6 × 10 <sup>6</sup> J

Arbeids- vermogen e.d.	paardekracht horse power (UK) horse power (el.)	1 pk = 75 kgf·m/s ≈ 735,499 W 1 hp (UK) = 550 lbf.ft/s ≈ 745,700 W 1 h (el.) = 746 W
Koelvermogen e.d.	ton of refrigeration British ton of refrigeration Btu per hour kcal per uur	1 TR = 12.000 Btu/h ≈ 3.516,85 W 1 BTR = 13.440 Btu/h ≈ 3.938,87 W 1 Btu/h ≈ 0,293071 W 1 kcal/h = 1,163 W
Warmtegeleiding	- - - - -	1 kcal(m·h·°C) = 1,163 W/(m·K) 1 cal/(cm·s·°C) = 418,68 W/(m·K) 1 Btu·in (ft <sup>2</sup> ·h·°F) ≈ 0,144227 W/(m·K) 1 Btu/(ft·h·°F) ≈ 1,73073 W/(m·K) 1 Btu/(in·h·°F) ≈ 20,79687 W/(m·K)
Warmte- overdracht	- - -	1 kcal/(m <sup>2</sup> ·h·°C) = 1.163 W/(m <sup>2</sup> ·K) 1 Btu/(in <sup>2</sup> ·h·°F) ≈ 817,669 W/(m <sup>2</sup> ·K) 1 Btu/(ft <sup>2</sup> ·h·°F) ≈ 5,67826 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Soortelijke enthalpie e.d.	-	1 Btu/lb = 2326 J/kg
Soortelijke warmte e.d.	-	1 Btu/(lb °F) = 4.186,8 J/(kg·K)
Dynamische viscositeit	poise poiseuille - - - reyn (lbf·s/in <sup>2</sup> )	1 P = 0,1 Pa·s 1 Pl = 1 Pa·s 1 kgf·s/m <sup>2</sup> = 9,80665 Pa·s 1 lb/(in·s) ≈ 17,8580 Pa·s 1 lbf·s/ft <sup>2</sup> ≈ 47,8803 Pa·s 1 reyn ≈ 6894,76 Pa·s
Kinematische viscositeit	stokes - -	1 St = 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s 1 ft <sup>2</sup> /h ≈ 25,8060 mm <sup>2</sup> /s 1 in <sup>2</sup> /h ≈ 0,179208 mm <sup>2</sup> /s

**Omrekeningen van temperatuur Fahrenheit naar Celsius:****Definitie:**

°C = graad Celsius  
 temperatuurverschil:  $1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$   
 temperatuurniveau:  $x^{\circ}\text{C} = (x + 273,15)\text{K}$

°F = graad Fahrenheit  
 temperatuurverschil:  $1^{\circ}\text{F} = 5/9 \text{ K} \approx 0,555556 \text{ K}$   
 temperatuurniveau:  $x^{\circ}\text{F}$  komt overeen met:  
 $5/9 (x - 32)^{\circ}\text{C} = 5/9 (x + 459,67)\text{K}$  (def)

**Omrekening °F → °C en °C → °F:**

$$T_{\text{C}} = (T_{\text{F}} - 32) * 5/9 \quad \text{en} \quad T_{\text{F}} = (T_{\text{C}} * 5/9) + 32$$

of:

$$T_{\text{C}} = 5/9(T_{\text{F}} + 40) - 40 \quad \text{en} \quad T_{\text{F}} = 9/5(T_{\text{C}} + 40) - 40$$

$T_{\text{C}}$ ,  $T_{\text{F}}$  = getalwaarden Celsius- resp. Fahrenheit-temperatuur.

Voorbeeld voor  $-13^{\circ}\text{F}$ :

$$\begin{aligned} T_{\text{C}} &= 5/9(-13 - 32) &&= -25^{\circ}\text{C}. \\ T_{\text{C}} &= 5/9(-13 + 40) - 40 &&= -25^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Voorbeeld voor  $100^{\circ}\text{F}$ :

$$\begin{aligned} T_{\text{C}} &= 5/9(100 - 32) &&= 37,778^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{C}} &= 5/9(100 + 40) - 40 &&= 37,778^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

## Symbolen voor grootheden

Vanwege het zeer grote aantal grootheden voor techniek, fysica en chemie is het aan te bevelen om ter wille van de leesbaarheid en begrip in formules en berekeningen binnen een bepaald vakgebied uniformiteit van het symbolengebruik toe te passen.

Symbolen voor de belangrijkste grootheden in de koeltechniek, in overeenstemming met de aanbevelingen in de nationale en internationale normen (NNI, ISO). In gedrukte teksten worden groothedensymbolen *cursief* gezet.

## Betekenis van de groothedensymbolen

<i>symbol</i>	<i>benaming (definitie)</i>	<i>eenheden</i>
<i>a</i>	temperatuurvereffeningscoëfficiënt [ $\lambda / (C_p \cdot \rho)$ ]	m <sup>2</sup> /s
<i>C<sub>p</sub></i>	soortelijke warmte (bij constante druk)	J/(kg·K)
<i>C<sub>v</sub></i>	soortelijke warmte (bij constant volume)	J/(kg·K)
<i>h</i>	soortelijke enthalpie	J/kg
<i>k</i>	warmtedoorgangcoëfficiënt	W/(m <sup>2</sup> ·K)
<i>l</i>	latente warmte	J/kg
<i>M</i>	molaire massa	kg/mol
<i>p</i>	absolute druk	Pa, bar
<i>p<sub>e</sub></i>	effectieve druk	Pa, bar
<i>Q</i>	hoeveelheid warmte	J
<i>R</i>	gasconstante	J/(kg·K)
<i>s</i>	soortelijke entropie	J/(kg·K)
<i>T</i>	temperatuur	K, °C
<i>T<sub>b</sub></i>	kookpunt bij atmosferische druk	°C
<i>u</i>	snelheid	m/s
<i>v</i>	soortelijk volume	m <sup>3</sup> /kg
<i>W</i>	arbeid	J
<i>x</i>	absolute vochtigheid	kg/kg
<i>z</i>	compressibiliteitsfactor [ $p \cdot v / (R \cdot T)$ ]	-
<i>α</i>	warmteoverdrachtscoëfficiënt	W/(m <sup>2</sup> ·K)
<i>β</i>	volumieke uitzettingscoëfficiënt	K <sup>-1</sup>
<i>δ</i>	laagdikte	m
<i>ε</i>	koudefactor ( $Q_c / W$ )	-
<i>ε<sub>c</sub></i>	Carnotfactor [ $T_o / (T - T_o)$ ]	-
<i>Δ</i>	gem. temperatuurverschil lucht-koelerooppervlak	K
<i>x<sub>s</sub></i>	isentropenexponent [ $-(v/p) \cdot [\partial p / \partial v]_s$ ]	-
<i>λ</i>	warmtegeleidingscoëfficiënt	W/(m·K)
<i>μ</i>	dynamische viscositeit	Pa·s
<i>ν</i>	kinematische viscositeit ( $\mu / \rho$ )	m <sup>2</sup> /s
<i>ρ</i>	dichtheid, soortelijke massa	kg/m <sup>3</sup>
<i>σ</i>	oppervlaktespanning	N/m
<i>τ</i>	tijd	s, h
<i>φ</i>	relatieve vochtigheid	%

**Betekenis van de toegepaste indices**

index	betekenis
a	atmosferische druk
d	waterdamp
kr	kritische punt
tr	tripelpunt
db	droge bol
nb	natte bol
o, b	kookpunt, verdamping
f	stolpunt
s	verzadiging
'	vloeistoffase
"	dampfase

**Dimensieloze kengrootheden**

naam	symbool	betekenis
Grashof	Gr	$l^3 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T / \nu^2$
Nusselt	Nu	$\alpha \cdot l / \lambda$
Prandtl	Pr	$\nu / \alpha$
Reynolds	Re	$\rho \cdot u \cdot l / \mu$ ( $u =$ snelheid)