



# Technische informatie voor werktuigbouwkundigen



Noordhoff Uitgevers

Achtste druk

**Jaap van Gernerden, Wim Verkaik**



**Technische informatie  
voor werktuigbouwkundigen**



# **Technische informatie voor werktuigbouwkundigen**

**Overzichten, gegevens en tabellen**

**J. van Gemerden**

**W. Verkaik**

**Achtste druk**

**Noordhoff Uitgevers Groningen/Houten**

*Ontwerp omslag:* Frank & Lisa  
*Omslagillustratie:* Getty Images

Door het Nederlands Normalisatie-instituut, Vlinderweg 6, 2623 AX Delft is toestemming verleend tot het publiceren van de verwerkte normen. De volledige normen zijn voor onderwijsinstellingen en studerende tegen sterk gereduceerde prijs beschikbaar hetzij als afzonderlijke bundels hetzij in normenbundels.

Deze uitgave is gedrukt op FSC-papier.

Eventuele op- en aanmerkingen over deze of andere uitgaven kunt u richten aan: Noordhoff Uitgevers bv, Afdeling Hoger Onderwijs, Antwoordnummer 13, 9700 VB Groningen, e-mail: [info@noordhoff.nl](mailto:info@noordhoff.nl)

1 / 12

© 2010 Noordhoff Uitgevers bv Groningen/Houten, The Netherlands.

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet van 1912 gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden veelelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van reprografische veelelvoudingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprorecht (postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, [www.cedar.nl/reprorecht](http://www.cedar.nl/reprorecht)). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, [www.cedar.nl/pro](http://www.cedar.nl/pro)).

*All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.*

ISBN (ebook) 978-90-01-84769-2

ISBN978-90-01-78854-4

NUR978

# Woord vooraf

*Technische informatie voor werktuigbouwkundigen* is het naslagwerk voor ‘werktuigbouwkundigen’ in opleidingen (zoals het mbo, het hbo en de TU), alsmede voor tekenaars, constructeurs en ontwerpers van constructiebureaus. Het naslagwerk bevat overzichten, gegevens, tabellen en voorbeeldberekeningen. Bij de samenstelling is er doelbewust naar gestreefd om gegevens te verstrekken die tot goede praktische resultaten zullen leiden en die bovendien zijn aangepast aan de hedendaagse stand van de techniek. De nadruk ligt op een consequent gebruik van de meest actuele normen.

Om een juiste toepassing van de gegevens te bevorderen zijn de behandelde onderwerpen vaak voorzien van een toelichting, een aanbeveling en een eenvoudig voorbeeld.

De eenheden zijn zo eenvoudig mogelijk gehouden. Combinaties zijn zo gekozen dat per combinatie geen omrekeningsfactoren nodig zijn, zie tabel 7.1.

## DE AUTEURS

Beide auteurs hebben zowel ervaring in het bedrijfsleven als in het onderwijs.

Jaap van Gernerden is de grondlegger van *Technische informatie voor werktuigbouwkundigen*. Hij gaf na zijn werkzaamheden als tekenaar-constructeur onderwijs aan diverse dag- en avondopleidingen, zoals de Academie voor BK en Technische Wetenschappen, de M.T.S. en de opleiding van leerkrachten, scheepswerktuigkundigen en staalbouwkundige constructeurs. Hij onderhield contacten met het bedrijfsleven en de TU-Delft en was daarnaast commissielid van het NEN.

Wim Verkaik gaf na zijn werkzaamheden als onderzoeker, ontwerper en manager bij diverse bedrijven, onderwijs aan de Hogeschool in Groningen. Hij begeleidde studenten bij ontwerp-oefeningen, met name in de vakgebieden mechanica, sterkteleer, omvormtechnieken, kunststoffen en mechatronica. Recentelijk voerde hij als adviseur diverse opdrachten voor het bedrijfsleven uit. Hij is met ingang van deze editie co-auteur van *Technische informatie voor werktuigbouwkundigen*.

## HUIDIGE EDITIE

In deze achtste druk zijn de normen geactualiseerd, vervangen door nieuwe normen met een nieuwe normaanduiding of komen te vervallen.

Zelfs in tijden van computers met (3D-)modellers en internet zijn grafieken of een nomogram handig, zoals voor het ontwerp van de as (zie de grafieken op pagina 120 en 121) en voor het ontwerp van de veerafmetingen (zie het nomogram op pagina 209).

Nieuw in deze druk is de grafische bepaling van oppervlakte (A) en zwaartepunt (Z) (zie pagina 23). Op pagina 102 zijn formules opgenomen voor een dikwandige opgekrompen ring. Tevens zijn voorbeelden toegevoegd voor de bepaling van de toelaatbare spanning, zie pagina 221.

Uit een aantal normbladen is inhoudelijke informatie in verkorte en aangepaste vorm overgenomen. Het betreft vooral normen voor technische tekeningen en bevestigingsartikelen. Dit stelt studenten werktuigbouwkunde in de gelegenheid zo realistisch mogelijke ontwerp-oefeningen uit te voeren en geeft constructeurs een indruk wat er aan normen voorhanden is en waar die toepasbaar kunnen zijn. Voor de volledige beschrijving van de normen wordt verwezen naar het NEN.

BIJDRUK 2012 Behoudens enkele kleine correcties is de tekst m.b.t. figuur 2.11 en figuur 2.15c voorzien van een nadere toelichting.

#### NEN, HET CENTRUM VAN NORMALISATIE

NEN, het centrum van normalisatie, faciliteert de normalisatie-activiteiten in Nederland. Normalisatie is het proces waarbij op nationaal, Europees of mondiaal niveau afspraken worden gemaakt tussen belanghebbende partijen over de (technische) specificaties van een product, dienst of bedrijfsproces, met als belangrijkste doel efficiency en/of kwaliteitsverbetering. Belanghebbende partijen kunnen zowel het bedrijfsleven als overheden en consumentenorganisaties zijn. NEN brengt partijen bij elkaar en begeleidt het maken van afspraken. De activiteiten lopen uiteen van het organiseren en verslagleggen van vergaderingen tot het bereiken van consensus bij tegenstrijdige belangen. NEN bewaakt het proces tot er een tastbaar eindresultaat ligt, bijvoorbeeld een norm, een Nederlands Technische Afspraak (NTA) of een convenant.

Normen of pakketten van normen worden steeds meer online geleverd (zie hiervoor: [www.nen.nl](http://www.nen.nl)).

#### AAN WIE ZIJN WIJ DANK VERSCHULDIGD ?

In het vermelden van de vele personen en instellingen die ons in de loop der jaren aan het tot stand komen van dit boek terzijde hebben gestaan moeten wij ons helaas beperken.

We noemen hiervan de volgende bedrijven, wetenschappelijke instellingen e.d. in alfabetische volgorde:

Bijlbouw BV – Alblasserdam	Mamesta BV (met name de heer ing. J.J. Wammes, directeur) – Arcen
Bolidt Kunststoftoepassing BV (met name de heer A. Roodnat) – Hendrik-Ido-Ambacht	Mennens & Co's Handelsmij BV – Schiedam
Borstlap – Tilburg	Nederlands Normalisatie-instituut – Delft
D & C Engineering (met name de heer A. van Stek, chief engineering) – Alblasserdam	Nederlandse Federatie voor Kunststoffen – Leidschendam
Gemeentewerken (met name de heren C.A.A. de Graaf en ir. J.H. Reusink) – Rotterdam	NMF Techniek BV – Groningen
Glacier Nederland BV – Dordrecht	Philips – Eindhoven
De Graaf BA, Technische Handelsonderneming BV – Sassenheim	RMI Holland BV – Bergen op Zoom
Hengelse Verenfabriek Bakker – Hengelo	ROVC Technische opleidingen – Ede
Corus – IJmuiden	Schelde-Rademakers – Rotterdam
IBBC-TNO – Rijswijk	SKF Nederland BV (met name de heer ing. H. van Hal) – Veenendaal
IHC-Smit – Kinderdijk	Staalbouwkundig Genootschap (SG) – Rotterdam
INA-Naaldlager Mij BV – Barneveld	Technische Universiteit – Delft
Kühne BV – Hoevelaken	Thim BV (m.b.t. smeerapparatuur) – Rotterdam
Kunststoffen en Rubber	Van Leeuwen Buizen – Zwijndrecht
Instituut TNO (KRI) (met name de heer ing. W. Adriaansen) – Delft	Vector Aandrijftechniek BV – Rotterdam
Lincoln Smitweld BV (met name de heren F. Meyer en ing. F. Neessen) – Nijmegen	Viba NV (met name de heren W. Reede en M. van der Steen) – Zoetermeer
	Vlietjonge – Nieuwegein

Wij spreken de wens uit dat dit boek door velen als een nuttig en overzichtelijk naslagwerk gebruikt zal worden.



# INHOUD

1	Algemeen	9
2	Wiskunde	16
3	Natuurkunde	26
4	Scheikunde	33
5	Materialen (kunststoffen, rubber, staal, gietstaal, gietijzer)	36
6	Gietstukken van gietijzer en gietstaal	73
7	Mechanica	82
8	Werktuigbouwkunde	110
9	Transportwerktuigen	222
10	Pompen	274
11	Pneumatiek, hydrauliek	287
12-I	Besturingstechniek	296
12-II	Trefwoorden	312
13	Elektrotechniek	317
14	Staalconstructies 1 Belastinggevallen TGB 1990: NEN 6702	329
15	Staalconstructies 2 TGB 1990: NEN 6700; NEN 6702	338
16	Staalconstructies 3 TGB 1990: NEN 6770; NEN 6771; NEN 6772	354
17	Daken	406
18	Staalproducten	415
19	Kosten	440
20	Technische tekeningen	445
21	Ontwikkeling – engineering – productie	495
22	Schroefdraad	498
23	Bevestigingsartikelen	503
24	Oppervlaktegesteldheid	526
25	Toleranties en tolerantieprincipes	535
26	Passingen	550
27	Verband: maattolerantie – vormtolerantie – ruwheid	563
28	Afkortingen	564
29	Trefwoordenregister	566
30	Overzicht normen	574



# 1 ALGEMEEN

## 1.1 Alfabet

Tabel 1.1

Grieks schrift: Zie NEN-EN-ISO 3098-3		Engels	
drukletters (hoofd- en kleine letters)	naam	drukletters	uitspraak*
A	$\alpha$ alfa = a	a	ee(i)
B	$\beta$ bêta = b	b	bie:
$\Gamma$	$\gamma$ gamma = g	c	sie:
$\Delta$	$\delta$ delta = d	d	die:
E	$\epsilon$ epsilon = e	e	ie:
Z	$\zeta$ zêta = dz	f	ef
H	$\eta$ êta = è	g	dzjie:
$\Theta$	$\theta$ ; $\vartheta$ thêta = th	h	eetsj
I	$\iota$ iota = i	i	ai
K	$\kappa$ kappa = k	j	dzjee
$\Lambda$	$\lambda$ lambda = l	k	kee(i)
M	$\mu$ mu = m	l	el
N	$\nu$ nu = n	m	em
$\Xi$	$\xi$ ksi = ks	n	en
O	$\omicron$ omicron = o	o	o(o)
$\Pi$	$\pi$ pi = p	p	pie:
P	$\rho$ rho = r	q	kjoe
$\Sigma$	$\sigma$ sigma = s	r	aa(r):
T	$\tau$ tau = t	s	es
Y	$\upsilon$ upsilon = u	t; th	tie::; ss
$\Phi$	$\phi$ , $\varphi$ phi = ph, f	u	joe:
X	$\chi$ chi = ch	v	vie:
$\Psi$	$\psi$ psi = ps	w	'dabbeljoe'
$\Omega$	$\omega$ omega = oo	x	eks
		y	wai
		z	zed

\* Benaderd. Betekenis van uitspraaktekens:

' betekent dat de *volgende* lettergreep beklemtoond is;

: betekent dat de klank *lang* is.

Een tussen haakjes toegevoegde letter wordt verzwakt uitgesproken.

## 1.2 Cijfers, cijfernamen en grote getallen

Tabel 1.2a Cijfers en cijfernamen

Arabische cijfers, getallen	Romeinse cijfers <sup>1)</sup>	Griekse cijfernamen	Engelse	
			cijfernamen	uitspraak*
0	–	–	o <sup>2)</sup>	o(o)
1	I	mon(o)	one	wun
2	II	di <sup>3)</sup>	two	toe:
3	III	tri	three	srie:
4	IV	tetra	four	fo(r):
5	V	pente	five	faiv
6	VI	heks	six	siks
7	VII	hepta	seven	sevn
8	VIII	okto	eight	eet
9	IX		nine	nain
10	X		ten	ten
50	L		fifty	'fiftie
100	C		one hundred	wun 'hundrid
500	D		five hundred	faiv 'hundrid
1000	M		one thousand	wun 'sausend (wun 'θausend)

\* Benaderd. Betekenis van uitspraaktekens:

' betekent dat de *volgende* lettergreep beklemtoond is;

: betekent dat de klank *lang* is.

Een tussen haakjes toegevoegde letter wordt verzwakt uitgesproken.

<sup>1)</sup> Het gebruik van Romeinse cijfers dient men te vermijden.

<sup>2)</sup> Ook: zero (uitspraak 'ziero) voor het nulpunt, het laagste punt e.d.

<sup>3)</sup> Bi (Latijn) = tweemaal of dubbel; duo (Latijn en Grieks) = twee of een paar.

Tabel 1.2b Grote getallen

getal	naam	
	in Europa en UK	in USA
10 <sup>6</sup>	miljoen (mln)	million
10 <sup>9</sup>	miljard (mld)	billion (!)
10 <sup>12</sup>	biljoen	trillion (!)
10 <sup>18</sup>	triljoen	
10 <sup>24</sup>	quadriljoen	

## 1.3 Wiskundesymbolen

=	gelijk aan	$\Sigma$	som
$\neq$	ongelijk aan	$\sqrt{\quad}$	vierkantswortel
$\equiv$	identiek met	//	evenwijdig met
$\approx$	ongeveer	$\#$	evenwijdig met en gelijk aan
$\sim$	evenredig met	$\perp$	loodrecht op
$\triangleq$	gelijkvormig met	$\cong$	congruent met
$\trianglelefteq$	komt overeen met	$\Leftrightarrow$	gelijkwaardig met
$<$	kleiner dan	$\triangle$	driehoek
$\ll$	veel kleiner dan	$\sphericalangle$	hoek
$\leq$	kleiner dan of gelijk aan	$\widehat{AB}$	boog AB
$>$	groter dan	$\lim_{x \rightarrow a}$	limiet voor $x$ naderend tot $a$
$\gg$	veel groter dan	$\hat{x}$	maximumwaarde van $x$
$\geq$	groter dan of gelijk aan	$ a $	absolute waarde van getal $a$ <sup>3)</sup>
$+$	plus of min <sup>1)</sup>	$\infty$	oneindig
...	tot en met (t.e.m.); enzovoorts <sup>2)</sup>	$\Delta$	toename van
$\therefore; \Rightarrow$	hieruit volgt		
$\rightarrow$	nadert tot		

<sup>1)</sup> Bijv. de uiterste waarden van  $10 \pm 2$  zijn 12 en 8.

<sup>2)</sup> Bijv. 4 ... 20; 1 + 3 + 5 ... 15 (oplopend met 2).

<sup>3)</sup> Bijv.  $|3| + |-5| = 8$ ;  $3 - |-5| = -2$ ;  $3 - |-5| = -2$ .

## 1.4 Het SI

### 1.4.1 Inleiding

Het Internationale Stelsel van Eenheden (Système International d'Unités) is vastgesteld bij besluiten van de CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures) en met uitsluiting van elk ander stelsel aanvaard door de ISO (International Organization for Standardization).

In alle talen is SI de verkorte aanduiding van dit stelsel.

Het SI omvat zeven grondeenheden voor zeven basisgrootheden, twee aanvullende en vele afgeleide eenheden, die samen een coherent (= samenhangend) stelsel vormen. Dit laatste wil zeggen dat in het verband tussen een afgeleide eenheid en de grondeenheden waaruit hij is afgeleid, alleen

het getal 1 voorkomt, bijv.  $v = 1 \text{ m/s} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}}$ .

Het SI is een algemeen voor wetenschap en techniek geldend absoluut stelsel van eenheden; d.w.z. dat de grond- en afgeleide eenheden onafhankelijk zijn van de relaties op aarde.

Zie ook NEN 999, 1000, 1225, 1226, 3049 en 3069.

### 1.4.2 Verband tussen grootheid en eenheid

Grootheid = getalwaarde  $\times$  eenheid, bijv. de lengte = vier  $\times$  één meter ( $l = 4$  m).

De grootheid (de lengte, de hoogte, enz.) is iets dat direct of indirect gemeten kan worden; de eenheid (de meter) is de maat waarmee men de grootheid meet.

### 1.4.3 Grootheden, eenheden en hun symbolen

In tabel 1.3 zijn van het SI de grondeenheden, nrs. 1 ... 7, de aanvullende eenheden, nrs. 8 en 9, enkele belangrijke eenheden *met* een eigen naam, nrs. 10 ... 15, en enkele belangrijke afgeleide eenheden *zonder* een eigen naam, nrs. 16 ... 18, vermeld.

Tabel 1.3

grootheid		eenheid		grootheid		eenheid	
1 lengte	$l$	meter	m	10 kracht, gewicht	$F, G$	newton <sup>2)</sup>	N (= kg $\cdot$ m/s <sup>2</sup> )
2 massa	$m$	kilogram	kg	11 energie, arbeid,	$E, W, \left\{ \right.$	joule <sup>3)</sup>	J (= N $\cdot$ m)
3 tijd	$t$	seconde	s	hoeveelheid warmte	$Q$		
4 elektrische stroom	$I$	ampère	A	12 druk, spanning	$p$	pascal	Pa (= N/m <sup>2</sup> )
5 temperatuur	$T$	kelvin	K	13 vermogen, energiestroom	$P$	watt <sup>4)</sup>	W (= J/s)
6 hoeveelheid stof	$n$	mol	mol	14 frequentie	$f$	hertz	Hz (= s <sup>-1</sup> )
7 lichtsterkte	$I$	candela <sup>1)</sup>	cd	15 elektrische spanning	$U$	volt	V (= W/A)
8 (vlakke) hoek	$\alpha, \beta$	radiaal	rad	16 snelheid	$v$		m/s
9 ruimtehoek	$\omega, \Omega$	steradiaal	sr	17 hoeksnelheid	$\omega$		rad/s
				18 versnelling	$a$		m/s <sup>2</sup>

<sup>1)2)3)4)</sup> Uitspraak respectievelijk; kandēla, njōēton, dzjoel, wat.

### 1.4.4 Definities van de grondeenheden, de aanvullende eenheden en enkele afgeleide eenheden

- 1 **De meter.** De meter komt overeen met 1 650 763,73 golflengten in het luchtledige van de straling van het atoom Kr86 bij de overgang tussen de niveaus  $2p_{10}$  en  $5d_5$ .
- 2 **Het kilogram.** Het kilogram is de eenheid van massa en gelijk aan de massa van het internationale prototype van het kilogram. (Het prototype is vervaardigd van platina-iridium en wordt te Sèvres bij Parijs bewaard.)
- 3 **De seconde.** De seconde is  $1/(24 \times 60 \times 60)$  maal de gemiddelde zonnedag (vereenvoudigde definitie).
- 4 **De ampère.** 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.

- 5 **De kelvin.** De kelvin, de eenheid van de thermodynamische temperatuur, is het  $1/273,15$  gedeelte van de thermodynamische temperatuur van het tripelpunt van water. (Het tripelpunt van water is het smeltpunt van ijs onder de druk van eigen verzadigde damp in afwezigheid van lucht.)
- 6 **De mol.** De mol is de hoeveelheid stof van een systeem dat evenveel elementaire deeltjes (atomen, moleculen, ionen, e.d.) bevat als er atomen zijn in  $12 \times 10^{-3}$  kilogram koolstof 12.
- 7 **De candela.** De candela is de lichtsterkte, in loodrechte richting, van een oppervlakte van  $1/600\,000$  vierkante meter van een zwart lichaam bij de stollingstemperatuur van platina onder een druk van  $101\,325$  newton per vierkante meter.
- 8 **De radiaal.** 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; zie fig. 2.11.
- 9 **De steradiaal.** 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 een vierkant met de straal van de bol als zijde.
- 10 **De newton.** De newton is de kracht die aan een massa van 1 kilogram een versnelling geeft van 1 meter per secondekwadraat.  
In formulevorm:  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ . Zie par. 7.2.5:  $F = m \cdot a$   
(In statisch stelsel:  $1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} \cdot g$ ; hierin is  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ ;  
 $1 \text{ kgf} = 1 \text{ kilogramkracht} \approx 10 \text{ N}$ .)
- 11 **De joule.** De joule is de arbeid die wordt verricht door een kracht van 1 newton wanneer het aangrijpingspunt van de kracht zich 1 meter verplaatst in de richting van de kracht.  
*Opmerking:* Alle vormen van energie (mechanische, thermische, elektrische, enz.) worden uitgedrukt in de joule. De calorie als eenheid van warmtehoeveelheid is niet meer erkend. (De Calorie = 1 kilocalorie wordt nog wel gebruikt in de voedingsleer.)

### 1.4.5 SI-voorvoegsels

Door middel van de volgende voorvoegsels kunnen veelvoud en delen van eenheden worden aangegeven.

Combinaties van voorvoegsels zijn niet toegestaan. Kies bij voorkeur de getalwaarden van de voorvoegsels tussen 0,1 en 1000.

*Voorbeeld:* Schrijf voor  $15\,000 \text{ N}$  niet  $1,5 \text{ dakN}$  maar bij voorkeur  $15 \text{ kN}$  of  $15 \times 10^3 \text{ N}$ .

*Opmerking:* Plaats het symbool m (meter) naar rechts bijv. newton  $\times$  meter = Nm (*niet*: mN = millinewton).

**Tabel 1.4**

decimale veelvoud						decimale delen					
T	G	M	k	(h)	(da)	(d)	(c)	m	$\mu$	n	p
tera	giga	mega	kilo	hecto	deca	deci	centi	milli	micro	nano	pico
$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^2$	$10^1$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$

De voorvoegsels h, da, d en c dient men te vermijden.

## 1.5 Bepaling van massa; kracht en gewicht

De massa van een lichaam kan op twee manieren bepaald worden.

- 1 *Door vergelijkend wegen.* Bijv.: Met een gelijkarmige balans en een geijkt massastuk van 1 kg weegt men op aarde 1 kg suiker af. Op de maan verkrijgt men met dezelfde weging exact dezelfde hoeveelheid suiker. Houdt men het kilogram suiker in de hand, dan voelt men het *gewicht* ten gevolge van de zwaartekracht! Op de aarde is dat gewicht  $\approx 10$  N; op de maan  $\approx 1,7$  N. Het gewicht van het kilogram suiker kan zelfs nul zijn, bijvoorbeeld tussen de aarde en de maan. De massa blijft echter exact 1 kg.
- 2 *Door bepaling van  $F/a$  respectievelijk  $G/g$ .* Uit  $F = m \cdot a$  volgt  $m = F/a$ ; uit  $G = m \cdot g$  volgt  $m = G/g$  (zie paragraaf 7.2.5).

*Opmerkingen:*

- 1 De grootte van de massa is onafhankelijk van het gewicht, van vervormingen (door walsen e.d.), van de plaats (op aarde of elders), enz.; de grootte kan men slechts veranderen door toevoegen of wegnemen van stof (materie).
- 2 De term ‘gewicht’ heeft volgens de ISO de betekenis van kracht.
- 3 In de handel en op stuklijsten wordt het woord ‘gewicht’ nog wel gebruikt in de betekenis van massa en uitgedrukt in kg. Het woord ‘gewicht’ dient men dan te vervangen door het woord ‘massa’.
- 4 Geef *opschriften* van belastingen van kranen e.d. op in kg of in ton. Men is hiermee vertrouwd.

## 1.6 Herleiding van niet-SI-eenheden tot SI-eenheden

Verschillende eenheden behoren niet tot het SI, maar blijven naast de SI-eenheden wel in gebruik, bijv. de eenheden jaar, dag, uur, minuut (tijd), °C, graad (hoek), liter, ton.

De eenheden are, bar, kWh, zeemijl, knoop en registerton blijven alleen voor een bepaald toepassingsgebied in gebruik; de mmHg uitsluitend voor de druk van lichaamsvloeistoffen.

De volgende eenheden uit het statische stelsel zijn vervallen: at, atm, cal (de Cal = 1 kcal wordt nog wel toegepast in de voedingsleer), kgf, mH<sub>2</sub>O, pk, tf en torr.

Noten bij tabel 1.5

- <sup>1)</sup> Een cursief gedruk eindcijfer betekent dat het desbetreffende getal exact bedoeld is.
- <sup>2)</sup> UKgallon (imperial gallon) is een eenheid van het Imperial Systeem.
- <sup>3)</sup> Bij vloeistoffen en gassen dient men de voorkeur te geven aan de term ‘druk’, bij sterkteberekeningen aan de term ‘spanning’.
- <sup>4)</sup> De bar blijft in gebruik bij vloeistof- en gasdrukken  
1 bar  $\approx 1,0197$  at  $\approx 0,987$  atm  
1 mbar = 100 Pa (100 Pa = 1 hectopascal = 1 hPa).
- <sup>5)</sup> 1 at = 1 technische atmosfeer  $\approx 14,223$  lbf/in<sup>2</sup>.
- <sup>6)</sup> 1 atm = 1 normale atmosfeer = 760 mmHg bij 0 °C op 45° NB, op zeeniveau; 1 torr = (1/760) atm.
- <sup>7)</sup> 760 mmHg = 1013,25 mbar (= 1013,25 hPa).



Tabel 1.5 Herleiding van eenheden

Zie NEN 1000 en NEN 3049

<b>Lengte (l)</b>	Eenheid: m (meter)	<b>Massa (m)</b>	Eenheid: kg (kilogram)
1 $\mu\text{m}$ micrometer; <i>niet</i> : micron) =	$1 \times 10^{-6}$ m	1 kg	$\approx 2,2046$ lb
1 in (1"; inch; duim)	$= 25,4^{1)} \times 10^{-3}$ m	1 t (ton)	$= 10^3$ kg
1 ft (foot) = 12 in	$= 304,8 \times 10^{-3}$ m	1 lb (pound)	$\approx 453,6 \times 10^{-3}$ kg
1 yd (yard) = 36 in	$= 914,4 \times 10^{-3}$ m	1 oz (ounce) = 1/16 lb	$\approx 28,35 \times 10^{-3}$ kg
1 zeemijl (zee- en luchtvaart)	$= 1852$ m		
<b>Oppervlakte (A)</b>	Eenheid: m <sup>2</sup>	<b>Dichtheid (<math>\rho</math>)</b>	Eenheid: kg/m <sup>3</sup>
1 a (are) (grondoppervlak)	$= 100$ m <sup>2</sup>	1 t/m <sup>3</sup>	$= 10^3$ kg/m <sup>3</sup>
1 ca (centiare)	$= 1$ m <sup>2</sup>		
1 ha (hectare)	$= 10\,000$ m <sup>2</sup>	<b>Kracht (F), gewicht (G)</b>	Eenheid: N (newton)
<b>Volume, inhoud (V)</b>	Eenheid: m <sup>3</sup>	1 N = 1 kg · m/s <sup>2</sup> $\approx 0,10197$ kgf $\approx 0,22481$ lbf	
1 L (of 1 l; liter) = 1 dm <sup>3</sup>	$= 1 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup>	1 kN (kilonewton) = 10 <sup>3</sup> N $\approx 102$ kgf	
1 UKgal (gallon) <sup>2)</sup>	$\approx 4,54609 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup>	1 MN (meganeutron) = 10 <sup>6</sup> N $\approx 102$ tf	
1 USgal (gallon)	$\approx 3,78541 \times 10^{-3}$ m <sup>3</sup>	1 kgf (kilogramkracht)	$= 9,80665$ N
1 registerton (zeeschepen)	$\approx 2,83$ m <sup>3</sup>	1 tf (tonkracht)	$\approx 9,80665$ kN
		1 lbf (poundforce)	$\approx 4,448$ N
		1 kp (kilopond)	$= 9,80665$ N
<b>Hoek (<math>\alpha, \beta</math>)</b>	Eenheid: rad	<b>Energie (E); arbeid (W); hoeveelheid warmte (Q)</b>	Eenheid: J (joule)
1 rad (radiaal); zie fig. 2.11.	$= 360^\circ/2\pi \approx 57,296^\circ$	1 J = 1 N · m = 1 W · s	$\approx 0,10197$ kgf · m
een cirkel omvat $2\pi$ rad = 360°	$= 400^g$	1 MJ (megajoule) = 10 <sup>6</sup> J	$\approx 0,27778$ kW · h
sexagesimale graden:		1 kW · h (kilowatt uur)	$= 3,6 \times 10^6$ J
1° (hoekgraad) = 60'		( $\approx 0,859845 \times 10^6$ cal $\approx 0,367098 \times 10^6$ kgf · m)	
(hoekminuut) = 3600" (hoekseconde)		1 cal (calorie $\approx 0,426935$ kgf · m) =	4,1868 J
1° (hoekgraad) = $\pi/180$ rad	$\approx 0,01745$ rad	1 pk · h (paardenkracht uur)	$\approx 2,6478 \times 10^6$ J
1 <sup>L</sup> (rechte hoek) = 90° = 100 <sup>g</sup>	$= \pi/2$ rad	1 kgf · m (kilogramkracht meter) =	9,80665 J
Decimale graden (geodesie):			
1 <sup>g</sup> (gon; decimale hoekgraad)		<b>Vermogen (P)</b>	Eenheid: W (watt)
$= 100^c$ (decimale hoekminuut)		1 W = 1 J/s = 1 Nm/s	$\approx 0,0013596$ pk
$= 10\,000^{cc}$ (decimale hoekseconde)		(1 watt = 1 volt $\times$ 1 ampère; 1 W = 1 VA)	
1 <sup>g</sup> (gon) = 0,9°	$= \pi/2 \times 10^{-2}$ rad	1 kW (kilowatt)	$= 10^3$ W
		1 MW (megawatt)	$= 10^6$ W
		1 pk (paardenkracht = 75 kgf · m/s)	$\approx 735,499$ W
		1 kcal/h (kilocalorie per uur)	$= 1,163$ W
		1 kgf · m/s (kilogramkracht · m/s)	$= 9,80665$ W
<b>Tijd (t)</b>	Eenheid: s (seconde)	<b>Druk: spanning<sup>3)</sup> (p)</b>	Eenheid: Pa (pascal)
1 min (minuut)	$= 60$ s	1 Pa	$= 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar} = 10^{-3} \text{ kN/m}^2$
1 h (uur)	$= 3,6 \times 10^3$ s	1 kPa (kilopascal)	$= 10^3 \text{ N/m}^2 = 10^{-2} \text{ bar} = 1 \text{ kN/m}^2$
1 d (dag) = 24 h	$= 86,4 \times 10^3$ s	1 MPa (megapascal)	$= 10^6 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ bar} = 1000 \text{ kN/m}^2$
1 a (jaar) $\approx 365,242$ d	$\approx 31,5569 \times 10^6$ s	$= 1 \text{ MN/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2 \approx 10 \text{ kgf/cm}^2$	
		1 bar <sup>4)</sup> = 10 <sup>5</sup> Pa ( $\approx 1$ at)	$= 100$ kPa $= 100 \text{ kN/m}^2$
		1 mH <sub>2</sub> O (water)	$= 9,80665$ kPa $= 10 \text{ kN/m}^2$
		1 at <sup>5)</sup> = 1 kgf/cm <sup>2</sup>	$= 98,0665$ kPa $= 100 \text{ kN/m}^2$
		1 atm <sup>6)</sup> ( $\approx 1,0332$ kgf/cm <sup>2</sup> )	$\approx 101,325$ kPa $\approx 100 \text{ kN/m}^2$
		1 mmHg (kwik) <sup>7)</sup>	$\approx 13,5951$ mmH <sub>2</sub> O $\approx 133,322$ Pa
		1 lbf/in <sup>2</sup> = 1 psi (poundforce per square inch)	$\approx 6,895$ kPa $\approx 0,0703$ at
<b>Temperatuur (T)</b>	Eenheid: K (kelvin)		
0 K	$\triangle -273,15$ °C		
1° C (graad Celsius; temperatuurverschil) $\triangle 1$	K		
x °C	$\triangle (x + 273,15)$ K		
<b>Snelheid (v)</b>	Eenheid: m/s		
1 km/h = 1/3,6 m/s	$\approx 0,278$ m/s		
1 knoop (zee- en luchtvaart) = 1 zeemijl/h	$\approx 0,514$ m/s		