

Herbert Wittel, Dieter Muhs, Dieter Jannasch, Joachim Voßiek

Roloff / Matek

Machineonderdelen

5e herziene druk

Theorieboek

Herbert Wittel
Dieter Muhs
Dieter Jannasch
Joachim Voßiek

ROLOFF/MATEK MACHINEONDERDELEN

Theorieboek

5e herziene druk



Meer informatie over deze en andere uitgaven kunt u verkrijgen bij:
Sdu Klantenservice
Postbus 20014
2500 EA Den Haag
tel.: (070) 378 98 80
www.sdu.nl/service

Oorspronkelijke titel: Herbert Wittel, Dieter Muhs, Dieter Jannasch, Joachim Voßiek,
Roloff/Matek Maschinenelemente. 20 Auflage.
© 2011 Vieweg+Teubner | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Springer Fachmedien is part of Springer Science+Business Media
© Nederlandse vertaling 1993-2013 Sdu Uitgevers bv, Den Haag
Academic Service is een imprint van Sdu Uitgevers bv.

1e druk 1993
2e druk 1996
3e druk 2000
4e druk 2005
5e druk 2013

Opmaak: Heymans & Vanhove, Gent/Goes
Omslag: Carlito's Design, Amsterdam
Vertaling: Hapax Vertalers, Amsterdam

ISBN 978 90 395 2694 1
NUR 173 / 929

Alle rechten voorbehouden. Alle intellectuele eigendomsrechten, zoals auteurs- en databankrechten, ten aanzien van deze uitgave worden uitdrukkelijk voorbehouden. Deze rechten berusten bij Sdu Uitgevers bv en de auteur.

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet gestelde uitzonderingen, mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, 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 verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16 h Auteurswet, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp, www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich te wenden tot de Stichting PRO (Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp, www.cedar.nl/pro). Voor het overnemen van een gedeelte van deze uitgave ten behoeve van commerciële doeleinden dient men zich te wenden tot de uitgever.

Hoewel aan de totstandkoming van deze uitgave de uiterste zorg is besteed, kan voor de afwezigheid van eventuele (druk)fouten en onvolledigheden niet worden ingestaan en aanvaarden de auteur(s), redacteur(en) en uitgever deswege geen aansprakelijkheid voor de gevolgen van eventueel voorkomende fouten en onvolledigheden.

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 publisher's prior consent.

While every effort has been made to ensure the reliability of the information presented in this publication, Sdu Uitgevers neither guarantees the accuracy of the data contained herein nor accepts responsibility for errors or omissions or their consequences.

Voorwoord bij de vijfde druk

Roloff/Matek Machineonderdelen is in Nederland al twintig jaar een begrip en staat voor uitgebreide informatie, actuele normen, toegankelijkheid en de onmiddellijke toepasbaarheid van constructie- en berekeningsvergelijkingen. *Roloff/Matek* is dan ook niet meer weg te denken uit de opleiding Werktuigbouwkunde of de beroepspraktijk.

Het boek beschrijft de belangrijkste machineonderdelen in 23 afzonderlijke, opzichzelfstaande hoofdstukken, die onafhankelijk van elkaar kunnen worden bestudeerd. Er is veel aandacht besteed aan het consistent gebruik van grootheden. De volledig uitgewerkte berekeningsvoorbeelden die in elk hoofdstuk zijn opgenomen, vormen een uitstekende leidraad bij de praktische toepassing van de theorie, alsmede bij het vervaardigen van eigen berekeningen. Aan het eind van elk hoofdstuk staan literatuurverwijzingen die mogelijkheden bieden voor verdere studie. Met het uitgebreide trefwoordenregister kunnen begrippen snel in het boek worden gevonden.

Het boek is er niet in eerste instantie op gericht om de gebruiker snel een geschikte formule te laten vinden, maar de bedoeling is juist dat hij de logische redeneertrant volgt van de afleiding die tot die formule leidt en de factoren die daarop van invloed zijn. Om de samenhang tussen de afzonderlijke onderdelen van een berekening duidelijk in beeld te brengen zijn op enkele plaatsen overzichtelijke schema's opgenomen. Deze kunnen eventueel als uitgangspunt dienen voor zelf te ontwikkelen computerprogramma's.

Deze herziene en geactualiseerde vijfde druk, gebaseerd op de twintigste Duitse druk, is op diverse punten verbeterd:

- er is een groot aantal aanpassingen aan nieuwe normen, vooral in de profieltabellen bij hoofdstuk 1 en in de hoofdstukken Lasverbindingen en Glijlagers;
- het hoofdstuk Tribologie wordt nu op een logischer plaats behandeld en bevat op verzoek van gebruikers nu ook foto's met schadebeelden;
- de hoofdstukken Lijmverbindingen en Soldeerverbindingen zijn samengevoegd;
- het hoofdstuk Veren is didactisch geheel herzien;
- het hoofdstuk Kettingoverbrengingen is aangepast aan DIN ISO 10823;
- een groot aantal kleinere verbeteringen en aanpassingen in de tekst, die een beter begrip van de stof tot doel hebben, zijn doorgevoerd.

Ter ondersteuning van gebruikers is de *Duitstalige* website www.roloff-matek.de beschikbaar. Hier vinden studenten o.a. controlevragen met antwoorden bij alle hoofdstukken. Daarnaast zijn er Power-Point-presentaties over afzonderlijke machineonderdelen ter ondersteuning bij het onderwijs en voor zelfstudie. Er zijn ook berekeningsmodellen in Excel-formaat beschikbaar, die bestemd zijn voor ontwerpwerkzaamheden in de verschillende constructiefases.

In het op dit theorieboek aansluitende *Tabellenboek* zijn de bij de berekening en constructie benodigde getalwaarden, schema's, relevante normen en praktijkwaarden op compacte en overzichtelijke wijze samengevat. In dit theorieboek is, als dit noodzakelijk is voor een goed begrip van de theorie, een beperkte selectie van deze gegevens opgenomen.

Het is aan te bevelen om bij praktische toepassing van de inhoud van dit boek ook een set van de belangrijkste normbladen binnen handbereik te hebben. Bij de toepassing van standaardonderdelen, zoals koppelingen, lagers, ketting- en riemoverbrengingen, moeten de fabrikantgegevens worden gehanteerd, die vrijwel zeker afwijken van de gegevens in dit boek. Dit geldt natuurlijk ook voor de technische gegevens van bijvoorbeeld lijmen en soldeer.

Bij dit boek behoort behalve een *Tabellenboek* ook een *Opgavenboek* en een *Formuleboek*.

Deze nieuwe vertaling, verzorgd door Hapax Vertalers, bouwt voort op eerdere vertalingen die inhoudelijk werden bewerkt door de heren J.A. Broekhuisen, R.W. Hoejenbos, D.J. ter Hoeven en J.G. Trentelman.

Bij de totstandkoming van deze nieuwe druk zijn wij veel dank verschuldigd aan Paul Knook (Avans Hogeschool), Peter Leijten (Fontys Hogeschool), Peter Overbeek (Hogeschool Windesheim), Bram van der Vlugt (Haagse Hogeschool) en Tony Widdershoven (Hogeschool Zuyd), voor hun inzet bij de inhoudelijke correctie en bewerking van de vertaling.

Tot slot willen wij de vele bedrijven bedanken voor het ter beschikking stellen van tekeningen en andere informatie en voor hun waardevolle op- en aanmerkingen op de inhoud van dit boek. Ook de opbouwende kritiek van vele gebruikers van dit boek betekende een waardevolle bijdrage aan de inhoud van deze nieuwe druk. Wij hopen dat wij ook in de toekomst dergelijke opbouwende kritiek mogen blijven ontvangen.

Den Haag, januari 2013
de uitgever

Inhoud

1 Algemene grondbeginselen

1.1	Soorten en categorieën machineonderdelen	1
1.2	Grondbeginselen van het normwezen	1
1.2.1	Duitse en Europese normen, technische regelgeving	2
1.2.2	Het ontstaan van een DIN-norm	2
1.2.3	Decimaalclassificatie (DK)	3
1.3	Normgetallen (voorkeursgetallen en -maten)	3
1.3.1	Betekenis van normgetallen.	3
1.3.2	Opbouw van de reeksen met normgetallen.	3
	Hoofdreeksen – Afgeleide reeksen – Samengestelde reeksen – Reeksen met afgeronde getallen	
1.3.3	Gebruik van normgetallen.	5
	Het bepalen van de schaal – Weergave van de relaties in een NG-diagram – Rekenen met normgetallen	
• 1.3.4	Berekeningsvoorbeelden.	7
1.4	Algemene grondslagen voor het construeren	8
1.4.1	Methodisch ontwerpen.	9
	Oplossingsroute voor het ontwikkelen van nieuwe producten – Beoorde- lingsmethoden	
1.4.2	Grondbeginselen voor het construeren	15
1.4.3	Gebruik van computers bij het ontwerp- en ontwikkelingsproces.	17
1.5	Literatuur.	19

2 Toleranties, passingen en oppervlaktegesteldheid

2.1	Toleranties	21
2.1.1	Maattoleranties	21
	Basisbegrippen – Grootte van de maattolerantie – Toepassingsgebieden voor de tolerantieniveaus – Plaats van de tolerantievelen – Directe aan- duiding van maattoleranties – Maten zonder tolerantie-aanduidingen	
2.1.2	Vormtoleranties.	24
2.1.3	Plaatstoleranties	25
2.1.4	Tolerantieaanduidingen in tekeningen.	25
	Maattoleranties – Vorm- en plaatstoleranties	
2.2	Passingen	26
2.2.1	Basisbegrippen	26
2.2.2	ISO-passingsstelsels	28
	Eenheidsboringsstelsel (<i>EB</i>) – Eenheidsasstelsel (<i>EA</i>)	
2.2.3	Selectie van passingen	28
2.3	Oppervlaktegesteldheid	29
2.3.1	Vormafwijkingen.	29
2.3.2	Oppervlakteaanduidingen in tekeningen	32
• 2.4	Berekeningsvoorbeelden.	33
2.5	Literatuur.	36

3 Sterkte en toelaatbare spanning

3.1	Algemeen	37
3.2	Belasting en belastingssoorten	37
3.3	Materiaalgedrag, sterktegrootheden	42
3.3.1	Statische sterkte (materiaalkentallen)	42
3.3.2	Dynamische sterkte (materiaalwaarden) Grensspanningslijn (Wöhlerkromme) – Vermoeiingssterkediagrammen (VSD) – Waarden voor de vermoeiingssterkte	46
3.4	Statische onderdeelsterkte	50
3.5	Ontwerpspanning (dynamische onderdeelsterkte)	51
3.5.1	Eigenschappen van onderdelen Kerfwerking en ondersteuning – Oppervlaktegesteldheid – Afmetingen van het onderdeel – Oppervlakteversteving – Overige invloeden – Constructiefactor (totale invloedsfactor)	52
3.5.2	Bepaling van de geometrische sterkte (onderdeelsterkte) Geometrische wisselsterkte (wisselsterkte van een constructiedeel) – Geometrische vermoeiingssterkte (onderdeelvermoeiingssterkte)	57
3.6	Veiligheden	60
3.7	Praktische sterkteberekening	62
3.7.1	Globale berekeningen Statisch belaste onderdelen – Dynamisch belaste onderdelen	62
3.7.2	Controle van de statische sterkte	63
3.7.3	Controle van de dynamische sterkte (controle van de vermoeiingssterkte)	64
3.7.4	Sterktecontrole van staalconstructies	65
• 3.8	Berekeningsvoorbeelden	65
3.9	Literatuur	69

4 Tribologie

4.1	Functie en werking	71
4.2	Wrijving, soorten wrijving	71
4.3	Wrijvingstoestanden (smeringstoestanden)	73
4.4	Belasting bij het contact tussen constructie-elementen, contactspanning volgens Hertz	74
4.5	Smeermiddelen	76
4.5.1	Smeeroliën Eigenschappen van de smeeroliën – Indeling van de smeeroliën	76
4.5.2	Smeervetten	84
4.5.3	Overige smeermiddelen	85
4.6	Soorten smering	85
4.7	Schade aan machineonderdelen	86
4.7.1	Slijtage	86
4.7.2	Corrosie	87
4.7.3	Vormen van beschadiging	88
4.8	Literatuur	89

5 Lijm- en soldeerverbindingen

5.1	Lijmverbindingen	91
5.1.1	Functie en werking Fysisch uithardende lijmen (oplosmiddel- en dispersielijmen) – Chemisch uithardende lijmen (reactielijmen)	91
5.1.2	Het uitvoeren van lijmverbindingen	94

	5.1.3	Vormgeving en ontwerp.....	95
		Belasting en sterkte – Factoren die van invloed zijn op de sterkte – Vormgeving van de lijmverbinding	
	5.1.4	Berekening van lijmverbindingen	99
•	5.1.5	Berekeningsvoorbeelden.....	101
	5.1.6	Literatuur (lijmen)	101
	5.2	Soldeerverbindingen	102
	5.2.1	Functie en werking	102
	5.2.2	Het maken van soldeerverbindingen	106
	5.2.3	Vormgeving en ontwerp.....	107
	5.2.4	Berekeningen	109
•	5.2.5	Berekeningsvoorbeelden.....	112
	5.2.6	Literatuur (solderen)	112

6 Lasverbindingen

	6.1	Functie en werking.....	114
	6.1.1	Werkingsprincipe en toepassing	114
	6.1.2	Lasmethoden.....	116
		Smeltlassen – Drukclassen – Keuze van een lasmethode	
	6.1.3	Bijwerkingen van het lasproces.....	116
		Ontstaanswijze van krimp en spanningen – Gevolgen van laskrimp – Combi- natie van eigen- en lastspanningen	
	6.2	Vormgeving en ontwerp.....	120
	6.2.1	Lasbaarheid van de constructiedelen.....	120
		Lasgeschiktheid van materialen – Constructiebepaalde lasveiligheid – Fa- bricageafhankelijke lasveiligheid (lasmogelijkheid) – Lastoevoegmaterialen	
	6.2.2	Verbindings- en lasnaadvormen	125
		Begrippen – Stompe las – Hoeklas – Overige lasverbindingen – Voorbe- werking van laskanten	
	6.2.3	Kwaliteitsborging	130
		Kwaliteitsniveau voor booglasverbindingen in staal volgens DIN EN ISO 25817 – Algemene toleranties voor lasconstructies volgens EN ISO 13920	
	6.2.4	Algemene toleranties voor lasconstructies volgens EN ISO 13920	131
		Lassymbolen – Aanduiding van de stand van een las – Bemating van lasverbindingen – Lasposities volgens DIN EN ISO 6947 – Aanvullende aanduidingen – Voorbeeld	
	6.2.5	Lasgericht vormgeven	135
		Algemene constructieve richtlijnen – Voorbeelden van vormgeving – Overwegend statisch belaste staalconstructies – Gelaste machinedelen – Drukvlaten – Puntlasverbindingen	
	6.3	Berekening van lasconstructies	148
	6.3.1	Staalconstructies	148
		Berekening van belastingen (bijv. snedegroottes, spanningen, doorbuig- ingen) door belasting (lasten) – Berekeningsvoorbeeld – Rekenmodellen – Berekening van constructiedelen – Berekening van lasverbindingen – Puntlasverbindingen	
	6.3.2	Kraanbouw	168
	6.3.3	Machinebouw	169
		Het bepalen van de werkende belasting – Belasting op trek, druk, afschui- ving of buiging – Belasting op wringing (torsie) – Samengestelde belas- ting – Toelaatbare spanningen	

	6.3.4	Drukvalten volgens AD 2000-richtlijnen	172
		Cilindrische mantels en bollen – Gewelfde bodems – Vlakke platen en bodems – Openingen in de tankwand	
•	6.4	Berekeningsvoorbeelden	178
	6.5	Literatuur	186

7 Klinkverbindingen

	7.1	Algemeen	188
	7.2	Klinknagels	189
	7.2.1	Klinknagelvormen	189
	7.2.2	Klinknagelmaterialen	193
	7.2.3	Aanduiding van klinknagels	194
	7.3	Vervaardiging van klinknagelverbindingen	194
	7.3.1	Algemene aanwijzingen	194
	7.3.2	Warmklinken	195
	7.3.3	Koudklinken	196
	7.4	Verbindingstype, snedebelasting	196
	7.5	Klinkverbindingen in staal- en kraanconstructies	197
	7.5.1	Algemene voorschriften	197
	7.5.2	Berekening van de constructiedelen	197
	7.5.3	Berekening van klinknagels en klinknagelverbindingen	197
		Klinknagel- en klinkgatdiameter – De lengte van de klinknagel – Het draagvermogen van klinknagels – Kritieke belasting, optimaal gebruik van de klinknagel – Vereist aantal klinknagels – Staafaansluitingen en verbindingen – Op moment belaste klinknagelverbindingen	
	7.5.4	Vormgeving van klinknagelverbindingen	203
	7.6	Klinkverbindingen in lichtmetalen constructies	204
	7.6.1	Algemeen	204
	7.6.2	Aluminiumklinknagels	205
	7.6.3	Materialen	205
	7.6.4	Berekening van constructiedelen en klinknagels	206
		Algemene voorschriften – Klinknagel- en klinkgatdiameter – Lengte van de klinknagel	
	7.6.5	Constructieve ontwikkeling	207
	7.6.6	Bescherming tegen corrosie	207
	7.7	Klinkverbindingen in de werktuig- en apparatenbouw	208
	7.7.1	Toepassingsvoorbeelden	208
	7.7.2	Maatregelen voor de verhoging van de vermoeiingsgrens	209
	7.7.3	Kwalitatieve bepaling van sterkte	209
	7.8	Ponsklink- en clinchverbindingen	210
	7.8.1	Ponsklinken	210
	7.8.2	Clinchen	212
•	7.9	Berekeningsvoorbeelden	214
	7.10	Literatuur en bronvermelding van de figuren	217

8 Schroefverbindingen

	8.1	Functie en werking	219
	8.1.1	Toepassingen en werking van schroefverbindingen	219
	8.1.2	Schroefdraad	219
		Schroefdraadsoorten – Schroefdraadaanduidingen – Geometrische betrekkingen	

8.1.3	Schroef- en moersoorten	222
	Schroefsoorten – Soorten moeren – Speciale schroeven, moeren en schroefdelen – Aanduiding van genormaliseerde schroeven en moeren	
8.1.4	Ringen en schroefborgingen	225
	Ringen – Schroefborgingen	
8.1.5	Vervaardiging, uitvoering en materialen van bouten en moeren	226
	Vervaardiging – Uitvoering en materialen	
8.2	Vormgeving en ontwerp	227
8.2.1	Uitvoering van schroefdraaduitloop	227
8.2.2	Vormgeving van de schroefverbindingen	230
8.2.3	Inleiding schroefverbindingen	233
8.3	Berekening van bevestigingsschroeven	235
8.3.1	Kracht- en vervormingsverhoudingen bij voorgespannen schroefverbindingen	235
	Krachten en vervormingen in de montagetoestand – Krachten en vervormingen bij een statische bedrijfslast als langskracht – Krachten en vervormingen bij een dynamische bedrijfslast als langskracht – Invloed van de krachtinvoer in de verbinding – Lastverhoudingen bij statische of dynamische dwarskracht	
8.3.2	Zetgedrag van schroefverbindingen	241
8.3.3	Duurzaamheid van schroefverbinding, dynamische zekerheid	242
8.3.4	Aandraaien (vastzetten) van de schroefverbinding, aanhaalmoment	243
	Krachten in de schroefdraad, aanhaalmoment – Aanhaalmoment	
8.3.5	Montage-voorspankracht, aandraaifactor en aandraaimethode	246
8.3.6	Belasting van de schroef bij het aandraaien	248
8.3.7	Beperking van de maximaal toelaatbare schroefbelasting, berekening van de statische veiligheidsfactor	249
8.3.8	Vlaktedruk op de oplegvlakken	250
8.3.9	Praktische berekening van bevestigingsschroeven in de werktuigbouw Niet-voorgespannen schroeven – Voorgespannen schroeven, berekeningswijze	250
8.3.10	Het losdraaien van de schroefverbinding, borgingsmaatregelen	252
	Het losdraaimoment – Zelfstandig loswerken, het lossen van de verbinding – Veiligheidsmaatregelen, gebruik en werking van de borgelementen	
8.4	Schroefverbindingen in staalconstructies	254
8.4.1	Toepassing	254
8.4.2	Schroefsoorten	254
8.4.3	Trek- en drukstaafbevestigingen	255
	Vormgeving van de schroefverbinding – Afschuifbestendige pen/gat-verbindingen – Verbindingen met voorspanbouten (HV-bouten) – Berekening van de onderdelen	
8.4.4	Op moment (afschuiving) belaste bevestigingen	258
8.4.5	Consolebevestigingen	260
8.5	Bewegingsschroeven	261
8.5.1	Globale berekening van bewegingsschroeven	262
8.5.2	Nacontrole van de sterkte van bewegingsschroeven	262
8.5.3	Controle op knik van bewegingsschroeven	264
8.5.4	Controle van de moerschroefdraad (geleidingsschroefdraad)	265
8.5.5	Het rendement van bewegingsschroeven, zelfremming	266
• 8.6	Berekeningsvoorbeelden	266
8.7	Literatuur	274

9 Penverbindingen, spanbussen en borgelementen

9.1	Algemeen	276
9.2	Pennen	276
9.2.1	Vormen en toepassingen	276
9.2.2	Vormgeving en ontwerp van de penverbindingen in de machinebouw . Uitvoeringsvormen en buigmomenten – Ontwerpberekening van de afmetingen van de constructiedelen	277
9.2.3	Berekening van de penverbindingen	279
9.2.4	Vormgeving en ontwerp van penverbindingen in staalconstructies . . . Vormgeving – Ontwerpberekening van de afmetingen van de constructiedelen volgens DIN 18800-1	280
9.2.5	Berekening van de penverbindingen in staalconstructies volgens DIN 18800-1	281
9.3	(Kerf)pennen en spanbussen	282
9.3.1	Vormen en toepassing Conische pennen – Cilindrische pennen – Kerfpennen en kerfnagels – Spanbussen (spanhulzen) – Spanbussen voor lageringen	282
9.3.2	Berekening van penverbindingen Radiale penverbindingen – Geleidepen-verbindingen – Axiale penverbindingen (ronde spieverbindingen)	286
9.4	Borgelementen	288
9.4.1	Borgringen	289
9.4.2	Splitpennen en borgclips	291
9.4.3	Borgplaten voor assen	291
9.5	Vormgevings- en toepassingsvoorbeelden	292
• 9.6	Berekeningsvoorbeelden	295
9.7	Literatuur	300

10 Veren

10.1	Karakteristieke waarden, constructies en materialen voor veren	301
10.1.1	Veerconstante, veer karakteristiek	301
10.1.2	Veerarbeid	303
10.1.3	Trillingsgedrag en demping	304
10.1.4	Soorten veren	305
10.1.5	Veermaterialen	306
10.1.6	Selectie en optimalisering van veren	307
10.2	Op trek en druk belaste veren	307
10.2.1	Trekstaven	307
10.2.2	Ringveren	307
10.3	Op buiging belaste veren	308
10.3.1	Enkelvoudige bladveren	308
10.3.2	Gelaagde bladveren	310
10.3.3	Torsieveren	311
10.3.4	Spiraalveren	314
10.3.5	Schotelveren	315
• 10.4	Op torsie belaste veren van metaal	322
10.4.1	Torsietaafveren	322
10.4.2	Cilindrische schroefveren met cirkelvormige draaddoorsnede	324
10.4.3	Cilindrische schroefveren met een rechthoekige draaddoorsnede	331
10.4.4	Conische drukveren	332
10.5	Veren van rubber	332
10.5.1	Eigenschappen van rubber	332
10.5.2	Uitvoering en toepassing	333
10.6	Berekeningsvoorbeelden	335
10.7	Literatuur	342

11 Draagassen, aandrijfassen en astappen

11.1	Functie en werking	343
11.2	Vormgeving en ontwerp	344
11.2.1	Vormgevingsrichtlijnen	344
	Vormgevingsrichtlijnen betreffende de sterkte – Vormgevingsrichtlijnen betreffende het elastisch gedrag	
11.2.2	Ontwerpberekening	347
	Materialen en halffabrikaten – Grondbeginselen voor de berekening – Bepaling van de ontwerpdiameter	
11.3	Controleberekeningen	358
11.3.1	Controle op sterkte	358
11.3.2	Elastisch gedrag	360
	Vervorming bij torsiebelasting – Vervorming bij buigbelasting	
11.3.3	Kritisch toerental	363
	Trillingen en resonantie – Buigkritisch toerental – Torsiekritisch toerental	
• 11.4	Berekeningsvoorbeelden	367
11.5	Literatuur	374

12 Onderdelen voor het verbinden van assen en naven

12.1	Functie en werking	375
12.2	Vormgesloten as-naaf-verbindingen	375
12.2.1	Inleg- en schijfspieverbindingen	375
	Vormgeving en ontwerp – Berekening	
12.2.2	Spieas- en vertande asverbindingen	379
	Vormgeving en ontwerp – Berekening	
12.2.3	Polygoonverbindingen	381
	Vormgeving en ontwerp – Berekening	
12.2.4	Kopvertanding	382
12.2.5	Penverbindingen	382
12.3	Krachtgesloten as-naaf-verbinding	383
12.3.1	Cilindrische persverbindingen	383
	Vormgeving en ontwerp – Berekening – Gegevens voor de vervaardiging van persverbindingen – Invloed van het toerental bij persverbindingen	
12.3.2	Kegelpersverbindingen	391
	Vormgeving en ontwerp – Berekening van kegelverbindingen	
12.3.3	Klemelementverbindingen	395
	Demonteerbare conische klemringen (DCK) – Sterschijven – Drukhuizen – Hydraulische spanbussen – Tolerantieringen	
12.3.4	Klemverbindingen	402
	Vormgeving en ontwerp – Berekening van klemverbindingen	
12.3.5	Tapse-spieverbindingen	404
	Vormgeving en ontwerp – Berekening van spieverbindingen	
12.3.6	Wringspiebevestiging	406
	Vormgeving en ontwerp – Berekening	
12.4	Materiaalgesloten as-naaf-verbindingen	406
• 12.5	Berekeningsvoorbeelden	407
12.6	Literatuurlijst en figuurverantwoording	411

13 Koppelingen en remmen

13.1	Functie en werking van koppelingen	412
13.2	Berekeningen voor de keuze van koppelingen	413
13.2.1	Aanloopkoppel en het over te brengen koppel van de koppeling	413
13.2.2	Versnellingskoppel, traagheidsmoment	415
13.2.3	Gedrag van drijvende machines en aangedreven werktuigen	417
13.2.4	Koppel van de koppeling	418
	Stootvrije aanloop met een constant koppel – Koppelstoten – Snelheidsstoten – Periodieke wisselingen van het koppel	
13.2.5	Het bepalen van beweegbare koppelingen	421
	Volgens de gegevens van de fabrikanten – Aan de hand van bedrijfsfactoren – Volgens de ongunstigste soort belasting (DIN 740 T2)	
13.2.6	Het bepalen van schakelbare wrijvingskoppelingen	424
	Aanloopproces – Koppels bij wrijvingskoppelingen – Bepalen van de koppelingsgrootte	
13.3	Niet-schakelbare koppelingen	427
13.3.1	Starre koppelingen	427
13.3.2	Beweegbare koppelingen (compenserende koppelingen)	428
	Torsiestijve koppelingen – Elastische koppelingen	
13.4	Schakelbare koppelingen	438
13.4.1	Onafhankelijk bestuurd koppelingen (schakelbare koppelingen)	438
	Vormgesloten schakelbare koppelingen – Kracht-(wrijvings-)gesloten schakelbare koppelingen	
13.4.2	Momentbestuurde koppelingen (veiligheidskoppeling)	448
13.4.3	Toerentalbestuurde koppelingen (centrifugaalkoppelingen)	450
13.4.4	Richtingbestuurde koppelingen (vrijloopkoppelingen)	451
13.4.5	Inductiekoppelingen	453
	Synchrone koppeling – Asynchrone en wervelstroomkoppeling	
13.4.6	Hydrodynamische koppelingen	455
	Met constante vullingsgraad – Met veranderlijke vullingsgraad	
13.5	Richtlijnen voor het gebruik en de keuze van koppelingen	457
13.6	Remmen	460
13.6.1	Functie en werking	460
13.6.2	Berekening	461
13.6.3	Constructies	461
• 13.7	Berekeningsvoorbeelden	465
13.8	Literatuur en bronvermelding van de figuren	475

14 Wentellagers en -lageringen

14.1	Functie en werking	477
14.1.1	Doel en werkingsprincipe	477
14.1.2	Soorten lagers	478
14.1.3	Richtlijnen voor de toepassing van wentellagers	478
14.1.4	Indeling van wentellagers	479
	Opbouw, wentellichamen en materialen – Basisuitvoeringen van wentellagers, contacthoek, lasthoek – Standaarduitvoeringen van wentellagers, hun eigenschappen en toepassingen – Verdere instructies – Maatvoeringen en aanduidingen voor wentellagers	
14.2	Construeren en ontwerpen van wentellageringen	489
14.2.1	Lagerplaatsing	489
	Vast-los-lageringen – Steunlageringen – Lagercombinaties – Meervoudige lagering	

14.2.2	Keuze van een lager	491
14.2.3	Inrichting van de lagerplaatsen	492
	Toleranties en passingen – Constructieve vormgeving van de lagerings- plaatsen	
14.2.4	Smering van wentellagers	495
	Vetsmering – Oliesmering – Smering met een vaste stof	
14.2.5	Lagerafdichtingen	499
14.2.6	Voorkeuze van de lagergrootte	500
14.3	Berekening van wentellagers	500
14.3.1	Statisch draagvermogen	501
	Vereist statisch draaggetal C_0 – Equivalente (gelijkwaardige) statische la- gerbelasting	
14.3.2	Dynamisch draagvermogen	501
	Bepalende grootheden volgens NEN ISO 281 281 – Levensduurvergelij- king volgens NEN ISO 281 – Dynamisch equivalente (gelijkwaardige) lagerbelasting (P en $n = \text{constant}$) – Bepaling van de dynamisch equiva- lente lagerbelasting (P en $n \neq \text{constant}$)	
14.3.3	Vermindering van de draaggetallen van de lagers C en C_0	506
14.3.4	Bereikbare levensduur – Gemodificeerde levensduurberekening	506
14.3.5	Gebruiksduur	507
14.3.6	Maximale toerentallen	508
14.4	Voorbeelden van wentellagerconstructies	508
14.5	Constructie-elementen met wentellagers	511
	Lagerhuiseenheden – Looprollen – Draaiverbindingen – Kogelhuizen – Kogelomloopspilaandrijving	
14.6	Lineaire rolgeleidingen	514
14.6.1	Functie en eigenschappen	514
14.6.2	Draagvermogen en nominale levensduur	516
14.6.3	Selectie van geleidingen, lineaire systemen	517
• 14.7	Berekeningsvoorbeelden voor wentellagers	519
14.8	Literatuur en de bronvermelding van de figuren	527

15 Glijlagers

15.1	Functie en werking	528
15.1.1	Werkingsprincipe	528
15.1.2	Positionering van de glijvlakken	528
15.1.3	Wrijvingstoestanden	529
15.1.4	Invloed van vloeibare smeermiddelen	530
15.1.5	Hydrodynamische smering	533
	Smeerwig – Drukverdeling en draagvermogen	
15.2	Toepassing	536
15.3	Vormgeving en ontwerp	537
15.3.1	Glijlagermateriaal	537
	Tribologisch gedrag – Lagermaterialen	
15.3.2	Invloed van vormgeving en gebruik	540
15.3.3	Smering van glijlagers	544
	Smeermiddelen – Smeermethoden en smerinrichtingen – Toevoer van smeermiddel	
15.3.4	Uitvoering van radiale glijlagers	548
	Lagerbussen, lagerschalen – Constructievoorbeelden	
15.3.5	Uitvoering van de axiale glijlagers	553
15.3.6	Lagerafdichtingen	556

15.4	Berekeningsgrondslagen	559
15.4.1	Berekening van radiale glijlagers.	559
	Bedrijfskenwaarden (relatieve waarden) – Warmtebalans – Smeermiddel- volumestroom (volumestroom) – Berekeningsmethode	
15.4.2	Axiale glijlagers	569
	Taatslagers met vlakke taatsvlakken – Enkelschijfs- en segmenttaatslagers	
• 15.5	Berekeningsvoorbeelden voor glijlagers	575
15.6	Literatuur en bronvermelding van de figuren	581

16 Riemoverbrengingen

16.1	Functie en werking	583
16.1.1	Doel en werkingsprincipe.	583
16.1.2	Riempbouw en riemmateriaal	583
	Vlakke riemen – V-riemen – Poly-V-riemen – Synchronriemen (tand- riem)	
16.2	Construeren en ontwerpen	587
16.2.1	Constructies en toepassingen	587
	Keuze van de soort riem – Riemgeleiding – Voorspanmogelijkheden – Verstel- resp. schakeloverbrenging	
16.2.2	Vormgeving van de riemoverbrenging	590
	Algemene gezichtspunten – Hoofdafmetingen van de riemschijven – Ma- terialen en uitvoering van de riemschijven	
16.3	Construeren van de riemoverbrenging	594
16.3.1	Theoretische principes voor de berekening van de riemoverbrenging	594
	Krachten op de riemoverbrenging – Rek- en overbelastingsslip, overbren- ging – Spanningen, elastisch gedrag – Over te brengen vermogen, optima- le riemsnelheid	
16.3.2	Praktische berekening van de riemoverbrenging.	599
	Riemkeuze – Geometrische en kinematische betrekkingen – Vermogens- berekening – Voorspanning; asbelasting – Controlelijst	
• 16.4	Berekeningsvoorbeelden	608
16.5	Literatuur	612

17 Kettingoverbrengingen

17.1	Functie en werking	613
17.1.1	Doel en toepassing	613
17.1.2	Kettingsoorten, uitvoering en toepassing.	613
	Penkettingen – Buskettingen – Rollenkettingen – Bijzondere uitvoeringen van kettingen	
17.1.3	Kettingwielen	617
17.1.4	Verbindingsonderdelen voor rollenkettingen.	617
17.1.5	Mechanica van kettingoverbrengingen.	618
17.2	Construeren en ontwerpen van rollenkettingoverbrengingen	619
17.2.1	Vertandingsgegevens	619
17.2.2	Het bepalen van de aantallen tanden voor de kettingwielen	620
17.2.3	Uitvoering van de kettingwielen	621
17.2.4	Keuze van de ketting	621
17.2.5	Aantal schakels, asafstand	622
17.2.6	Opstelling van de kettingoverbrenging.	624
17.2.7	Doorzakken van kettingdelen	624
17.2.8	Hulpvoorzieningen	624
17.2.9	Smering en onderhoud van de kettingoverbrenging.	626

17.3	Berekening van de krachten bij de kettingoverbenging.	627
• 17.4	Berekeningsvoorbeeld.	628
17.5	Literatuur.	630

18 Pijpleidingen en toebehoren

18.1	Functies, werking en toepassing.	632
18.2	Bouwwormen	632
18.2.1	Buizen.	632
18.2.2	Slangen.	634
18.2.3	Hulpstukken	635
18.2.4	Appendages	635
	Hefkleppen – Schuifafsluiters – Kranen – Scharnierkleppen	
18.3	Vormgeving en ontwerp.	639
18.3.1	Voorschriften, begrippen en definities	639
18.3.2	Pijpverbindingen	641
	Lasverbindingen voor buizen – Flensverbindingen – Draadverbindingen – Mofverbindingen	
18.3.3	Rekcompensatoren	645
18.3.4	Buishouders	646
18.3.5	Regelgeving voor het ontwerp van leidingsystemen	647
18.3.6	Tekenwijze van leidingsystemen	648
18.4	Berekeningsgrondslagen.	648
18.4.1	Buisdiameter en drukverlies	648
18.4.2	Wanddikteberekening op inwendige druk.	650
	Stalen buizen – Buizen van ductiel gietijzer – Kunststof buizen – Drukstoten	
• 18.5	Berekeningsvoorbeelden.	655
18.6	Literatuur.	658

19 Afdichtingen

19.1	Functie en werking.	660
19.2	Contactafdichtingen tussen stilstaande delen (statische afdichtingen).	662
19.2.1	Niet-losneembare afdichtingen	662
19.2.2	Losneembare afdichtingen	663
19.3	Contactafdichtingen tussen langs elkaar bewegende delen (dynamische afdichtingen)	669
19.3.1	Afdichtingen voor roterende bewegingen	669
19.3.2	Afdichtingen voor langsbewegingen met of zonder rotatiebeweging.	674
19.4	Contactloze afdichtingen tussen langs elkaar bewegende delen.	677
19.5	Literatuur en figuurverantwoording	679

20 Tandwielen en tandwieloverbrengingen (grondslagen)

20.1	Functie en werking.	680
20.1.1	Tandwielen en soorten overbrengingen.	681
20.1.2	Vertandingsregel	684
20.1.3	Flankprofielen en soorten vertandingen	686
	Cycloïde vertanding – Pennenradvertanding (bonkelaar) – Evolvente vertanding	
20.1.4	Theoretisch heugelprofiel, fabricage van evolvente vertanding	690
20.2	Materialen voor tandwielen	692

20.3	Smering van tandwieloverbrengingen	694
20.4	Overbrengingsrendement	696
20.5	Vormgeving van de wielen en de kast	697
20.5.1	Richtlijnen voor de vormgeving	697
	Cilindrische wielen – Kegeltandwielen – Wormen en wormwielen – Vormgeving van de tandwielkast	
20.5.2	Grafische weergave en maatschrijving	700
	Grafische weergave – Maatschrijving	
20.6	Literatuur	702

21 Cilindrische tandwielen met evolvente vertanding

21.1	Geometrie van cilindrische tandwielen	704
21.1.1	Begrippen en definitiegrootheden	704
21.1.2	Vertandingsmaten van nulwielen	706
21.1.3	Ingrijpweg, ingrijpquotiënt (-verhouding)	707
21.1.4	Profielverschuiving (rechte vertanding)	708
	Toepassing – Tandondersnijding, grenstandaantal – Puntvormingsgrens en minimale tanddikte op de topcirkel – Combinatie van tandwielen, soorten overbrenging – Wiel- en overbrengingsafmetingen bij V -tandwielparen	
21.1.5	Evolventefunctie en haar toepassingen bij V -overbrengingen	715
	Toepassing van de evolvente-functie – Som van de profielverschuivingsfactoren en hun opdeling – 0,5-vertanding	
•	21.1.6 Berekeningsvoorbeelden (geometrie van de rechte vertanding)	717
21.2	Geometrie van cilindrische tandwielen met schuine evolvente vertanding	720
21.2.1	Basisvormen, tandhoek	720
21.2.2	Vertandingsmaten	721
21.2.3	Ingrijpverhoudingen, doorgangsverhouding	722
21.2.4	Profielverschuiving (schuine vertanding)	723
	Virtueel tandenaantal, grenstandaantal – Profielverschuivingsfactoren – Wiel- en overbrengingsafmetingen voor V -tandwielparen	
•	21.2.5 Berekeningsvoorbeelden (geometrie van de schuine vertanding)	726
21.3	Toleranties, vertandingskwaliteit (cilindrische wielen)	727
21.3.1	Flankspelingen en tanddikteafwijkingen	727
21.3.2	Controlematen voor de tanddikte	729
•	21.3.3 Berekeningsvoorbeelden (toleranties, vertandingskwaliteit)	730
21.4	Ontwerpberekening (uitwendige vertanding)	732
21.4.1	Voorselectie van de hoofdafmetingen	732
	De asdiameter d_{as} ter bevestiging van het rondsel – Overbrengverhouding i , tudentalverhouding u – Aantal tanden van het rondsel z_1 – Breedte van het tandwiel b – Tandhoek β , tandrichting – Modulus	
21.4.2	Stroomschema ter bepaling van de vertandingsgeometrie	736
21.5	Berekening van het draagvermogen (cilindrische wielen) voor tandwielparen met uitwendige vertanding	736
21.5.1	Beschadigingsmogelijkheden aan tandwielen	736
	Tandbreuk – Vermoeiingsverschijnselen aan de tandflanken – Vreten	
21.5.2	Krachtenverhoudingen	737
	Krachten op een recht cilindrisch tandwielpaar – Krachten op een schuin vertand cilindrisch tandwielpaar	
21.5.3	Factoren die de belasting beïnvloeden	740
21.5.4	Controle van de tandvoetsterkte	743
	Optredende tandvoetspanning – Toelaatbare tandvoetspanning σ_{VG}	
21.5.5	Controle van de contactsterkte	745
	Optredende contact(flank)spanning – Toelaatbare flankspanning σ_{HP}	
•	21.5.6 Berekeningsvoorbeelden (berekening draagvermogen)	749

22 Kegeltandwielen en kegeltandwieloverbrengingen

22.1	Basisvormen, eigenschappen en toepassing	752
22.2	Geometrische betrekkingen	752
22.2.1	Recht vertande kegeltandwielen	752
	Overbrengverhouding, verhouding van het aantal tanden, steekkegelhoek – Algemene wielafmetingen – Ingrijpverhoudingen – Grenswaarde voor het aantal tanden en profielverschuiving	
22.2.2	Schuin vertande kegeltandwielen	757
	Overbrengverhouding, verhouding van het aantal tanden – Wielafmetingen – Ingrijpverhoudingen – Grenstandaantal en profielverschuiving	
22.3	Ontwerpberekening	760
	Asdiameter d_{as} voor de opname van het rondsel – Overbreng- en tandentalverhouding – Aantal tanden – Tandhoek – Tandbreedte – Tandwielmaterialen en vertandingskwaliteit – Modulus	
22.4	Berekening van het draagvermogen	762
22.4.1	Krachtsverhoudingen	762
22.4.2	Tandvoetsterkte van de recht en schuin vertande kegeltandwielen	764
22.4.3	Putvormingssterkte van recht en schuin vertande conische wielen	765
• 22.5	Berekeningsvoorbeelden voor kegeltandwieloverbrengingen	766

23 Schroefwiel- en wormoverbrengingen

23.1	Schroefwieloverbrengingen	773
23.1.1	Functie en werking	773
23.1.2	Geometrische betrekkingen	773
	Overbrengverhouding – Tandhoek – Snelheidsverhoudingen – Wielafmetingen, asafstand	
23.1.3	Ingrijpverhoudingen	774
23.1.4	Krachtsverhoudingen (nulvertanding)	775
23.1.5	Berekening van de afmetingen van de tandwieloverbrenging (nulvertanding)	777
23.2	Wormoverbrengingen	777
23.2.1	Functie en werking	777
	Uitvoeringsvormen en fabricage – Toepassing	
23.2.2	Geometrische betrekkingen bij cilindrische wormoverbrengingen met $T = 90^\circ$ ashoek	779
	Overbrengverhouding – Afmetingen van de worm – Afmetingen van het wormwiel – Asafstand	
23.2.3	Ingrijpverhoudingen	782
23.2.4	Krachtsverhoudingen	783
	Krachten op de worm	
23.2.5	Ontwerpberekening voor een wormoverbrenging	784
	Keuze van de hoofdafmetingen – Materiaalkeuze	
23.2.6	Sterkteberekeningen voor wormoverbrengingen	786
	Putvormingssterkte – Tandvoetsterkte – Doorbuigveiligheid van de wormas – Temperatuurveiligheid bij oliebadsmering	
• 23.2.7	Berekeningsvoorbeelden	789

Index

.	792
-----------	-----

1 Algemene grondbeginselen

1.1 Soorten en categorieën machineonderdelen

Een machineonderdeel kan heel algemeen begrepen worden *als het kleinste, ondeelbare en in gelijke of soortgelijke vorm steeds weer gebruikte onderdeel in technische toepassingen*. Machineonderdelen kunnen zowel enkelvoudige onderdelen, zoals bouten, borgpennen, assen of tandwielen, als samengestelde onderdelen zijn. Deze samengestelde onderdelen, zoals wentellagers, koppelingen of kleppen, bestaan weliswaar uit meerdere enkelvoudige onderdelen maar worden in hun toepassing als eenheid gebruikt.

Technische toepassingen kunnen – afhankelijk van hun complexiteit – uit een veelheid van machineonderdelen bestaan. Tijdens het constructieproces wordt met het oog op het algehele functioneren hun *logische en nuttige* samenwerking *doelgericht* uitgedacht en uitgewerkt. De afzonderlijke machineonderdelen vervullen hierbij ook in de meest uiteenlopende constructies altijd vergelijkbare functies. Dit heeft automatisch geleid tot de ontwikkeling van typische uitvoeringsvormen, waarvan de afmetingen en berekeningsgrondslagen vaak in normen zijn gespecificeerd. Daarom is gedegen kennis van de afzonderlijke machineonderdelen met betrekking tot het ontwerp, de vormgeving en het uit te voeren sterkte- en vervormingsbewijs noodzakelijk.

Hoewel bepaalde machineonderdelen overeenkomstig hun functie voor verschillende doeleinden gebruikt kunnen worden (bijvoorbeeld een koppeling als verbindings- en als overbrengingsonderdeel), kunnen ze naar hun gebruik globaal worden onderscheiden in:

- *verbindingsonderdelen*, bijv. klinknagels, schroeven, spieën, veren, pennen, bouten en las-, soldeer- en lijmverbindingen;
- *lageronderdelen*, bijv. glij- en wentellagers;
- *overbrengingsonderdelen*, bijv. assen en aandrijfassen, tandwielen en overbrengingen, riem- en kettingoverbrengingen;
- *afdichtingsonderdelen*, bijv. statische en dynamische afdichtingen, contactafdichtingen, contactloze afdichtingen;
- *onderdelen voor de geleiding van vloeistoffen en gassen*, bijv. pijpen en bijbehorende delen, armaturen zoals afsluiters, kleppen en kranen.
- *smeermiddelen*, bijv. smeerolie, smeervet, vaste smeermiddelen.

1.2 Grondbeginselen van het normwezen

Normalisering is het planmatig doorvoeren van een bepaalde uniformiteit met betrekking tot voorwerpen waar de samenleving baat bij heeft. Naarmate gemeenschappen groter zijn en de grenzen van de samenleving duidelijker bepaald, worden ordenende spelregels tussen de partners, de fabrikant en de gebruiker belangrijker. Technische normen bevorderen in het algemeen de rationalisering (door middel van bijv. het vastleggen van gestandaardiseerde aanduidingen en begrippen, afmetingen, toleranties en verbindingsmaten ten behoeve van de mogelijkheid tot uitwisseling, vermindering van het aantal verschillende typen), de *kwaliteitsborging* (bijv. meettechniek, methoden voor steekproefgewijze controles, statistische evaluatiemethoden), de *humanisering van de arbeid* (bijv. minimale eisen voor kantoormeubelen, beschermende kleding, binnenverlichting, computerwerkplekken, vastlegging van de waarschuwingssignalen in werkplaatsen). DIN- (en

NEN-)normen kunnen daardoor enerzijds als veiligheidsnormen ter bescherming van de mens een *veiligheidsfunctie* en anderzijds als grondslagen voor wetten een *juridische functie* vervullen. DIN- en NEN-normen vormen een maatstaf voor onberispelijk technisch gedrag, wat ook binnen de rechtsorde van betekenis kan zijn. Een algemene toepassingsverplichting bestaat niet, maar zou op basis van juridische of bestuurlijke voorschriften, verdragen, overeenkomsten of andere rechtsgronden kunnen ontstaan. Door het toepassen van de DIN- en NEN-normen kan niemand zich onttrekken aan de verantwoordelijkheid voor de eigen handelwijze!

1.2.1 Duitse en Europese normen, technische regelgeving

In Duitsland werden aan het begin van de twintigste eeuw op het gebied van de elektrotechniek de VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker e. V.) en voor de overige gebieden de normalisatiecommissie van de Duitse industrie, uitgever van de 'Deutsche Industrie Normen' (DIN) als particuliere vereniging opgericht. In 1926 vond de naamsverandering plaats van DIN naar 'Deutscher Normen Ausschuss' (DNA) en in 1975 werd de naam veranderd in 'DIN Deutsches Institut für Normung e.V.', gevestigd te Berlijn.

Naast de normen en regelgeving van deze verenigingen worden andere regels door onder meer particuliere organisaties, publiekrechtelijke vennootschappen en technische commissies uitgegeven; voorbeelden zijn de *VDI-richtlijnen* (Verein Deutscher Ingenieure; Vereniging van Duitse Ingenieurs¹⁾), *VDG-merkladen* (Verein Deutscher Gießereifachleute; Vereniging van Duitse Gieterijvaklieden), *DVS-merkladen en -richtlijnen* (Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren; e. V.; Duitse vereniging voor las- en verwante technieken), *AD2000-Merkblätter der Arbeitsgemeinschaft*; *AD-merkladen* van de werkgemeenschap *Druckbehälter* (Verband der TÜV e.V.), *DVGW-Regelwerk* (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.; Duitse vereniging voor het gas- en waterwezen).

De door deze instituten uitgegeven werkbladen en richtlijnen zijn 'aanbevelingen'; het staat een ieder vrij om deze erkende regels al dan niet te gebruiken.

Op het internationale vlak vormen de 'International Organisation for Standardization' (ISO) en de 'Electrotechnical Commission' (IEC), gevestigd in Genève, gezamenlijk het *systeem van de internationale normalisering*. Ieder land kan via zijn nationale normaliseringsinstituut lid zijn van deze commissie. Het DIN behartigt de belangen van Duitsland in de ISO en de VDE, evenals de Duitse Elektrotechnische Commissie van het DIN in de IEC. Internationale normen worden als *DIN-ISO-normen* in het geheel van Duitse normen opgenomen. Op het gebied van de Europese Gemeenschap vormen de Europese Commissie voor de Normalisering (CEN) en het Europese Comité voor de Elektrotechnische Normalisering (CENELEC) *het Gemeenschappelijke Europese Normeninstituut*. De leden hiervan zijn de nationale normaliseringsinstituten van de lidstaten van de Europese Gemeenschap en de Europese Vrijhandelszone. Een Europese norm moet door alle lidstaten in de nationale normen opgenomen worden, zelfs wanneer de betreffende lidstaat tegen de norm gestemd heeft. Zoals bij de DIN-EN-normen op Europees vlak, worden de internationale normen als *DIN-ISO-normen* in het geheel van normen opgenomen.

1.2.2 Het ontstaan van een DIN-norm

DIN-normen worden volgens een in DIN 820 vastgelegde werkwijze bewerkt en uitgegeven. Iedereen kan een verzoek indienen om een norm op te stellen. Het normaliseren begint in de *Vaknormeringscommissies* (Fachnormenausschüssen; FNA). De medewerkers hiervan zijn afkomstig uit de belanghebbende vakgebieden (industrie, hogescholen, overheid, bonden etc.). Voor de definitieve vastlegging van een DIN-norm moet de conceptversie publiekelijk ter kennisname worden voorgelegd. De conceptversie wordt in de 'DIN-Anzeiger für technische Regeln' (DIN-blad voor technische regels) gepubliceerd. Kritiek en verzoeken tot wijziging zijn mogelijk tot het einde van

¹⁾ Reeds in 1869 vond de uitgave plaats van het 'Boek voor genormaliseerde walsprofielen' en 1881 'Leveringsvoorwaarden voor ijzer en staal'.

de aangegeven inspraakperiode (gewoonlijk 4 tot 6 maanden). Over de ingediende voorstellen wordt door de FNA na het horen van de indieners beslist. (Bezwaren kunnen ook het terugtrekken van een ontwerp tot gevolg hebben.) Tegen de beslissing van de FNA kan een *bemiddelings-* of een *gerechtelijke procedure* worden ingesteld. Wanneer het definitieve of het nieuwe ontwerp is opgesteld en doorgestuurd naar het keuringsbureau zijn de werkzaamheden van de FNA beëindigd. Nadat is gecontroleerd of het concept voldoet aan de beginselen en regels voor het normaliseren, de consistentie, eenduidigheid en inhoudelijke afstemming op andere normen, wordt het als *DIN-Norm* in het geheel van Duitse normen opgenomen. Het verschijnen van de DIN-norm wordt in de 'DIN-Anzeiger für technische Regeln' bekendgemaakt. Normen waarbij voor bepaalde gedeelten nog een voorbehoud geldt, worden als een *voornorm* uitgegeven, volgens welke bij wijze van proef gewerkt kan worden.

De totale ontwikkeling van een normvoorstel, van de aanvraag tot aan de publicatie, kan enkele jaren duren (voornorm < 3 jaar, norm 5 jaar).

1.2.3 Decimaalclassificatie (DC)

De DC vormt een ordeningsschema dat de kennis van de mensheid, volgens de tientallenclassificatie, overzichtelijk en gebruiksklaar in tien hoofdcategorieën 0 ... 9 samenvat¹⁾: **0** (Algemeen, bibliografie, bibliotheekwezen); **1** (Filosofie, psychologie); **2** (Religie, theologie); **3** (Sociale wetenschappen, recht, bestuur); **4** (niet benut); **5** (Wiskunde, natuurwetenschappen); **6** (Toegepaste wetenschappen, medicijnen, techniek); **7** (Kunst, kunstnijverheid, spel, sport); **8** (Taalwetenschap, literatuur, literatuurwetenschappen); **9** (Geografie, geschiedenis). Deze hoofdcategorieën zijn maximaal in negen groepen onderverdeeld, en deze op hun beurt in maximaal negen gedeelten; dus hoofdcategorie 6 met onderverdeling 62 (Ingenieurswezen, technisch) en onderdeel 621 (Werktuigbouwkunde). Op die manier worden bijvoorbeeld glijlagers bij *DC 621.822.5* en tandwielen bij *DC 621.833.05* ingedeeld.

1.3 Normgetallen (voorkeursgetallen en -maten)

1.3.1 Betekenis van normgetallen

NormGetallen (NG) volgens DIN 323 (NEN 3070) vormen door middel van internationale normen (ISO 3, ISO 17, ISO 497) een samenhangend, algemeen geldig getallenstelsel, dat dient voor een alomvattende ordening en vereenvoudiging binnen het technische en wetenschappelijke werk. NG zijn voorkeursgetallen voor de keuze respectievelijk het graderen van willekeurige grootheden (bijv. lengte, oppervlakte, volume, kracht, druk, moment, spanning, toerental, vermogen). Het doel ervan is om praktisch getallenreeksen tot een noodzakelijk minimum te beperken. Men moet ernaar streven de getalwaarden van grootheden volgens NG te kiezen, voor zover niet om bepaalde redenen (bijv. bepaalde natuurkundige randvoorwaarden) de keuze van andere getallen vereist is. Is het niet mogelijk alle vast te leggen waarden volgens NG te kiezen, dan moeten in eerste instantie voor de hoofdkengetallen wel NG gebruikt worden. Reeksen met op de NG gebaseerde grootheden vertonen een duidelijke structuur, zodat het mogelijk is om rationeel te ontwerpen.

1.3.2 Opbouw van de reeksen met normgetallen

1. Hoofdreeksen

NG zijn overeengekomen afgeronde termen van reeksen die de geheeltallige machten van 10 bevatten, dus ... 0,01 0,1 1 10 100 1000 ... (zie **tabel 1-16**).

¹⁾ Het gebruik van getallen maakt de DC onafhankelijk van gesproken en geschreven taal en daarmee zeer geschikt voor internationale toepassing.

Deze NG-reeksen worden in het algemeen met R_r aangeduid, waarbij r het aantal niveaus per decimaalgebied weergeeft. Iedere reeks begint met één (of het 10-, 100-voudige, etc., of het 10de, 100ste etc., deel van de waarde) en iedere volgende term ontstaat door vermenigvuldiging met een bepaalde stap $q_r = \sqrt[r]{10}$, dit is de verhouding tussen een element van de reeks tot het voorgaande element.

In NEN 3070 (DIN 323) worden de volgende *hoofdreeksen* R_r met de bijbehorende *stap* q_r voorgesteld (vgl. **tabel 1-16**):

hoofdreeks R5 met de stap $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1,60$

hoofdreeks R10 met de stap $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1,25$

hoofdreeks R20 met de stap $q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1,12$

hoofdreeks R40 met de stap $q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1,06$

De uitzonderingsreeks R80 met $q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1,03$ mag alleen in speciale gevallen gebruikt worden. Voor opeenvolgende stappen tussen de grootheden verdient de hoofdreeksen in de volgorde R5, R10, R20, R40 de voorkeur. Een grove stapgrootte kan namelijk voordelen opleveren, vanwege de kostenbesparing op werktuigen, inrichtingen en meetapparaten die bij de productie worden gebruikt en het aanhouden van kleinere voorraden van onderdelen en reserveonderdelen.

2 Afgeleide reeksen

Als er geen hoofdreeks bruikbaar blijkt te zijn, bijv. wanneer een bepaalde uitgangsgrootte gegeven dan wel vereist is of wanneer een stap niet past in een hoofdreeks, dan kunnen uit de genoemde volledige reeksen door het weglaten van termen *afgeleide reeksen* gevormd worden. Wordt de keuze zo gemaakt dat slechts iedere p -de term van een hoofdreeks (ook een reeks met gehele waarden) moet worden gebruikt, dan ontstaat een *afgeleide reeks* R_r/p met constante stap $q_{r/p} = q_r^p$. Op die manier ontstaat bijvoorbeeld uit ieder derde element ($p = 3$) van de reeks R20, voor een naar onderen begrensde afgeleide reeks R20/3 (2 ...) een stijgende getallenreeks, beginnend met waarde 2, door de respectievelijke termen te bewerken met behulp van de stap:

$$q_{(20/3)} = q_{20}^3 = 1,12^3 = 1,4: \quad \mathbf{2 \ 2,8 \ 4 \ 5,6 \ 8 \ 11,2 \ etc.}$$

Een naar boven begrensde dalende afgeleide reeks $R_r/-p$, bijv. R20/-3 (4 ...) ontstaat voor de stap:

$$q_{r/-p} = q_{20/-3} = q_{20}^{-3} = 1/1,12^3 = 1/1,4: \quad \mathbf{4 \ 2,8 \ 2 \ 1,4 \ etc.}$$

De van R40 afgeleide reeksen dienen waar mogelijk vermeden te worden en de van R80 afgeleide reeksen zijn hooguit bij een zeer fijne schaling of als secundaire reeks te gebruiken, bijv. voor uitgangsmateriaal, als de uiteindelijke maten van de voorkeursreeks hieruit volgen.

3 Samengestelde reeksen

Is een constante uniforme stap bij de opbouw van een reeks niet mogelijk, dan kan ook uit twee of meer deelreeksen een *samengestelde reeks* gevormd worden. Met zulke reeksen kan rekening gehouden worden met een hoeveelheidsverdeling in de vraag, zonder dat het principe van de groter wordende stappen overboord gezet hoeft te worden. Als voorbeeld wordt een reeks in het gebied van 10 tot 25 volgens R5 verdeeld, in het gebied van 25 tot 35,5 volgens R20/3, in het gebied van 35,5 tot 63 volgens R40/5 en in het gebied van 63 tot 125 volgens R10, zodat de gewijzigde reeks **10 16 25 35,5 47,5 63 80 100 125** is.

Een bijzondere betekenis bij deze samengestelde reeksen hebben de *groepsgewijze geometrische reeksen*, waarvan de stap periodiek verandert binnen het bereik. Soms worden ze aangeduid met R_{ar} bijv. R_{a10} : **3 4 5 6 8 10 12 16 20** met de periodiek optredende stappen 1,33 1,25 1,2, dus gemiddeld 1,25 overeenkomstig de reeks R10. Deze reeks van gehele getallen komt ook overeen met $R''20/2$ (zie **tabel 1-16**).

4 Reeksen met afgeronde getallen

Waar het gebruik van de hoofdwwaarden in de praktijk om dwingende redenen niet mogelijk is (bijv. 36 tanden in een tandwiel in plaats van 35,5) of waar in de handel gangbare waarden over-

genomen moeten worden, kunnen afgeronde waarden gebruikt worden. Er wordt *onderscheid* gemaakt tussen reeksen met licht afgeronde waarden R'10, R'20, R'40 en met sterk afgeronde waarden R"5, R"10, R"20 (zie **tabel 1-16**). Vanwege de grotere afwijking van de precieze waarden leveren de laatste echter een minder gelijkmatige stapgrootte op.

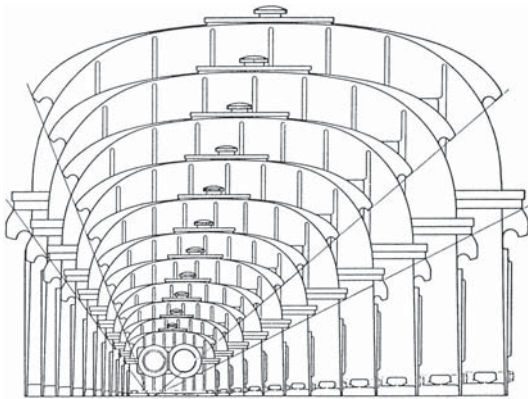
1.3.3 Gebruik van normgetallen

In de praktijk spelen normgetallen vooral bij een zinvolle planning van de stapgrootte (normalisatie) tussen onderdelen of machines een rol van betekenis, omdat deze methode leidt tot een beperkt aantal onderdelen of machines, die toch een bepaalde vraag volledig kunnen dekken. Voor de keuze van het aantal eenheden voor de markt, bijv. de keuze van het aantal overbrengingen om een bepaald vermogen-, toerental- en overbrengingsgebied te bestrijken, zijn niet alleen technische, maar ook economische eisen doorslaggevend.

Als in een reeks producten alle afmetingen veranderen met dezelfde stap, dan zijn de producten van de reeks geometrisch gelijk. Als de stapgrootten van de afmetingen van een uitgangsgrootheid en de stap als NG gekozen worden, dan worden de afmetingen van de producten van de volgende grootheden eveneens NG. Zulke geometrisch overeenkomstige constructies zijn ook mechanisch gelijk wanneer op het model (uitgangsgrootheid) en op de producten met de daarop volgende grootheden statische of dynamische krachten werken die slechts elastische vormveranderingen veroorzaken, en als voor hetzelfde materiaal in een overeenkomstige doorsnede van de producten een even grote spanning heerst.

Als in een reeks onderdelen of machines met een overeenkomstige doorsnede de belasting even groot moet blijven, dan moet de wet van Hooke gelden: $\sigma = \varepsilon \cdot E = \text{constant}$.

Deze wet maakt het mogelijk dat met één model van één afmeting een hele reeks producten met verschillende afmetingen ontwikkeld kan worden, en dat de bedrijfservaringen van het model naar alle producten met bijbehorende afgeleide grootheden vertaald kunnen worden (zie **figuur 1-1**).



Figuur 1-1

Voorbeeld van een modellenreeks van vertragskasten (afbeelding Flender)

1 Het bepalen van de schaal

De *lengteschaal* q_L , die overeenkomt met de stap $q_{r/p}$ is zeer eenvoudig te bepalen, en wel met de verhouding van de lengte L_1 van de eerstvolgende afgeleide constructie tot de lengte L_0 van het origineel (basisontwerp c.q. model): $q_L = L_1/L_0 \cong q_{r/p}$.

De geometrische, statische en dynamische kengetallen van vlakken (doorsneden), volumina, krachten, vermogens etc., die nodig zijn voor het verder berekenen en vastleggen van de producten, worden uitgedrukt in schaalgrootten die van de lengteschaal zijn afgeleid:

$$\text{oppervlakteschaal} \quad q_A = A_1/A_0 = L_1^2/L_0^2 \cong q_L^2$$

respectievelijk

$$\text{volumeschaal} \quad q_V = V_1/V_0 = L_1^3/L_0^3 \cong q_L^3,$$

dat wil zeggen dat ze worden uitgedrukt in lengten met q_L volgens de reeks $Rr/p = R10/2$ ($r = 10$, $p = 2$), Ze worden dus geschaald met de stap:

$$q_{r/p} = q_{10/2} = q_{10}^2 = 1,25^2 \approx 1,6$$

In dat geval zijn oppervlakken (doorsneden) met $q_{A'} = q_L^2$ te schalen volgens de reeks $Rr/2p = R10/4$, dus met de stap:

$$q_{r/2p} = q_{10/4} = q_{10}^4 = 1,25^4 \approx 2,5$$

Hetzelfde geldt voor de volumes met $q_V \cong q_L^3$ volgens de reeks $Rr/3p = R10/6$, dus met de stap:

$$q_{r/3p} = q_{10/6} = q_{10}^6 = 1,25^6 \approx 4.$$

De *krachtschaal* $q_F = F_1/F_0$ kan voor een statische kracht bijv. uit de algemeen geldende vergelijking voor trek worden afgeleid. Voor het doorsnede-oppervlak A' geldt in het algemeen $F = \sigma_z \cdot A'$. Onder de aanname dat de spanning σ_z met het doorsnede-oppervlak A' gelijk moet blijven, is F slechts van A' afhankelijk en moet dan ook net zoals het doorsnede-oppervlak A' verschaald worden, dus met de stap $q_F \cong q_{A'} \cong q_L^2$ voor de reeks $Rr/2p$.

Voor een dynamische kracht, bijv. een versnellingskracht, geldt algemeen $F = m \cdot a$. Is voor de versnelling a in m/s^2 , de massa $m = \rho \cdot V$ en voor hetzelfde materiaal de soortelijke massa $\rho = \text{constant}$, dan geldt voor de krachtschaal:

$$q_F = F_1/F_0 = (m_1 \cdot a_1)/(m_0 \cdot a_0) = (V_1 \cdot a_1)/(V_0 \cdot a_0) \cong q_m \cdot q_a = q_L^3 \cdot q_L/q_t^2 = q_L^4/q_t^2,$$

als de tijdschaal $q_t = t_1/t_0$ is. Omdat geometrische vormgelijkheid alleen te bereiken is als er een constante verhouding tussen statische en dynamische krachten bestaat, geldt:

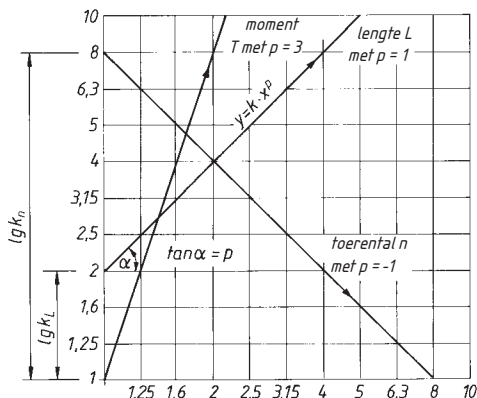
$$q_F = q_L^2 = q_L^4/q_t^2 \quad \text{respectievelijk} \quad q_L^2/q_t^2 = 1,$$

dus $q_L = q_t$ (de lengteschaal is gelijk aan de tijdschaal); evenzo wordt $q_\sigma = q_F/q_{A'} = q_L^2/q_L^2 = 1$ en $q_v = q_L/q_t = 1$.

Voor andere belangrijke kengetallen kunnen overeenkomstige verhoudingen bepaald worden, onder de voorwaarde dat $q_L = q_t$ en dat de spanningschaal q_σ gelijk is aan de snelheidsschaal q_v . Deze verhoudingen zijn, afhankelijk van de lengtematen voor verschillende stappen en reeksen weergegeven in **tabel 1-15**.

2 Weergave van de relaties in een NG-diagram

Omdat bijna alle technische relaties zijn uit te drukken in de vergelijking $y = k \cdot x^p$ waarvan de logaritmische vorm gelijk is aan $\lg(y) = \lg(k) + p \cdot \lg(x)$ kan hiermee elke relatie in een een dubbellogaritmisch diagram door een rechte lijn met helling p worden weergegeven, zie **figuur 1-2**.



Figuur 1-2

Voorbeelden van relaties in een NG-diagram (schematisch, aangenomen is de betreffende uitgangsgrootte $\lg(k)$): lengte L met $p = 1$; moment T met $p = 3$; toerental n met $p = -1$)

3 Rekenen met normgetallen

Als grootheden als NG gekozen worden, kunnen berekeningen en andere processen vereenvoudigd worden. Vele wiskundige en natuurkundige getallen kunnen dan door *triviale waarden* vervangen worden, zodat het resultaat wederom bestaat uit NG (vergelijk **tabel 1-16**).

Bij het rekenen met NG wordt in het algemeen voldaan aan de nauwkeurigheidseisen bij technische berekeningen, ondanks de afronding van de hoofdwwaarden. Met name vermenigvuldigen en delen zijn voordelig. Hetzelfde geldt voor het machtsverheffen met geheeltallige machten van NG, omdat het resultaat weer bestaat uit NG (bijv. $3,15 \cdot 1,6 = 5$ respectievelijk $3,15/1,25 = 2,5$ respectievelijk $1,25^4 = 2,5$). Daarentegen is bij het optellen en aftrekken van NG het resultaat slechts zelden weer een NG; dit geldt ook bij worteltrekken, ofwel bij het rekenen met gebroken machten. Ook doen zich bij hogere machten van de afgeronde waarden aanzienlijke onnauwkeurigheden voor, die rekenfouten tot gevolg hebben.

1.3.4 Berekeningsvoorbeelden

- **Voorbeeld 1.1:** Een transportmachine moet gebouwd worden met een vermogen $P_1 = 160$ kW bij een toerental $n_1 = 200 \text{ min}^{-1}$. Voor het uittesten en het opdoen van ervaring moet allereerst een model van hetzelfde materiaal op schaal 1:8 worden gebouwd. Bepaald moet worden: het vermogen P_0 en het toerental n_0 van het model.

- **Oplossing:** De lengteschaal volgt uit de definitie $q_L = L_1/L_0 = 8/1 = 8$; hieruit volgt voor de lengte van het model (de afgeleide constructie):

$$L_0 = \frac{L_1}{q_L} = \frac{L_1}{8}.$$

Volgens **tabel 1-15**, regel 11, is de vermogensschaal:

$$q_P = \frac{P_1}{P_0} = q_L^2 = 8^2 = 64$$

Zodoende wordt het vermogen van het model $P_0 = P_1/q_P = 160 \text{ kW}/64 = 2,5 \text{ kW}$.

Voor de toerentalschaal geldt volgens **tabel 1-15**, regel 9:

$$q_n = \frac{n_1}{n_0} = \frac{1}{q_L} = \frac{1}{8}.$$

Zodoende wordt het toerental van het model $n_0 = n_1/q_n = n_1 \cdot 8 = 1600 \text{ min}^{-1}$.

Resultaat: Het vermogen van het model bedraagt $P_0 = 2,5 \text{ kW}$, het toerental van het model bedraagt $n_0 = 1600 \text{ min}^{-1}$.

- **Voorbeeld 1.2:** Voor de codering en het opnemen in de fabrieksnorm moeten doosvormige liggers van gietstaal in vijf grootten, gestaffeld volgens NG-reeks R20, met behulp van 'soortgelijkheids'-relaties ontwikkeld worden, zie **figuur 1-3**. De afmetingen van de dwarsdoorsnede van de kleinste ligger is met de volgende NG vastgelegd:

$$h_1 = 125 \text{ mm}, \quad b_1 = 80 \text{ mm}, \quad h_2 = 90 \text{ mm}, \quad b_2 = 63 \text{ mm}.$$

Gevraagd worden de afmetingen van de dwarsdoorsneden, de weerstandsmomenten om de x-as en het door de liggers op te nemen maximale buigend moment in Nm bij een toelaatbare buigspanning van $\bar{\sigma}_b = 120 \text{ N/mm}^2$ te bepalen en in een NG-diagram weer te geven.

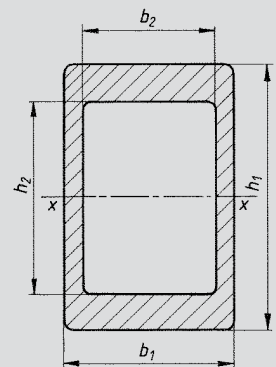
- **Oplossing:**

Afmetingen van de dwarsdoorsneden:

De afmetingen van de dwarsdoorsneden worden vastgelegd volgens **tabel 1-16**. Daaruit volgen volgens de reeks R20, bijv. voor de hoogte van de ligger H_1 , beginnend met de waarde 125 mm, de volgende maten:

$$125, 140, 160, 180 \text{ en } 200 \text{ mm}.$$

Op dezelfde manier worden de andere afmetingen vastgelegd.



Figuur 1-3 Dwarsdoorsnede van een doosvormige ligger

De lengteschaal, overeenkomstig de stap van de afmetingen, is volgens de reeks R20:

$$q_{Laa}nq_{r/p} = q_{20} = 1,12 \quad \text{voor } p = 1.$$

Deze stapgrootte ontstaat ook via de afgeleide reeks R40/2 met $p = 2$ en $q_{40/2} = 1,06^2 = 1,12$.

Weerstandsmoment W_x :

Allereerst wordt het weerstandsmoment W_{x1} voor de kleinste dwarsdoorsnede bepaald. Voor een doosvormige doorsnede volgt deze bij verwaarlozing van de afrondingen uit:

$$W_{x1} = (b_1 \cdot h_1^3 - b_2 \cdot h_2^3) / (6 \cdot h_1) = \dots = 147,1 \text{ cm}^3.$$

Het bij deze waarde in de buurt liggende NG volgens reeks R20, **tabel 1-16**, is 140. Na reeks R40 is dit 150. Rekening houdend met de afrondingen wordt besloten tot $W_{x1} = 140 \text{ cm}^3$. De weerstandsmomenten voor de liggers van andere grootten kunnen nu zonder verdere berekening volgens **tabel 1-16** worden vastgesteld. Afhankelijk van de lengteschaal $q_{r/p} = q_{20/1}$, overeenkomstig de reeks $R_{r/p} = R_{20/1}$, schalen we de weerstandsmomenten met de factor $q_{r/3p} = q_{20/3}$, overeenkomstig de reeks $R_{r/3p} = R_{20/3}$, dus met elke derde term van de reeks R20. Beginnend met de waarde $W_{x1} = 140 \text{ cm}^3$ ontstaan daarmee volgens **tabel 1-16** de volgende waarden voor W_x : 140, 200, 280, 400 cm^3 .

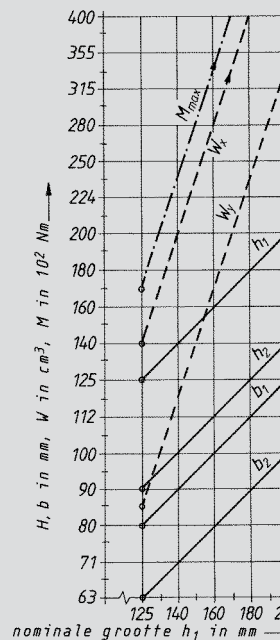
Buigend moment M_{\max} :

Net zoals bij W_x wordt ook het buigend moment M_{\max} allereerst voor de kleinste ligger bepaald. Uit de vergelijking $\sigma_b = M/W \leq \bar{\sigma}_{b\text{zul}}$ volgt het buigend moment, voorlopig met de precieze waarde voor W_{x1} :

$$M_1 = 10^3 \cdot 147,1 \text{ mm}^3 \cdot 120 \text{ N/mm}^2 = 17652 \cdot 10^3 \text{ Nmm}.$$

Voor alle zekerheid kiezen we het daaronder liggende NG, namelijk 17, uit de reeks R40, zodat $M_1 = 17 \cdot 10^3 \text{ Nm}$. Afhankelijk van de stapgrootte voor de lengteschaal $q_{r/3p} = q_{40/2}$, overeenkomstig reeks 40/2, bepalen we de momenten met $q_{r/3p} = q_{40/6}$, overeenkomstig reeks 40/6, dus met iedere zesde term van de reeks R40. Beginnend met $M_1 = 17 \cdot 10^3 \text{ Nm}$ volgen daaruit de volgende waarden voor M_{\max} :

$$17 \cdot 10^3, 23,6 \cdot 10^3, 33,5 \cdot 10^3, 47,5 \cdot 10^3, 67 \cdot 10^3 \text{ Nm}.$$

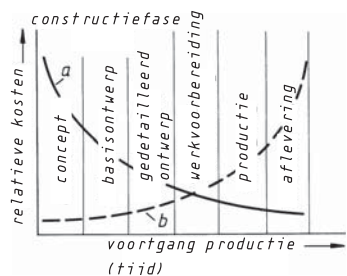


Figuur 1-4 NG-diagram voor de ligger volgens **figuur 1-3**

1.4 Algemene grondslagen voor het construeren

Elk technisch product doorloopt een bepaalde levenscyclus. Belangrijke fasen hierbij zijn de ontwikkeling, de introductie op de markt, de groei, de volwassenheid en vervolgens de terugval van het product, de staking van de productie en uiteindelijk de terugname van het product uit de markt. Omdat de levensduur van een product begrensd is, moet op tijd een opvolging door een nieuw product gepland en gerealiseerd worden. Dit heeft o. a. te maken met nieuwe technische ontwikkelingen, nieuwe wettelijke regelingen, gewijzigde gebruikersverwachtingen of een verkeerde marketing.

Bij de productontwikkeling ligt een bijzondere verantwoordelijkheid bij de constructeurs en ontwerpers, omdat hun werk van essentieel belang is voor het economisch succes. Daarom worden de uiteindelijke totale kosten voor een product in eerste instantie in de ontwerpfase bepaald, terwijl deze fase zelf weinig bijdraagt aan de kostenopbouw, zie **figuur 1-5**. Het is dan ook absoluut noodzakelijk om voortdurend in het ontwerpproces te investeren en met moderne hulpmiddelen (bijv. reken- en tekenprogramma's en systemen voor computer-ondersteunde productontwikkeling), uitgaande van de nieuwste inzichten op het gebied van ontwerpmethodes, de basis voor een succesvolle productontwikkeling te leggen.



Figuur 1-5 Mogelijkheden om de kosten te beïnvloeden
(curve a – beïnvloeding van de fabricagekosten,
curve b – ontwikkeling van de kosten)

1.4.1 Methodisch ontwerpen

In het verleden werd een constructie bepaald door een creatieve constructeur. Persoonlijke ervaring en een intuïtieve¹⁾ benadering gingen daarbij hand in hand – wat vaak leidde tot toevallige oplossingen. Gaat men er bijvoorbeeld van uit dat een te construeren apparaat uit n verschillende onderdelen bestaat, waarbij voor ieder onderdeel m varianten mogelijk zijn, dan hebben we te maken met $z = m^n$ mogelijke combinaties of oplossingen (bijv. met $n = 6$ en $m = 4$, $z = 4^6 = 4096$). Om uit deze z mogelijke oplossingen voor een bepaald ontwerp de juiste constructieve oplossing te vinden, zijn methodische constructiehulpmiddelen noodzakelijk.

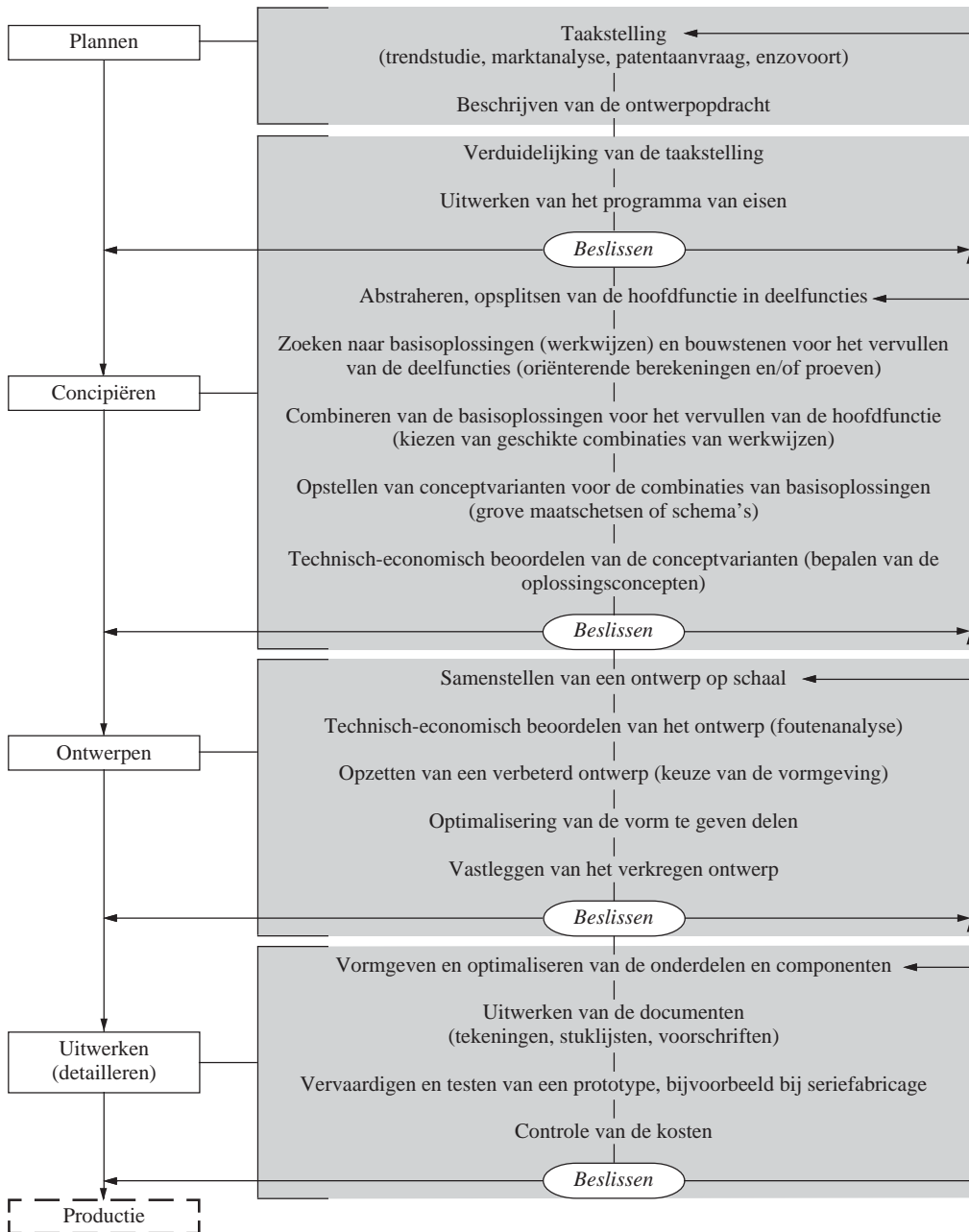
Hierna worden enkele belangrijke principes van het methodisch ontwerpen beschreven aan de hand van de VDI-richtlijnen 2221 ‘Methodiek voor het ontwikkelen en construeren van technische systemen en producten’, 2222 ‘Concipiëren van technische producten’, 2223 ‘Methodisch ontwerpen van technische producten’ en 2225 ‘Technisch- economisch construeren’. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de methode die hier in vereenvoudigde vorm is voorgesteld, slechts een van de vele mogelijkheden is.

1 Oplossingsroute voor het ontwikkelen van nieuwe producten

Het ontwikkelings- en constructieproces wordt volgens VDI-richtlijn 2222, blad 1 in zeven basisstappen onderverdeeld: (1) *verduidelijken en preciseren van de taakstelling*; (2) *bepalen van de functies en hun structuren*; (3) *zoeken naar basisoplossingen en hun structuren*; (4) *onderverdelen in realiseerbare modules*; (5) *ontwerpen van de bepalende modules*; (6) *ontwerpen van het gehele product*; (7) *uitwerken van de vormgevings- en gebruiksgegevens*. In de praktijk worden in het algemeen, onderscheiden naar de betreffende toepassingen, afzonderlijke stappen in de ontwikkelings- en ontwerpfasen samengevoegd. Bij de machinebouw worden in het constructieproces vier hoofdfases onderscheiden: *plannen–concipiëren–ontwerpen–uitwerken*. **Figuur 1-6** geeft de werkzaamheden aan die bij de afzonderlijke fasen horen en de beslissende momenten waarop belangrijke besluiten voor het verdere verloop moeten worden genomen.

Na het vaststellen van het ontwikkelingsproces volgt het programma van eisen. Hierbij dienen eerst alle onduidelijkheden betreffende het ontwerp opgehelderd en de resultaten ervan schriftelijk vastgelegd te worden. Dit betreft o.a. alle eisen en wensen die aan het ontwerp worden gesteld, bijv. gegevens over afmetingen, prestaties, montage, bediening en onderhoud, kosten en data. Deze eisen dienen met het oog op een latere beoordeling van de verschillende oplossingen en een soepele besluitvorming nog in vaste en minimale eisen te worden onderverdeeld, zie **figuur 1-7**. Het eigenlijke ontwerpproces begint met het ‘Concipiëren’ en leidt via het oplossingsconcept en het totaalontwerp tot het opstellen van de productdocumentatie. Is een hoofdfase met succes beëindigd, dan wordt de fase in een besluitvormingsproces afgesloten en een volgende hoofdfase vrijgegeven, zie **figuur 1-6**. Voldoet het resultaat niet, dan worden de laatste stappen opnieuw doorlopen. In de regel behoren hiertoe ook aanvullende tussentijdse beslissingen, die niet in het stroomschema volgens **figuur 1-6** zijn weergegeven. Het is zelfs mogelijk om een ontwikkeling die niet meer lonend blijkt te zijn op verschillende tijdstippen te beëindigen.

¹⁾ Intuïtief = afgaand op het gevoel



Figuur 1-6 Stappenplan voor het ontwerpen van nieuwe producten volgens de VDI-richtlijn 2222, bl. 1

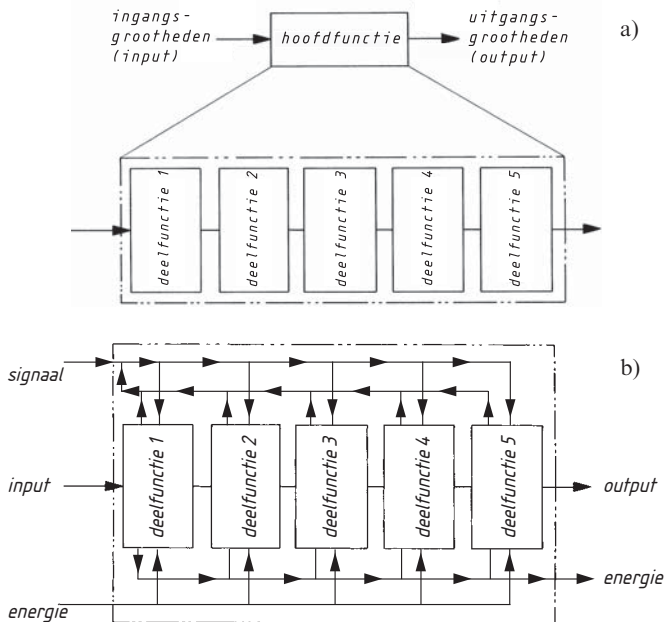
Hoewel het op te lossen vraagstuk met de vaststelling van het programma van eisen duidelijk omlind is, dienen zich, zoals de ervaring leert, voor één en hetzelfde vraagstuk vaak talloze, sterk van elkaar verschillende oplossingen aan. Een goede manier om alle mogelijke oplossingsvarianten te bestrijken is om voor het vraagstuk dat uit het programma van eisen duidelijk wordt, allereerst principiële¹⁾ oplossingsvoorstellen voor de hoofdfunctie te ontwikkelen. Voor het gemak wordt hierbij de hoofdfunctie voor materiaal-, energie- en informatiestromen opge-

Eisen	<i>Vaste eisen</i> , uitgedrukt in kwantitatieve gegevens (bijvoorbeeld overbrengingsverhouding $i = 12$) of beschrijvende informatie (bijvoorbeeld niet-continue inzet).	Aan vaste eisen moet voldaan worden. Een overschrijding verandert de gebruikswaarde van het product niet.
	<i>Minimale eisen</i> mogen telkens aan de goede kant over- of onderschreden worden (bijvoorbeeld groter instelbereik, lager energieverbruik, grotere levensduur).	Aan minimale eisen moet voldaan worden. Bij overschrijding aan de gunstige kant wordt de waarde van het product verhoogd.
Wensen	<i>Wensen</i> , waar indien mogelijk zonder extra kosten rekening mee moet worden gehouden (bijvoorbeeld leuk design, centrale bediening).	Aan wensen hoeft men niet per se tegemoet te komen. Bij tegemoetkoming wordt het product wel meer waard.

Figuur 1-7 Eisen, wensen

splitst in deelfuncties met een geringere complexiteit (zie **figuur 1-8a**) en voor deze deelfuncties worden bijbehorende basisoplossingen gezocht. Zo kan men de hoofdfunctie *Bussen sluiten* opsplitsen in de deelfuncties: *bus aanvoeren – deksel opslaan – deksel aanvoeren – deksel plaatsen – deksel felsen – bus afvoeren*. Voor de regeling en het samenspel van de afzonderlijke deelfuncties is de signaal- en energiestroom verantwoordelijk (zie **afbeelding 1-8b**). Hierbij kunnen constructiecatalogi van nut zijn. Hieronder verstaat men verzamelingen van basisoplossingen voor het vervullen van de meest uiteenlopende deelfuncties.

Om ervoor te zorgen dat alleen het noodzakelijke en belangrijke naar voren komt en bepaalde basisoplossingen niet bijvoorbeeld worden uitgesloten, dient bij de schriftelijke formulering van de functies een eenvoudige en abstracte vorm te worden gekozen. Zo kan bijv. de taakstelling *Con-*



Figuur 1-8

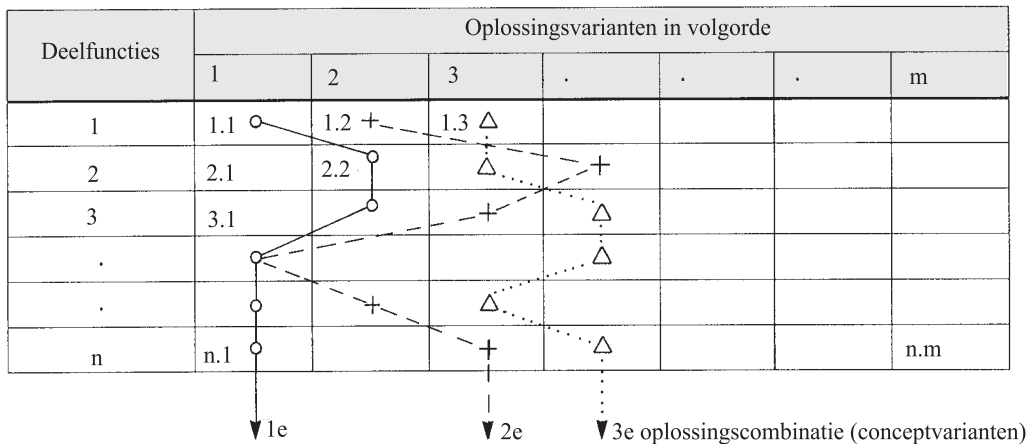
- Opsplitsing van de hoofdfunctie in meerdere deelfuncties
- Functiestructuur van het gehele product

¹⁾ Principe (lat.): 'richtsnoer', 'beginsel', 'grondslag'.

structie van een transportband voor het transporteren van graan het beste algemeen worden geformuleerd, bijv. Constructie van een inrichting voor het verder leiden van stortgoed. Bij deze formulering is men voor de constructie niet gehouden aan de 'transportband' maar behoort deze wel tot de mogelijkheden. Naast 'graan' kan het echter ook om andere stortgoederen gaan.

Met behulp van een overzichtsmatrix, een morfologisch overzicht¹⁾, kunnen de beste basisoplossingen worden verkregen voor een goede totaaloplossing, zie **figuur 1-9**. Hiervoor kiest men uit iedere rij van de matrix een basisoplossing voor het vervullen van een deelfunctie en verbindt deze met elkaar. De gebroken lijn die hieruit ontstaat levert een *oplossingscombinatie* van alle uiteenlopende deelfuncties op ter vervulling van de vereiste hoofdfunctie. Het theoretisch denkbare aantal oplossingen dat ontstaat door samenvoeging van de afzonderlijke basisoplossingen dient echter tot een *zinvol* aantal beperkt te worden. Daarom worden combinaties die enerzijds technisch niet-compatibel en anderzijds vanwege de vereiste investeringen ongeschikt zijn, van tevoren uitgesloten. Voor de interessante combinaties die aldus worden verkregen kan door afweging van de voor- en nadelen nog een globale rangorde worden vastgelegd (zie hiervoor ook 2.).

Voor de zo geselecteerde combinaties van oplossingen worden, in de vorm van grofschalige schetsen en schakelschema's, *conceptvarianten* vastgesteld, waaruit uiteindelijk na een passende beoordeling van de afzonderlijke varianten het *oplossingsconcept* wordt gekozen. Dit oplossings-



Figuur 1-9 Morfologisch overzicht voor het bepalen van mogelijke oplossingscombinaties

concept vormt de basis voor minstens een eerste maatgevend *ontwerp*. Door de ontwerpen volgens bepaalde beoordelingscriteria te vergelijken kan men de zwakke plekken in de afzonderlijke ontwerpen traceren. Zo komt er een ontwerp naar voren dat ruimschoots voldoet aan de in de opdracht gestelde minimumeisen en tegemoetkomt aan zoveel mogelijk wensen (zie **figuur 1-7**).

Na het achterhalen van de zwakke plekken van het ontwerp dat de ideale oplossing benadert, wordt een *verbeterd ontwerp* gemaakt, dat na optimalisering van speciaal geselecteerde ontwerpzones ter beoordeling wordt voorgelegd.

Zo bouwt de laatste fase van het ontwerpproces, de *uitwerkingsfase*, voort op een ontwerp waarvan de functionaliteit, de vormgeving en de kosten zeer weinig gebreken te zien geven. In detail omvat de uitwerkingsfase de vormgeving en de optimalisering van de onderdelen (detailering), zoals het opstellen van fabricagevoorschriften in de vorm van tekeningen (van onderdelen, componenten en samenstellingen), stuklijsten, montagevoorschriften, schakelschema's etc. Bij kleinere apparaten en machines die bestemd zijn voor serieproductie verdient het aanbeveling om volgens

¹⁾ Hierbij gaat het om een (meestal volledige) matrix, waar in de eerste kolom de n deelfuncties en in de regels de basisoplossingen die bij deze deelfuncties behoren, staan vermeld.

deze fabricagevoorschriften een prototype te bouwen c.q. een nulserie te produceren. Na een evaluatie van zowel de kosten als de technische waarde wordt het ontwerp dan vrijgegeven voor productie.

2. Beoordelingsmethoden

Zowel in de concept- als de ontwerpfase is het vaak noodzakelijk om uit alle mogelijke oplossingen de beste te kiezen. Dit gebeurt met behulp van speciale beoordelingsmethoden. Het uitgangspunt van een beoordeling kan de overweging zijn dat aan de hand van de laagste kosten wordt bepaald wat de optimale oplossing is. Wanneer daarbij aan de hoofdfunctie wordt voldaan, d.w.z. tegemoetgekomen wordt aan de minimumeisen en in vergaande mate aan de wensen, dan is dit alleen mogelijk indien ook de deelfuncties tegen geringe kosten kunnen worden verwezenlijkt. Hieruit volgt dat de eerste beoordeling reeds in de conceptfase voor de afzonderlijke basisoplossingen moet plaatsvinden. Hoewel in dit ontwikkelingsstadium nog geen exacte informatie over de productiekosten verkregen kan worden, is het vaak toch mogelijk om bij de basisoplossingen voor het vervullen van de deelfuncties een globale rangorde aan te geven. Als men de basisoplossingen op volgorde van hun rangorde in het *morfologisch overzicht* plaatst (zie **figuur 1-9**), dan zijn de meest linkse combinaties voor het vervullen van de hoofdfunctie waarschijnlijk de meest interessante.

Bij het zoeken naar het beste ontwerp dient voor de beoordeling van de afzonderlijke conceptvarianten een *waardering in punten met weging van de beoordelingscriteria* plaats te vinden. Uitgangspunt bij de keuze van deze beoordelingsmethode is de basisgedachte dat in het algemeen niet alle optimale technische en economische deeloplossingen in één totaaloplossing te verenigen zijn. Daarom kiest de constructeur de belangrijkste uit de in het programma van eisen vermelde eigenschappen en legt daarmee de beoordelingscriteria voor de conceptvarianten vast. Bij de beoordeling worden de afzonderlijke criteria steeds vergeleken met de ideale oplossing en de mate van overeenkomst hiermee wordt uitgedrukt door toekenning van een aantal punten, zie **figuur 1-10**. Omdat niet alle beoordelingscriteria dezelfde betekenis zullen hebben, moeten zij gewaardeerd worden aan de hand van bepaalde weegfactoren (bijv. 1 ... 5). **figuur 1-11** toont een voorbeeld waarin 3 conceptvarianten aan de hand van 4 technische criteria beoordeeld worden. Dezelfde methode kan in principe ook in de ontwerpfase worden gebruikt, als het erom gaat uit meerdere ontwerpen het beste te kiezen en de zwakke plekken hiervan te identificeren.

Kwaliteit ontwerp	Punten
zeer goed (ideaal)	4
goed	3
ruim voldoende	2
net voldoende	1
onbevredigend	0

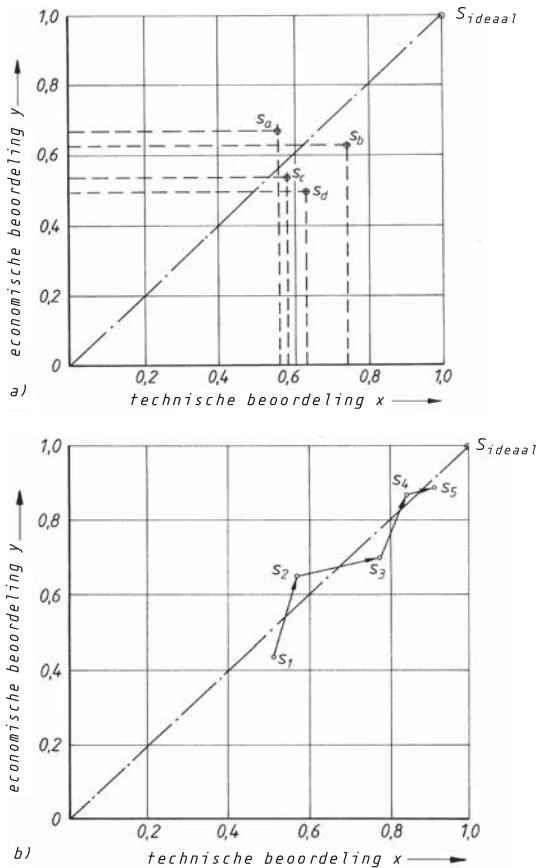
figuur 1-10
Waardering in punten ($E = 0 \dots 4$)

Technische eis	G	A		B		C		Ideaal	
		E	G · E	E	G · E	E	G · E	E	G · E
hoge veiligheid	5	3	15	4	20	2	10	4	20
eenvoudige bediening	3	3	9	3	9	1	3	4	12
compacte constructie	2	2	4	2	4	4	8	4	8
laag gewicht	2	2	4	3	6	4	8	4	8
totaal			32		39		29		48
technische waarde x			0,67		0,81		0,60		1,0

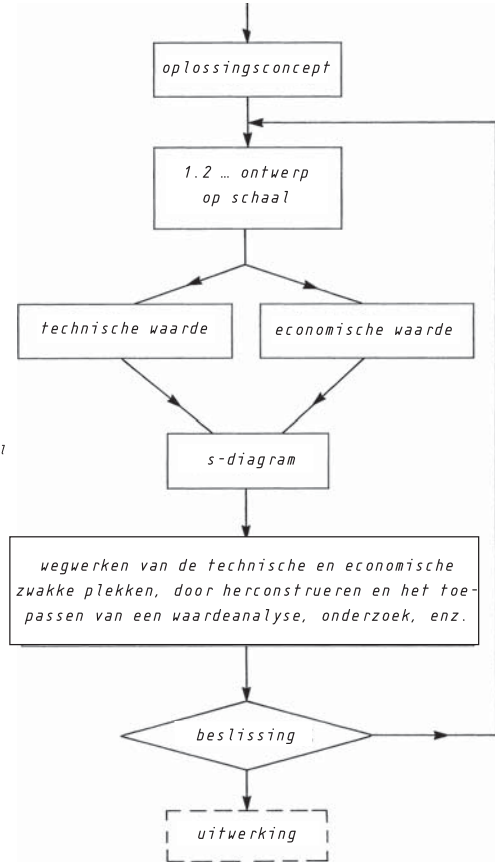
figuur 1-11 Voorbeeld van een technische beoordeling van de conceptvarianten A, B, C (waardering in punten)

Ook kan de technisch-economische waardering van de constructie worden vastgesteld. Bij optimalisering van de toegekende punten kreeg oplossing B de hoogste waardering met 39 van de 48 te behalen punten. De verhouding tussen het aantal behaalde en te behalen punten drukt de technische waardering van de te beoordelen varianten uit, die in het ideale geval 1,0 bedraagt. In dit voorbeeld krijgt oplossing B de technische waardering $x = 39/48 = 0,81$. Bij de economische beoordeling worden uitsluitend de kosten voor de fabricage van de producten in aanmerking genomen, zie hiervoor VDI-richtlijn 2225, blad 3. De economische waardering y van een oplossingsvariant kan op dezelfde manier als de technische waardering x worden bepaald. Wordt voor elke oplossingsvariant de bepaalde waarde voor x en y in het sterkte-diagram (s -diagram) ingevoerd, dan is direct duidelijk wat de oplossing is die het meest beantwoordt aan het ideaal, d.w.z. de oplossing die in dat geval de beste is. In **figuur 1-12a** zijn bijv. voor bovengenoemde x -waarden en aangenomen y -waarden de beoordelingen van de 3 conceptvarianten weergegeven.

In **figuur 1-13** wordt het verloop van de ontwerpfase weergegeven. De verbeteringen die bij het eventueel herhaaldelijk doorlopen van de stappen worden bewerkstelligd kunnen met behulp van het s -diagram van het eerste tot het definitieve ontwerp worden verduidelijkt, zie **figuur 1-12b**.



Figuur 1-12 Sterkdiagram (s -diagram) voor de beoordeling van constructies, a) voor het voorbeeld volgens figuur 1-11 (y -waarden aangenomen), b) ontwikkelingsverloop van een technisch product bij diverse verbeteringen



Figuur 1-13 Stroomschema voor de ontwerpfase

1.4.2 Grondbeginselen voor het construeren

Aan nieuwe constructies kunnen zeer verschillende eisen worden gesteld. Er kunnen echter regels voor de constructiewerkzaamheden van toepassing zijn die algemene geldigheid hebben. Enkele belangrijke constructieprincipes die hier deel van uitmaken worden hierna behandeld. Deze kunnen afhankelijk van de speciale taak nog met andere punten worden aangevuld.

Ontwerpen met het oog op de functionaliteit: De belangrijkste eis die aan een constructie wordt gesteld is dat deze de eraan toegekende functie gedurende de volledige levensduur moet vervullen. Ook het voorkomen van risico's voor mens en machine door bijv. een mogelijk verkeerde bediening of overbelasting heeft hiermee te maken. Alle andere hieronder beschreven regels moeten voor deze eis wijken.

Op de sterkte afgestemd: Krachten en momenten dienen via de kortst mogelijke weg door een zo klein mogelijk aantal constructie-elementen te worden geleid. Hierdoor worden de materiaalkosten verminderd en wordt de vervorming van onderdelen tegengegaan. Gunstig hiervoor is een bepaalde trek- respectievelijk drukbelasting. Zijn grote elastische vervormingen gewenst dan dienen lange krachtoverbrengingstrajecten te worden gerealiseerd, bij voorkeur bij een bepaalde buig- en torsiebelasting (bijv. schroefveer).

Voor alle diameters dient de materiaalbelasting zo gelijk mogelijk te zijn (bijv. dragers met dezelfde buigspanning), tenminste overall waar sprake is van een hoge belasting. Op deze manier wordt het materiaal goed benut.

De kerfwerking (d.w.z. het omleiden en verdichten van de krachtstroom, zie **figuur 3-22**) dient te worden begrensd door ontwerpmaatregelen. Overgangen en veranderingen in de doorsnede moeten daarom vloeiend worden uitgevoerd (bijv. door gebruik te maken van grote overgangsradii) of dwarsboringen, groeven en sleuven op minder belaste plaatsen. Zeer sterk en daarmee kerfgevoelig materiaal moet eventueel vervangen worden door niet-kerfgevoelig, meestal goedkoper materiaal. Extra maatregelen, zoals de toepassing van ontlastingskerfjes (zie **figuur 3-25**) en een gerichte oppervlaktebehandeling door bijv. harden of kogelstralen, leiden eveneens tot een reductie van de spanningspieken.

Constructie-elementen moeten zo worden ontworpen dat er tussen de afzonderlijke onderdelen onder belasting een verregaande aanpassing met gelijkgerichte vervorming plaatsvindt (bijv. door gebruik van een trek- in plaats van een drukmoer, zie **figuur 8-6**, regel 1). Hierdoor kunnen spanningspieken worden voorkomen. De aanwezige relatieve vervorming dient zo klein mogelijk te zijn, om wrijvingscorrosie te voorkomen. Door de opstelling, vorm, afmetingen en het materiaal (E-modulus) kunnen de onderdelen op elkaar worden afgestemd. Ook maatregelen om uiteenlopende elementvervormingen tegen te gaan, bijv. verende expansieonderdelen of aanpassingen vooraf aan de constructie-elementen, kunnen een op elkaar afgestemde vervorming mogelijk maken.

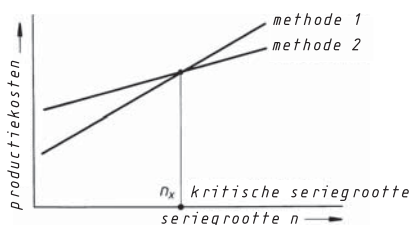
Niet-symmetrische opstellingen van onderdelen kunnen tot inwendige krachten leiden. Door toepassing van compensatie-elementen of een symmetrische opstelling kunnen dergelijke effecten worden beperkt. Het effect van een axiale kracht bij een schuine vertanding wordt bijv. opgeheven door een pijlvertanding te gebruiken.

Ontwerpen met het oog op het materiaal: De meest uiteenlopende technologische eigenschappen van de verschillende materialen (sterkte, dichtheid, elastisch gedrag, hardheid, verwerkbaarheid etc.) dwingen tot een kritische keuze. Materiaal van mindere sterkte leidt tot grotere doorsnedes. Hierdoor nemen de afmetingen en de massa van de totale constructie toe. Door toepassing van zeer sterke materialen volstaan meestal kleinere doorsnedes, maar tegelijkertijd kunnen de totale materiaalkosten hoger uitvallen (zie **tabel 1-1** 'Relatieve materiaalkosten'). De keuze van het geschikte materiaal wordt eveneens bepaald door de vereisten op het gebied van de slijtvastheid, lasbaarheid, elasticiteit, corrosiebestendigheid, demping e.d. Bij de keuze van het materiaal moet al rekening worden gehouden met de latere afvalverwijdering of recycling.

Ontwerpen met het oog op de productie: Bij de constructie moet het productieproces worden afgestemd op het gekozen materiaal, de vereiste kwaliteitseisen voor het elementoppervlak en de geplande seriegrootte (**figuur 1-14**). Bij de vervaardiging van afzonderlijke stuks of kleine series is

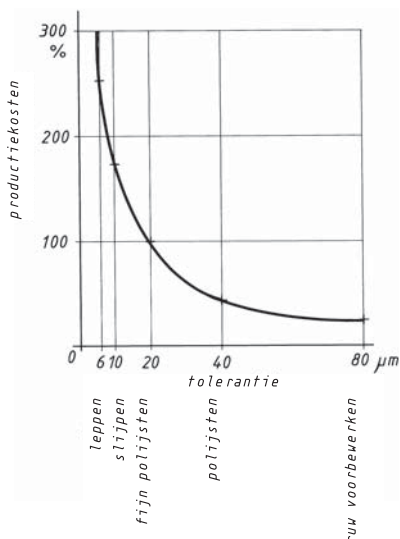
het meestal raadzaam gebruik te maken van de bestaande productiemogelijkheden en terug te grijpen op halffabrikaten, zoals profielstaven, platen, buizen etc. Meestal leidt dit ook tot eenvoudige constructies. Productiemethodes in serie zijn bijv. het lassen en de spanende bewerking uit één geheel (draaien, frezen, boren, etc.). Bij de massaproductie, van dus zeer grote aantallen, probeert men gebruik te maken van tijdbesparende spaanloze productiemethodes (gieten, smeden, trekken etc.). De kosten voor de hierdoor extra vereiste voorzieningen (bijv. modellen, matrijzen) worden over vele constructie-elementen verdeeld. Hetzelfde geldt ook voor de constructies, deze zijn immers door de hogere constructiekosten in het algemeen optimaal ontworpen. Ook bij verdere vereiste extra inrichtingen, zoals speciale gereedschappen, meetapparaten en installaties, zijn deze productiemethodes rendabel vanwege de grote aantallen. Omdat ook de kwaliteitseisen voor de elementoppervlakken het productieproces en daarmee de kosten (zie **figuur 1-15**) wezenlijk kunnen beïnvloeden, geldt voor de vaststelling van de onderdeeltoleranties het volgende basisprincipe: *Zo grof als mogelijk, zo fijn als vereist.*

Staat de productiemethode vast, dan volgt hieruit een speciaal ontwerp van de constructie-elementen (ontwerpen met het oog op de productie). Deze ontwerpregels, zeer uiteenlopend voor



Figuur 1-14

Keuze van de productiemethodes in relatie tot de serie-grootte



Figuur 1-15

Relatie tussen de relatieve productiekosten en de tolerantie (volgens Bronner)

Regel: halvering van de tolerantie leidt tot een verdubbeling van de productiekosten

bijv. spanend vervaardigde elementen resp. giet- of smeedwerk, verlangen van de ontwerper een zeer omvangrijke gespecialiseerde kennis.

Ontwerpen met het oog op de montage: Alle afzonderlijke en samengestelde onderdelen moeten zo ontworpen zijn dat ze eenvoudig en kostenefficiënt kunnen worden samengesteld. De totale constructie dient onderverdeeld te zijn in separate modules die gelijktijdig kunnen worden gemonteerd. De montagebewerkingen dienen zo gering en eenvoudig mogelijk te zijn en automatisch uit elkaar voort te vloeien. Is de montage alleen in een bepaalde volgorde mogelijk, dan moet deze door de ontwerper middels een inbouwplan worden aangegeven. Om verwisseling te voorkomen moeten afzonderlijke onderdelen gemakkelijk kunnen worden onderscheiden. Zelfborgende verbindingen of gemakkelijk te

monteren vorm- resp. materiaalgesloten verbindingen moeten voorkomen dat onderdelen losraken. Afmetingen die belangrijk zijn voor het functioneren moeten eenvoudig te controleren zijn en instel- en aanpassingswerkzaamheden moeten kunnen worden uitgevoerd zonder reeds gemonteerde onderdelen te demonteren. Bij massaproductie moet op de automatisering van de montage worden gelet, bijv. door veilige, direct bereikbare greepvlakken. Ook moeten slijtdelen goed toegankelijk zijn, zodat ze snel kunnen worden vervangen. Dit betekent dat de verbindingen gemakkelijk moeten kunnen worden gedemonteerd. *Breekpunten* moeten zich op goed toegankelijke plaatsen bevinden.

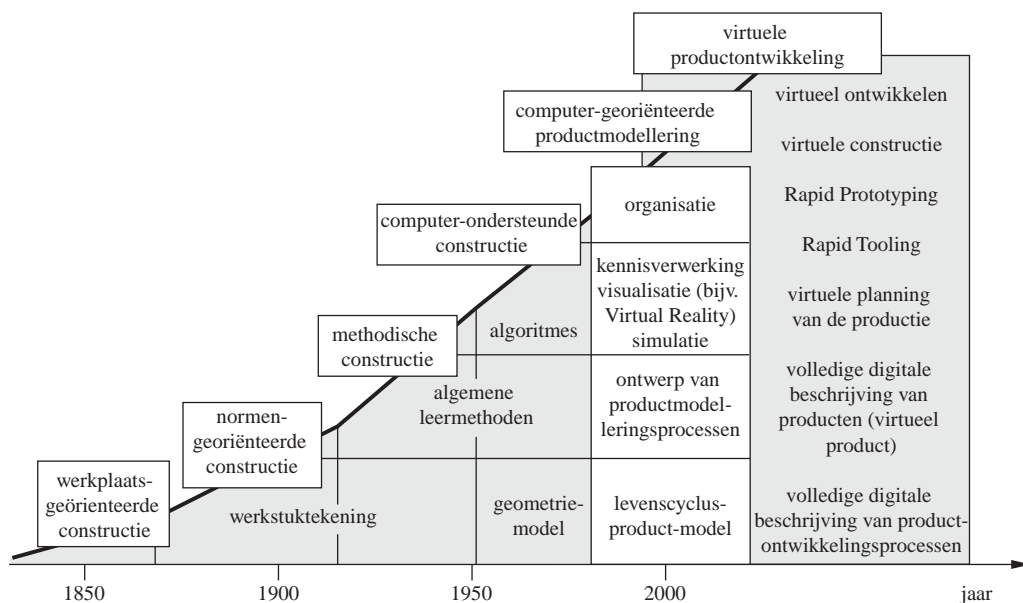
Ontwerpen met het oog op het onderhoud: Om de functie-eigenschappen van een constructie tijdens de gehele levensduur in stand te houden, is regelmatig inspectie, onderhoud en nazorg vereist. Daarom moeten controlepunten goed toegankelijk en duidelijk aangegeven zijn en dient de mogelijkheid van geïntegreerde meetapparatuur in beschouwing te worden genomen. Er dient gezorgd te worden voor zo mogelijk genormeerde snelsluitingen, genoeg plaats voor het aansluiten van controleapparatuur en verbindingen die zonder speciaal gereedschap kunnen worden gedemonteerd. Ook moeten er voldoende gedimensioneerde inspectieruitjes, toegangsdeksels, kleppen en deuren aanwezig zijn. Bijvul- en afvoerpunten moeten goed toegankelijk zijn, de bodem van vloeistofcontainers dient enigszins af te lopen naar de aftapopening. Zones met spanen (slijpsel) dienen afgescheiden te worden van gevoelige modules.

Ontwerpen met het oog op recycling: De constructeur moet bij het ontwerpen de gehele cyclus voor ogen hebben. Deze strekt zich uit van de productontwikkeling en de daarop volgende gebruiksfase tot een hernieuwde toepassing. De hernieuwde toepassing of het hergebruik van producten in deze cyclus wordt aangeduid als recycling. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt naar aangeleverd materiaal dat nog wel of nog niet de gehele cyclus, zoals hierboven beschreven, heeft doorlopen (hergebruik respectievelijk recirculatie). Ontwerpen met het oog op recycling kan worden onderverdeeld in drie hoofdgebieden: verbindingstechniek, materiaalkeuze en vormgeving van de constructie-elementen. Voorwaarde voor een goed functionerende recycling zijn demontabel geconstrueerde verbindingen. Dit wordt bereikt door gemakkelijk te ontkoppelen verbindingen (bijv. schroef-, klik- en spanverbindingen) die goed herkenbaar, goed toegankelijk en tegen sterke verontreiniging beschermd moeten zijn. Ter beperking van het aantal gereedschappen moeten zo veel mogelijk gestandaardiseerde verbindingsonderdelen worden gebruikt. Bij de materiaalkeuze moet met name een te grote diversiteit in het materiaal worden voorkomen. Hierdoor worden de demontage- en sorteerkosten teruggebracht. Ook het gebruik van composietmateriaal en speciale coatings moet tot een minimum worden beperkt. Met betrekking tot het ontwerp moeten gemakkelijk te demonteren constructies worden nagestreefd, d.w.z. de demontage wijst zich vanzelf door een helder ingedeelde productopbouw. Bovendien is een goede toegang tot de afzonderlijke constructie-elementen vereist.

Ontwerpen met het oog op de vorm: De uiterlijke, eigentijdse vormgeving (het design) beïnvloedt steeds meer de verkoopprijs van een technisch product. Omdat ook smaak en gevoel een rol spelen, kunnen alleen enkele algemeen geldige basisprincipes worden aangegeven. Belangrijk is echter dat de vorm niet alleen aan esthetische eisen voldoet. De vorm moet zichtbaar beantwoorden aan de functie, de krachtwerking, het toegepaste materiaal en de productiemethode. Het design dient bewust zakelijk, helder en niet opdringerig te zijn. De afzonderlijke onderdelen moeten zo worden opgebouwd dat een gesloten werkend, helder ingedeeld geheel ontstaat. De structurerende werking van ribben, voegen, groeven of gleuven dient benut en duidelijk gemaakt te worden, functieelose sierelementen zo mogelijk vermeden. Met behulp van een doelbewust contrast moeten bedieningselementen, bewegende onderdelen en gevaarlijke punten zichtbaar worden gemaakt. Hierbij kan ook gebruik gemaakt worden van een ondersteunende kleurstelling, die dan moet worden afgestemd op de vormgeving. Een beknopt overzicht over het thema Industrial Design is te vinden in richtlijn VDI/VDE 2424.

1.4.3 Gebruik van computers bij het ontwerp- en ontwikkelingsproces

Het gebruik van computers bij het oplossen van constructieve vraagstukken is tegenwoordig een essentieel element in de productontwikkeling. **Figuur 1-16** laat zien welke veranderingen het ont-



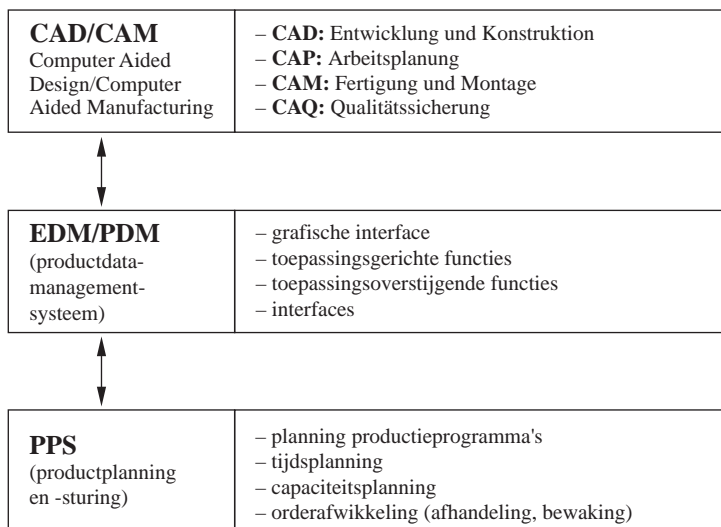
Figuur 1-16 Ontwikkelingsfasen van het ontwerpproces

werpproces heeft doorlopen en welke betekenis nu en in de toekomst aan de computertechniek wordt gegeven. Binnen het constructieproces zijn verschillende integratiestappen te onderscheiden, waarbij de toepassing sterk afhangt van de beschikbare hard- en software, maar ook van de complexiteit van de uit te voeren constructie.

De eerste stap is het gebruik van *afzonderlijke programma's*. Hiermee kunnen bijv. constructie-elementen worden berekend, bewegingssamenhangen gesimuleerd, informatie zoals gegevens, teksten en tekeningen opgeslagen en geometrische vormen en structuren worden getekend. Afzonderlijke programma's bieden al een goede ondersteuning voor meestal zeer speciale taken. Dikwijls wordt het constructieproces echter door het gebruik van afzonderlijke programma's onderbroken. Door alle noodzakelijke handelingen, bv. de noodzakelijke vaak herhaalde in- en uitvoerprocedures, of door het gebruik van verschillende gebruikers-interfaces en programma-structuren, zijn de kosten vrij hoog. Dit heeft geleid tot het ontwikkelen van *programmasystemen*, waarin afzonderlijke programma's gezamenlijk met elkaar in verbinding staan. Hierdoor wordt een ononderbroken gebruik van eenmaal ingevoerde gegevens respectievelijk van al verkregen resultaten en het gebruik van uniforme databases mogelijk gemaakt. Ontwikkelingen in deze richting worden aangeduid als *geïntegreerde ontwerpsystemen*. Naast de data-verbinding vormen deze systemen ook een methodische leidraad voor de constructeur tijdens de uitvoering van zijn werk. In de VDI-richtlijn 2221 wordt zo'n continu stroomschema voor het gangbare computergebruik bij het ontwerp- en constructieproces weergegeven.

Een voorbeeld voor de in de praktijk toegepaste data-verbinding is het gebruik van *CAX-systemen* (CAD/CAM). Hieronder verstaat men de verbinding van gegevens voor de productpresentatie (CAD, *Computer Aided Design*), de werkplanning (CAP, *Computer Aided Planning*), het fabricageproces (CAM, *Computer Aided Manufacturing*) en de kwaliteitsborging (CAQ, *Computer Aided Quality Assurance*). Tegenwoordig wordt in toenemende mate de verbinding van CAD/CAM met productplanning en productbeheer (PPS) respectievelijk CAD/CAM met productdata-management-systemen (EDM/PDM) in de praktijk ingevoerd, zie **figuur 1-17**.

In het algemeen kunnen computers slechts in beperkte mate worden gebruikt, omdat het niet mogelijk is om met behulp van de programma's en programmasystemen op een creatieve manier werkzaam te zijn. Hierdoor ontbreekt de mogelijkheid van een complexe, veelomvattende wijze van beschouwen en wordt het vinden van probleemoplossingen bemoeilijkt. Daardoor is de con-



Figuur 1-17 EDM/PDM-systemen met andere dataverwerkingssystemen daarin geïntegreerd volgens VDI 2219

structuur met zijn kennis en ervaring nog altijd zeer bepalend voor het constructieproces. Dit doet zich met name gelden in de keuze-, beoordelings-, correctie- en beslissingsfasen. Deze beperking heeft geleid tot een volgende stap in de programmasysteemontwikkeling, het zogenaamde *op kennis gebaseerde systeem (expertsysteem)*. Hierbij gaat het met name om gevalsspecifieke feitenkennis, domeinspecifieke expertkennis en de bij een probleemoplossing verkregen tussen- en eindresultaten. Een essentiële vernieuwing van het systeem is de probleemoplossingscomponent, waarmee de door de gebruiker ingevoerde taakstelling wordt opgelost. Voorwaarde voor een expertsysteem is echter dat de kennis betrekking heeft op een speciaal, vast afgebakend gebied. Een nieuwe toekomstgerichte ontwikkeling van programmasystemen is de *virtuele productontwikkeling*. Het geïntegreerde gebruik van computers zal een essentieel onderdeel gaan vormen bij de productontwikkeling, samen met de invoering van nieuwe organisatievormen, zoals Simultaneous Engineering (ontwikkeling van meerdere parallel lopende, elkaar overlappende processen). De virtualisatie houdt de methodische omzetting van het constructieproces in een computergeïntegreerd systeem in. Er wordt een virtueel product ontwikkeld, d.w.z. een productmodel dat in gedigitaliseerde vorm is opgeslagen in een computersysteem. Het proces van de productontwikkeling zal dan een virtuele en een werkelijke fase kennen.

1.5 Literatuur

- Clausen, U.; Rodenacker, W. G.: Maschinensystematik und Konstruktionsmethodik. Berlin: Springer, 1998
- Conrad, K.-J.: Grundlagen der Konstruktionslehre. München: Hanser, 1989
- DIN (Hrsg.); Klein, M.: Einführung in die DIN-Normen. 14. Aufl. Wiesbaden/Berlin: B.G. Teubner/Beuth, 2008
- Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Berlin: Springer, 2003
- Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktionsentwicklung; Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 2. Aufl. München: Hanser, 2002
- Fleischer, B.; Theumert, H.: Entwickeln, Konstruieren, Berechnen. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009
- Grote, K.-H.; Feldhusen, J. (Hrsg.): Dubbel. Taschenbuch für den Maschinenbau. 22. Aufl. Berlin: Springer, 2007
- Kienzle, O.: Normungszahlen. Berlin: Springer, 1949

- Kurz, U.; Hintzen, H.; Laufenberg, H.:* Konstruieren, Gestalten, Entwerfen. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 2004
- Neudörfer, A.:* Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte. Berlin: Springer, 2001
- Orloff, M.A.:* Grundlagen der klassischen TRIZ. Ein praktisches Lehrbuch des erfinderischen Denkens für Ingenieure. 3. Aufl. Berlin: Springer, 2006
- Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grothe, K.:* Pahl/Beitz Konstruktionslehre. 7. Aufl. Berlin: Springer, 2008
- Reuter, M.:* Methodik der Werkstoffauswahl. München: Hanser, 2007
- Roth, K.:* Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band I: Konstruktionslehre. 2. Aufl. 1994. Band II: Konstruktionskataloge. 2. Aufl. 1994. Band III: Verbindungen und Verschlüsse, Lösungsfindung. 2. Aufl. 1996. Berlin: Springer
- VDI-Richtlinie 2211, Bl. 1: Datenverarbeitung in der Konstruktion; Methoden und Hilfsmittel; Aufgabe, Prinzip und Einsatz von Informationssystemen. Düsseldorf: VDI, 1980
- VDI-Richtlinie 2211, Bl. 2: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung; Berechnungen in der Konstruktion. Düsseldorf: VDI, 2003
- VDI-Richtlinie 2216: Datenverarbeitung in der Konstruktion; Einführungsstrategien und Wirtschaftlichkeit von CAD-Systemen. Düsseldorf: VDI, 1994
- VDI-Richtlinie 2218: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung; Feature-Technologie. Düsseldorf: VDI, 2003
- VDI-Richtlinie 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung; Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen. Düsseldorf: VDI, 2002
- VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme. Düsseldorf: VDI, 1993
- VDI-Richtlinie 2222, Bl. 1: Konstruktionsmethodik; Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Düsseldorf: VDI, 1997
- VDI-Richtlinie 2222, Bl. 2: Konstruktionsmethodik; Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen. Düsseldorf: VDI, 1993
- VDI-Richtlinie 2223: Methodisches Entwerfen technischer Produkte. Düsseldorf: VDI, 2004
- VDI/VDE-Richtlinie 2224: Industrial Design. Bl. 1 bis 3. Düsseldorf: VDI, 1986, 1988
- VDI-Richtlinie 2225, Bl. 1: Konstruktionsmethodik; Technisch-wirtschaftliches Konstruieren; Vereinfachte Kostenermittlung. Düsseldorf: VDI, 1997
- VDI-Richtlinie 2225, Bl. 2: Konstruktionsmethodik; Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Tabellenwerk. Düsseldorf: VDI, 1998
- VDI-Richtlinie 2225, Bl. 3: Konstruktionsmethodik; Technisch-wirtschaftliches Konstruieren; Technisch-wirtschaftliche Bewertung. Düsseldorf: VDI, 1998
- VDI-Richtlinie 2225, Bl. 4: Konstruktionsmethodik; Technisch-wirtschaftliches Konstruieren; Bemessungslehre. Düsseldorf: VDI, 1997
- VDI-Richtlinie 2243: Recyclingorientierte Produktentwicklung. Düsseldorf: VDI, 2002
- VDI-Richtlinie 2244: Konstruieren sicherheitsgerechter Erzeugnisse. Düsseldorf: VDI, 1988

2 Toleranties, passingen en oppervlaktegesteldheid

2.1 Toleranties

Alle functie-eigenschappen van onderdelen, zoals maat-, vorm- en plaatsnauwkeurigheid en – niet te vergeten – oppervlaktekwaliteit, moeten op elkaar zijn afgestemd. Dit is een vereiste voor het goed functioneren van onderdelen, het wrijvingsloos samenwerken van onderdelen en componenten, en uiteraard voor het probleemloos vervangen van afzonderlijke slijtgedelen. Vanwege het ontoereikende fabricageproces is het vrijwel onmogelijk en vaak ook niet functioneel om zich heel precies aan de aangegeven maten en de voorgeschreven *ideale geometrische vorm* van het werkstuk te houden. Om productietechnische redenen zijn afwijkingen van de nominale maat, de zuivere vorm en de voorgeschreven plaats daarom toegestaan. Dit betekent echter wel dat voor de fabricage van een bepaalde component een bovenste en onderste grenswaarde van de afmetingen, de vorm en de oppervlaktegesteldheid moet worden aangegeven. Op basis hiervan onderscheiden we vier toleranties: *maattoleranties*, *vorm-* en *plaatstoleranties* en *ruwheidstoleranties*.

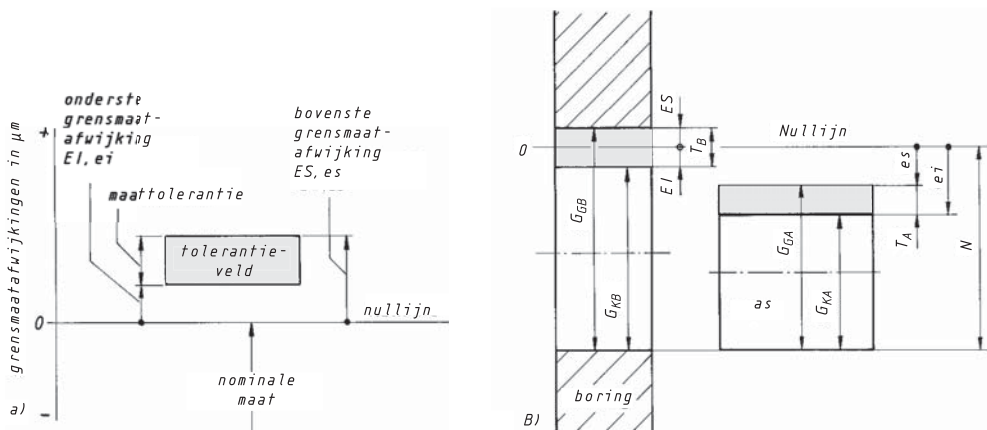
Ten behoeve van een hoge bedrijfszekerheid en een economische fabricage moet de keuze van zinvolle toelaatbare afwijkingen – *van de toleranties* – in het algemeen plaatsvinden volgens de vuistregel:

Zo grof mogelijk, zo fijn als nodig!

2.1.1 Maattoleranties

1 Basisbegrippen

Conform NEN ISO 286-1 zijn de basisbegrippen voor maten, maatafwijkingen en toleranties als volgt vastgelegd (zie **figuur 2-1**).



Figuur 2-1 Maten, maatafwijkingen en toleranties: a) algemeen, b) weergegeven voor boring en as

Nullijn: in de grafische weergave de referentielijn voor de maatafwijkingen en toleranties die overeenkomt met de nominale maat;

Nominale maat (N): de maat waarop de maatafwijkingen betrekking hebben, bijv. 30 mm of 6,5 mm);

Werkelijke maat (I): de door meten verkregen maat (bijv. 30,08 mm) die echter nog steeds gekoppeld is aan een meetonzekerheid;

Maatafwijking (E, e)¹⁾: het algebraïsche verschil tussen een maat (bijv. de werkelijke of de grensmaat) en de daarbij behorende nominale maat. Maatafwijkingen voor assen worden in kleine letters weergegeven (es, ei), terwijl de maatafwijkingen voor boringen (gaten) met hoofdletters worden geschreven (ES, EI).

Bovenste grensmaatafwijking (ES, es): Grensmaatafwijking als algebraïsch verschil tussen de grootste maat en de bijbehorende nominale maat (vroeger A_b);

Onderste grensmaatafwijking (EI, ei): Grensmaatafwijking als algebraïsch verschil tussen de kleinste maat en de bijbehorende nominale waarde (vroeger A_o);

Basisgrensmaatafwijking: voor grensmaten en passingen de afwijking die de plaats van het tolerantieveld met betrekking tot de nullijn vastlegt (bovenste of onderste afwijking die het dichtst bij de nullijn ligt);

Grensmaten (G): toelaatbare (grootste en kleinste) maten waartussen de werkelijke maat moet liggen (bijv. tussen 29,9 mm en 30,1 mm);

Grootste grensmaat (G_g): grootste toegelaten maat (bijv. 30,1 mm);

$$\begin{array}{l} \text{Boring: } G_{GB} = N + ES \\ \text{As: } G_{GA} = N + es \end{array} \quad (2.1)$$

Kleinste grensmaat (G_k): kleinste toegelaten maat (bijv. 29,9 mm);

$$\begin{array}{l} \text{Boring: } G_{KB} = N + EI \\ \text{As: } G_{KA} = N + ei \end{array} \quad (2.2)$$

Maattolerantie (T): het algebraïsch verschil tussen de grootste en kleinste maat (bijv. 30,1 mm – 29,9 mm = 0,2 mm). De tolerantie is een absolute waarde en kent geen voorteken;

$$\begin{array}{l} \text{Algemeen: } T = G_G - G_K \\ \text{Boring: } T_B = G_{GB} - G_{KB} = ES - EI \\ \text{As: } T_A = G_{GA} - G_{KA} = es - ei \end{array} \quad (2.3)$$

Tolerantieveld: in de grafische weergave het veld dat door de grootste en kleinste maatafwijking wordt begrensd. Het tolerantieveld wordt bepaald door de *grootte* van de tolerantie en de *plaats daarvan ten opzichte van de nullijn*.

Standaardtolerantie (IT): elke tot dit stelsel behorende tolerantie voor grensmaten en passingen (IT = Internationale tolerantie);

(Standaard)tolerantieklasse (IT 1 t/m IT 18): een groep toleranties voor grensmaten en passingen (bijv. IT 7) met een gelijk nauwkeurigheidsniveau ten opzichte van alle (in de praktijk gebruikte) nominale maten. Het niveau IT 0 en IT 01 is niet bestemd voor algemene toepassingen;

Tolerantie-eenheid (i, I): als functie van de nominale maat vastgestelde factor voor de berekening van een standaardtolerantie IT (i geldt voor $N \leq 500$ mm, I voor $N > 500$ mm);

Tolerantieklasse: Aanduiding bestaande uit een letter voor de basismaatafwijking en een cijfer voor de (standaard)tolerantieklasse (bijv. H7, k6).

¹⁾ Afgeleid uit de Franse aanduiding: E 'écart' (afstand); ES 'écart supérieur' (bovenste afstand), EI 'écart inférieur' (onderste afstand).

2 Grootte van de maattolerantie

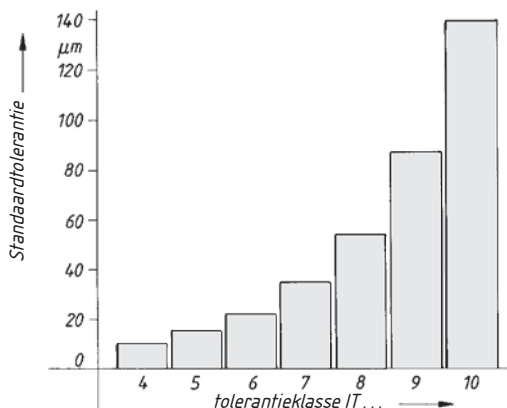
Omdat bij de fabricage afwijkingen van de absolute nominale maat onvermijdelijk zijn, is het noodzakelijk de grenzen van de afwijkingen vast te leggen. Hierbij moet de grootte van de tolerantie worden afgestemd op de grootte van de nominale maat en op het gebruiksdoel van het onderdeel. De basis voor het bepalen van deze tolerantiewaarde is de *tolerantie-eenheid*, I respectievelijk i . Zo wordt voor de nominale maat $D_1 \dots D_2$ met het geometrisch gemiddelde $D = \sqrt{D_1 \cdot D_2}$ de *tolerantie-eenheid* voor

$0 < N \leq 500: i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D$ $500 < N \leq 3150: I = 0,004 \cdot D + 2,1$	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">i, I</td> <td style="padding: 5px;">D, N</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;">μm</td> <td style="padding: 5px;">mm</td> </tr> </table>	i, I	D, N	μm	mm	(2.4)
i, I	D, N					
μm	mm					

Voor de nominale maat van 18 mm ... 30 mm met $D = \sqrt{18 \cdot 30} = 23,24$ mm wordt de tolerantie-eenheid: $i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{23,24} + 0,001 \cdot 23,24 \approx 1,3 \mu\text{m}$

Afhankelijk van het gebruiksdoel en de vereiste fijnheid van de tolerantie zijn er voor het bepalen van de standaardtoleranties IT in totaal twintig standaardtolerantieniveaus (01 0 1 2 ... 18): 01 is het fijnste en 18 het grofste tolerantieniveau.

Binnen een nominale maat verschillen de standaardtoleranties van de individuele tolerantieniveaus door de factor K , die een veelvoud is van de tolerantie-eenheid i en die vanaf tolerantieniveau 5 geometrisch met een stap $q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$ toeneemt (zie **tabel 2-1**).



Figuur 2-2

Grootte van de tolerantievelden voor de standaard tolerantieclassen IT 4 ... IT 10, weergegeven voor een maatgroep 80 ... 120 mm

3 Toepassingsgebieden voor de tolerantieniveaus:

IT 01 ... 4 hoofdzakelijk voor meetinstrumenten, respectievelijk kalibers,

IT 5 ... 11 algemeen voor passingen in de fijnmechanische industrie en in de algemene werktuigbouw,

IT 12 ... 18 voor grovere functie-eisen en bij de niet-verspanende vormgeving, bijv. bij walsproducten, gesmede en getrokken delen.

4 Plaats van de tolerantievelden

Voor het eenduidig vaststellen van de grensmaten G (grootste en kleinste maat) moet naast het bepalen van de tolerantiewaarde ook de plaats van het tolerantieveld ten opzichte van de nullijn worden aangegeven. Deze wordt óf weergegeven door de grensmaatafwijkingen ES (es) en EI (ei) óf door letters, en wel voor inwendige maten (boringen en gaten) door hoofdletters en voor uitwendige maten (assen) door kleine letters (zie **figuur 2-3**). Conform NEN ISO 286-1 voor:

boringen (*inwendige maat*): A B C CD D E EF F FG G H J JS K M N P R S T U V X
Y Z ZA ZB ZC

assen (*uitwendige maat*): a b c cd d e ef f fg g h j js k m n p r s t u v x y z za zb zc

Iedere letter duidt hiermee een bepaalde plaats van het tolerantieveld ten opzichte van de nullijn aan. De afstanden van elk tolerantieveld tot de nullijn – en wel de afstand van deze lijn tot aan de dichtstbij gelegen grens van het veld – zijn wiskundig gedefinieerd. Met het geometrisch gemiddelde D in mm – (zie vergelijking (2.4) – wordt bijv. voor:

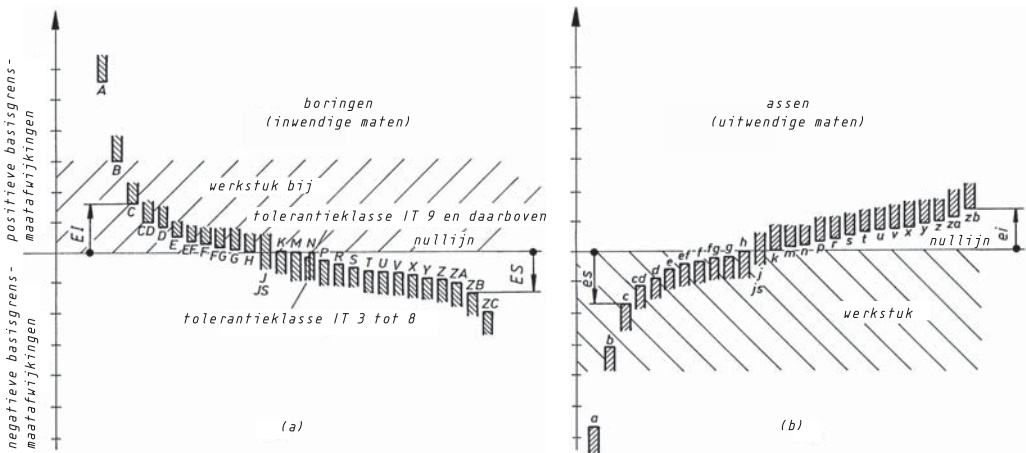
$$d\text{-}(D\text{-})\text{veld: } es(EI) = 16,0 \cdot D^{0,44} \text{ in } \mu\text{m}$$

$$e\text{-}(E\text{-})\text{veld: } es(EI) = 11,0 \cdot D^{0,41} \text{ in } \mu\text{m}$$

$$f\text{-}(F\text{-})\text{veld: } es(EI) = 5,5 \cdot D^{0,41} \text{ in } \mu\text{m}$$

$$g\text{-}(G\text{-})\text{Feld: } es(EI) = 2,5 \cdot D^{0,34} \text{ in } \mu\text{m}$$

In **tabel 2-2** en **2-3** zijn de ten opzichte van de nullijn meest nabijgelegen basismaatafwijkingen voor de uitwendige maten (assen) en inwendige maten (boringen) aangegeven. De tweede grensmaatafwijking volgt uit de standaardtolerantie IT volgens **tabel 2-1**, zie de voetnoten bij **tabel 2-2** en **2-3**.



Figuur 2-3 Plaats van de tolerantievelden voor dezelfde maatgroep (schematisch) a) bij boringen (inwendig), b) bij assen (uitwendig)

De exacte *ligging* van het tolerantieveld kan dus door letters (basismaatafwijking), en de *grootte* door middel van het kengetal van het tolerantieniveau worden aangegeven. Basismaatafwijking en tolerantieniveau vormen samen in het ISO-tolerantiestelsel de *tolerantieklasse*, zie bijv. H7.

5 Directe aanduiding van maattoleranties

De aanduiding in tolerantieklassen is slechts zinvol wanneer voor het controleren van de maat kalibers voorhanden zijn, anders is – om omrekeningen te vermijden – de directe aanduiding van de maatafwijkingen effectiever. Aan de nominale maat worden de grensmaatafwijkingen ES (es) en EI (ei) in mm toegevoegd. De maatafwijkingen staan achter de nominale maat boven de maatlijn, zie paragraaf 2.1.4.

6 Maten zonder tolerantie-aanduidingen

Productiematen behoeven vaak geen tolerantieaanduiding omdat ze voor het functioneren en voor de uitwisselbaarheid van het onderdeel niet belangrijk zijn. Voorbeelden hiervan zijn buitenmaten van giet- en smeedwerk, van werkstukken die geen bijzondere precisie vereisen of waarbij kleinere maatafwijkingen niet van belang zijn. Voor maten zonder tolerantie-aanduiding gelden de in een tekening aangegeven *algemene toleranties* conform NEN ISO 2768-1 (zie **tabel 2-6**).

2.1.2 Vormtoleranties

Omdat de maattoleranties alleen de plaatselijke werkelijke maat van een vormelement bepalen maar niet de vormafwijkingen ervan, zijn vaak extra *vormtoleranties* vereist voor het verkrijgen van een

nauwkeurige aanduiding van het vormelement. Volgens NEN ISO 1101 begrenzen vormtoleranties de toelaatbare afwijkingen van een element ten opzichte van zijn geometrisch ideale vorm; bijv. *de rechteid* van een as, *de vlakheid* van een oppervlak en *de rondheid* van een gedraaid werkstuk. Vormtoleranties moeten worden aangegeven wanneer bijv. om productietechnische redenen niet zonder meer verwacht kan worden dat de geometrische vorm van het werkstuk, die door de maataanduiding is bepaald, ook daadwerkelijk totstandkomt door de gekozen productiewijze (zie **tabel 2-7**).

2.1.3 Plaatstoleranties

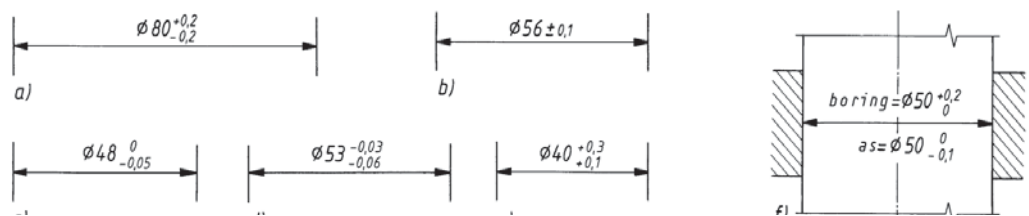
Onder plaatstoleranties worden volgens NEN ISO 1101 *richtings*-, *plaats*- en *rotatietoleranties* verstaan, die de toelaatbare afwijkingen van de geometrisch ideale positie van twee of meer onderdelen ten opzichte van elkaar beperken. Gedacht kan worden aan *evenwijdigheid* van twee vlakken, *coaxialiteit* van tegenoverliggende gaten, de *positie* van bepaalde vlakken ten opzichte van een referentie-element, *radiale* en *axiale slag* bij roterende onderdelen. Evenals vormtoleranties moeten ook plaatstoleranties altijd worden aangegeven wanneer bijv. om productietechnische redenen niet zonder meer te verwachten is dat de onderdelen in de vereiste verhouding tot elkaar staan, zoals de dimensionering en de tolerantieaanduiding voorschrijven, terwijl dat voor de functievervulling wel vereist is. Zie voor plaatstoleranties **tabel 2-8**.

2.1.4 Tolerantieaanduidingen in tekeningen

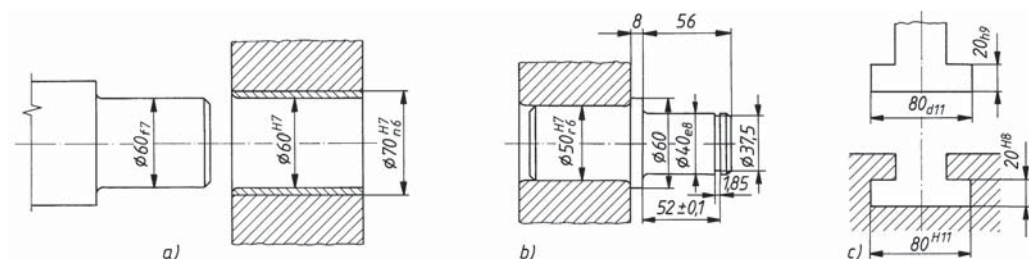
1 Maattoleranties

Maattoleranties en tolerantiecodes moeten in tekeningen volgens NEN ISO 406-12 worden ingevoerd. De belangrijkste regels voor de inschrijving zijn:

- maatafwijkingen of tolerantieklasse moeten achter het maatgetal van de nominale maat worden ingevuld;
- bij maatafwijkingen staan de bovenste én onderste grensmaatafwijking boven de maatlijn achter de nominale maat, zie **figuur 2-4**;
- tolerantieklasse voor boringen (inwendige maat), bestaande uit een hoofdletter en een getal (bijv. H7) evenals voor assen (uitwendige maat), bestaande uit een kleine letter en een getal (bijv. k6) staan boven de maatlijn achter de nominale maat; zie **figuur 2-5**.



Figuur 2-4 Het inschrijven van maattoleranties in tekeningen (voorbeelden)



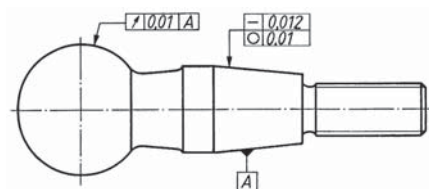
Figuur 2-5 Het inschrijven van tolerantieclassen (voorbeelden)

Voor maatschrijvingen waarvoor de algemene tolerantie conform NEN ISO 2768-1 (voor lengte- en hoekmaten, zie **tabel 2-6a**) moet gelden, moet in het daarvoor bestemde veld in de tekening voor de gekozen tolerantieklasse (**f** – fijn, **m** – middel, **c** – grof, **v** – zeer grof) bijv. het volgende worden ingevoerd: *NEN ISO 2768-m* respectievelijk *NEN ISO 2768-middel*.

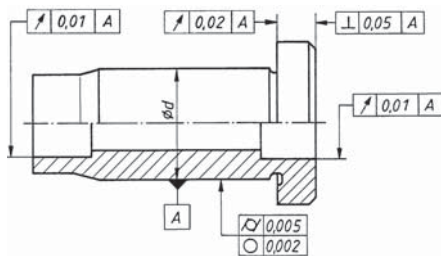
2 Vorm- en plaatstoleranties

De aanduiding van vorm- en plaatstoleranties op tekening vindt plaats conform NEN ISO 1101 (zie **figuur 2-6** en **2-7** evenals **tabel 2-7** en **2-8**). Hierbij moet een kader met onderverdeling in onderstaande volgorde worden ingevuld:

- in het eerste veld het *symbol* voor de soort tolerantie,
- in het tweede veld de *tolerantiewaarde* in mm,
- in het derde veld zonodig de *letteraanduiding* van het basis- dan wel referentie-element.



Figuur 2-6 Aanduiding van vormtoleranties: kogelvormige tappen met rechtheids-, rondheids- en profielvormtolerantie (oppervlak)



Figuur 2-7 Aanduiding van plaatstoleranties: holle pennen met rechthoekigheids-, coaxialiteits-, rondloop- en slingertolerantie

De algemene toleranties voor vorm en plaats worden ingeschreven conform NEN ISO 2768-2, zie **tabel 2-6b**. In het betreffende veld moet voor de gekozen tolerantieklasse (**H** – fijn, **K** – middel, **L** – grof) worden ingevoerd, bijv. ISO 2768-K.

2.2 Passingen

Onder een *passing* verstaan we in het algemeen de relatie tussen samengevoegde delen met bepaalde fabricagetoleranties; de relatie is het gevolg van het verschil in afmeting tussen de betreffende vlakken (bijv. tussen de inwendige maat $30 + 0,05$ en de uitwendige maat $30 - 0,05$ respectievelijk tussen boring 50H7 en as 50h6). Voor een eenduidige bepaling van de passing moet dus de *gemeenschappelijke* nominale maat, de grensmaat of de aanduiding van de *tolerantieklasse* voor de boring en de grensmaat of de aanduiding van de tolerantieklasse voor de as zijn aangegeven. Het passingsstelsel is afgestemd op de functie van de delen (bijv. glijlager tussen as en lager, klemverbinding tussen hefboom en naaf), en de uitwisselbaarheid van de onderdelen.

2.2.1 Basisbegrippen

Passing (P): de relatie die resulteert uit het verschil tussen de werkelijke maten I van twee samen te voegen onderdelen, bijv. boring (I_B) en as (I_A). Bij het samenvoegen van onderdelen met tolerantie ontstaan dus grenspassingen P_{\max} en P_{\min} . Bij $P \geq 0$ is er een positieve speling aanwezig, bij $P < 0$ daarentegen een negatieve speling.

Algemeen:	$P = I_B - I_A$	
Maximale passing:	$P_{\max} = G_{GB} - G_{KA} = ES - ei$	(2.5)
Minimale passing:	$P_{\min} = G_{KB} - G_{GA} = EI - es$	

Positieve speling S_p : het positieve verschil tussen de maten van boring en de as, wanneer de maat van de boring groter is dan de maat van de as ($P \geq 0$); er wordt verschil gemaakt tussen de *maximale positieve speling* S_{pmax} en de *minimale positieve speling* S_{pmin} .

Negatieve speling S_n : negatief verschil tussen de maten van boring en de as, wanneer de maat van de boring kleiner is dan de maat van de as ($P < 0$); er wordt verschil gemaakt tussen de *maximale negatieve speling* S_{nmax} en de *minimale negatieve speling* S_{nmin} .

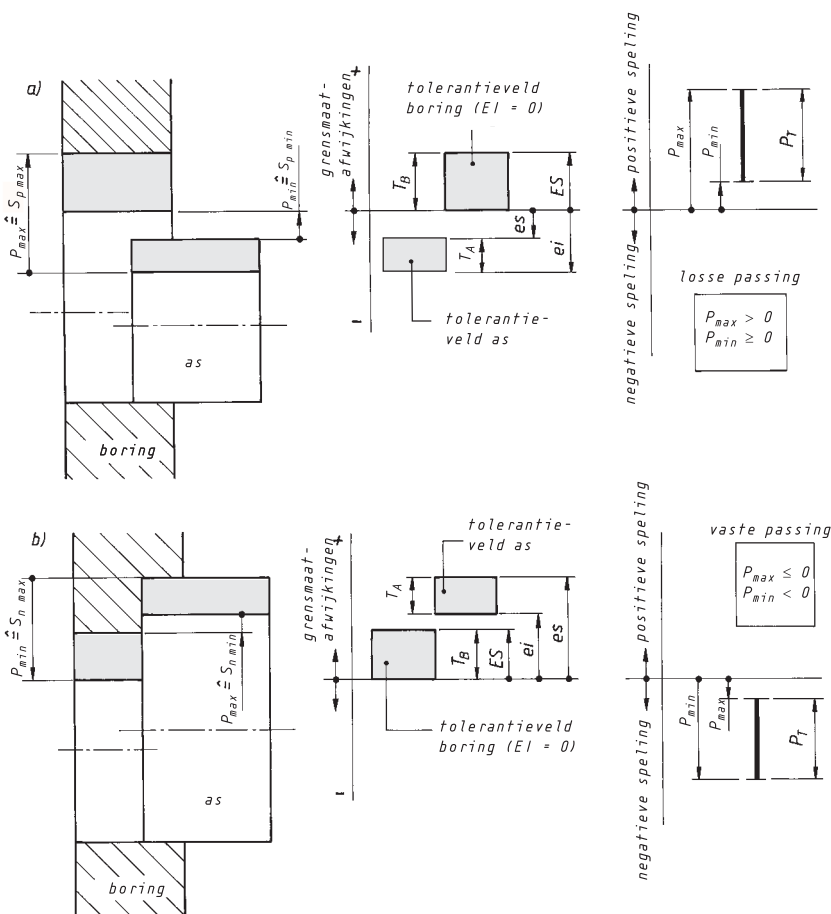
Losse passing (P_p): passing waar bij het samenvoegen van boring en as altijd een positieve speling S ontstaat. Een losse passing ontstaat als $P_{max} > 0$ en $P_{min} \geq 0$ is (zie **figuur 2-8a**).

Vaste passing (P_n): passing waar bij het samenvoegen van onderdelen een negatieve speling n aanwezig is. Een vaste passing ontstaat als $P_{max} \leq 0$ en $P_{min} < 0$ is (zie **figuur 2-8b**).

Overgangspassing: passing waar bij het samenvoegen van onderdelen óf een positieve speling S_p óf een negatieve speling S_n mogelijk is. Een overgangspassing ontstaat als $P_{max} \geq 0$ en $P_{min} < 0$ is.

Passingstolerantie (P_T): het algebraïsche verschil tussen de maximale en minimale passing, respectievelijk de rekenkundige som van de maattoleranties van de beide vormelementen die bij een passing horen. De passingstolerantie is een absolute waarde zonder voortekken.

$$\begin{aligned} P_T &= P_{max} - P_{min} = (G_{GB} - G_{KA}) - (G_{KB} - G_{GA}) \\ P_T &= T_B + T_A = (ES - EI) + (es - ei) \end{aligned} \quad (2.6)$$

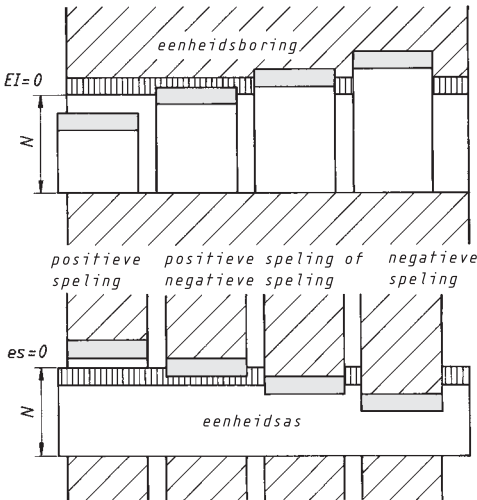


Figuur 2-8 Passingen in het stelsel van eenheidsboringen met $EI = 0$: a) passing met positieve speling, b) passing met negatieve speling

2.2.2 ISO-passingsstelsels

1 Eenheidsgatstelsel (*EB*)

Bij dit passingsstelsel wordt altijd de boring als eenheidsreferentie-element gekozen, zie **figuur 2-9a**. Omdat hierbij voor de boring de nominale maat als kleinste maat is vastgelegd, wordt het tolerantieveld van het stelsel *EB* het *H*-veld ($EI = 0$). Dit stelsel wordt bijv. toegepast bij kleine aantallen; in de algemene machinebouw, in vrachtwagens, gereedschapsmachines, elektrotechnische machines en motoren. Het *EB*-stelsel is vaak economischer dan het systeem van de eenheidsas omdat er minder gevoelige en dure fabricagegereedschappen en meetinstrumenten noodzakelijk zijn.



Figuur 2-9

Schematische voorstelling van de ISO-passingsstelsels:

a) eenheidsgatstelsel, b) eenheidsasstelsel

2 Eenheidsasstelsel (*EA*)

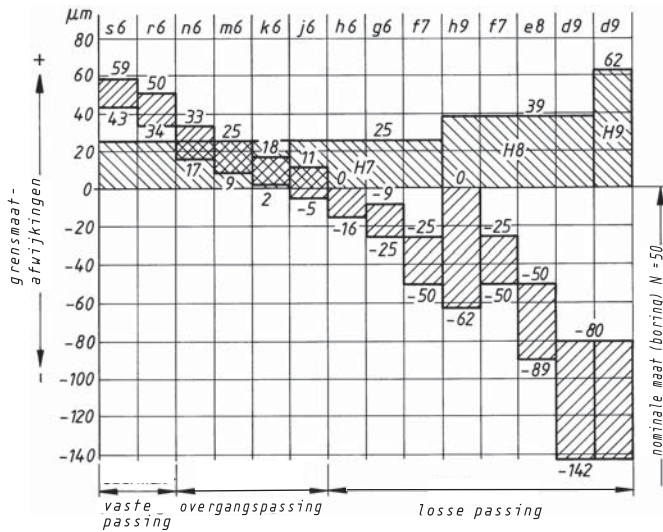
Hier vormt de as het referentie-element. Dit betekent dat de as voor iedere nominale maat de eenduidig gelijkblijvende eenheidsmaat vormt; de passingsmaat van de boring wordt, afhankelijk van het passingskarakter, groter of kleiner uitgevoerd (zie **figuur 2-9b**). Omdat bij het *EA*-stelsel voor de as de nominale maat als grootste maat is vastgelegd, wordt het tolerantieveld voor het *EA*-stelsel het *h*-veld ($es = 0$).

Een nauwkeurige begrenzing van de toepassingsgebieden van de beide stelsels bestaat niet, en evenmin een duidelijke voorkeur voor een van de beide stelsels. De keuze hangt af van de aanwezige productiemiddelen, van de te fabriceren aantallen en vooral ook van constructieve aspecten. Een gemengde toepassing van beide passingsstelsels is vaak aan te bevelen.

2.2.3 Selectie van passingen

Om het aantal fabricage- en spanmiddelen en het aantal meetgereedschappen te beperken – dus vanwege economische redenen en een zo uniform mogelijke fabricage – moet een selectie worden gemaakt uit het grote aantal mogelijke samenvoegingen van passingsdelen met hetzelfde of een soortgelijk karakter. Zo'n selectie is in DIN 7154, DIN 7155 en DIN 7157 opgenomen. Deze selectie is gebaseerd op praktijkervaring en wordt in **figuur 2-10** weergegeven, evenals in **tabel 2-4** en **tabel 2-5**.

Aanwijzing: bij de keuze van passingen is de constructeur dikwijls gehouden aan de in de betreffende bedrijfsnormen vastgelegde selectie. Hierin zijn voor bepaalde delen passingen aangegeven die op basis van ervaring geschikt zijn bevonden en waarvoor ook de bijbehorende productiegereedschappen en controlemiddelen aanwezig zijn.



Figuur 2-10
Selectie van een passing voor het EB-stelsel, weergegeven voor de nominale maat $N = 50$ mm

Voor in de praktijk vaak voorkomende gevallen zijn in **tabel 2-9** geschikte passingen weergegeven, die echter slechts als algemene richtlijn gebruikt mogen worden. In bijzondere gevallen, bijv. bij persverbindingen of glijlagers, moeten de passingstoleranties en daarmee de grensmaten van het uitwendige en inwendige deel afzonderlijk worden berekend.

2.3 Oppervlaktegesteldheid

2.3.1 Vormafwijkingen

Het is productietechnisch niet mogelijk om werkstukken met een geometrisch ideaal oppervlak te vervaardigen. De door de bewerkingmethode ontstane regelmatige of onregelmatige oneffenheden worden vormafwijkingen genoemd (het totaal van alle afwijkingen van het werkelijke oppervlak ten opzichte van het geometrisch ideale oppervlak). De vormafwijkingen worden afhankelijk van het type afwijking in zes groepen verdeeld, zie **figuur 2-11**.

De vormafwijkingen van de groepen 3 tot en met 5 worden ruwheid genoemd; deze komen boven op de afwijkingen van de eerste en de tweede groep.






De oppervlakteruwheid van de componenten wordt ofwel gecontroleerd door een vergelijking op zicht en gevoel (NEN EN ISO 4288) of gemeten met een elektrische taster (NEN EN ISO 3274). De visuele controle dient uitsluitel te geven over oppervlaktefouten (scheuren, groeven, krassen). De vergelijking op zicht en/of gevoel moet worden uitgevoerd met behulp van vergelijking monsters van oppervlakken.

De oppervlakteruwheid van de vormafwijking van groep 3 en 4 wordt door een profielsnede loodrecht op het geometrisch ideale oppervlak bepaald en m.b.v. verschillende meeteenheden beschreven, **figuur 2-12** en **2-13**.

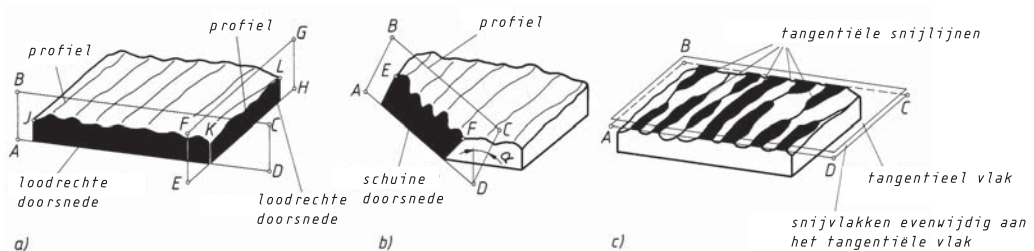
De *middellijn* deelt het ruwheidsprofiel zo in, dat de som van de vlakken met materiaal (de pieken) A_b erboven en de som van de vlakken zonder materiaal (de dalen) A_o eronder gelijk zijn, **figuur 2-13a**.

De *gemiddelde ruwheidswaarde* R_a is het rekenkundig gemiddelde van de absolute afwijkingstotalen Z van het ruwheidsprofiel tot de middellijn binnen de meetlengte l na het uitfilteren van de golving, **figuur 2-13a**. Met R_a zijn gelijksoortige oppervlakken vergelijkbaar. R_a is relatief ongevoelig voor sterk afwijkende waarden maar doet geen uitspraak over de profielvorm.

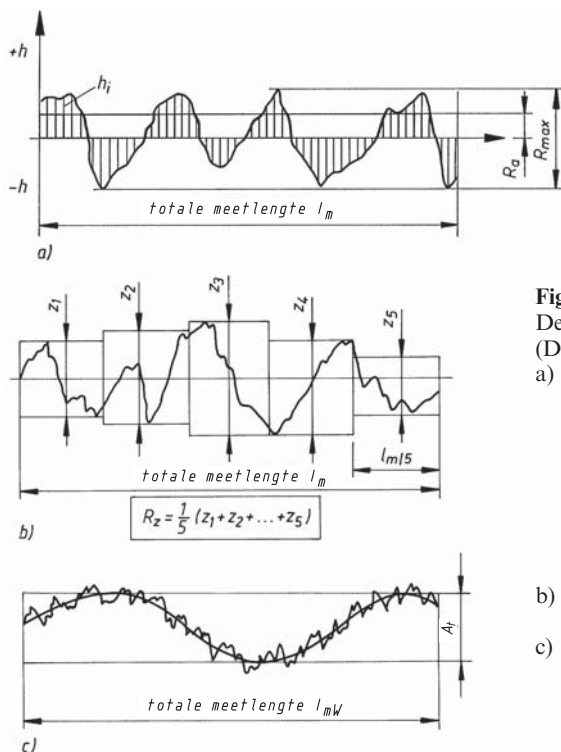
De *gemiddelde ruwheidshoogte* R_z is het rekenkundig gemiddelde van de afzonderlijke ruwheidshoogtes R_z1 van vijf afzonderlijke, aan elkaar grenzende en even lange meettrajecten van een gefilterd profiel.

Vormafwijking (als dwarsdoorsnede overdreven weergegeven)	Voorbeelden van de soort afwijking	Voorbeelden van oorzaken van het ontstaan	
1. groep: afwijkingen in de vorm 	oneffenheid coniciteit	Fouten in de geleidingen van de gereedschapsmachines, doorbuigen van machine of werkstuk, fout inklemmen van het werkstuk, hardingsvervorming, slijtage.	
2. groep: golvend oppervlak 	golven	Excentrische inklemming of vormfouten van een frees, trillingen van de gereedschapsmachine of van het gereedschap.	
3. groep: 	Ruwheid	groeven	Vorm van de gereedschapsnijkant, voeding of snedediepte van het gereedschap.
4. groep: 		inkervingen rillen insnijdingen	Spaanvormingsproces (brokkel-spaan, scheurspan, opbouwsnijkant), materiaalvorming bij zandstralen, vorming van uitlopers bij galvanische behandeling.
5. groep: niet meer op eenvoudige wijze grafisch weer te geven.		textuur	Kristallisatieproces, verandering van oppervlak door chemische invloeden (bijvoorbeeld beitsen), corrosieprocessen.
6. groep: niet meer op eenvoudige wijze grafisch weer te geven	kystalrooster van materiaal	Fysische en chemische reacties in de opbouw van het materiaal, spanningen en afschuiving in het kystalrooster.	
		overlapping van de vormafwijkingen van de eerste tot vierde groep	

Figuur 2-11 Voorbeelden van vormafwijkingen (volgens DIN 4760)



Figuur 2-12 Oppervlactedoorsneden a) dwarsdoorsnede, b) schuine doorsnede, c) tangentiële doorsnede

**Figuur 2-13**

Definitiegrootheden van oppervlakken
(DIN EN ISO 4287)

a) weergave van de rekenkundig gemiddelde ruwheids-
hoogte R_a

$$\left(\begin{aligned} \Sigma A_b &= \Sigma A_o, & A_g &= \Sigma A_b + \Sigma A_o, \\ Ra &= \frac{1}{l} \int_0^l |z(x)| dx = \frac{A_g}{l} \end{aligned} \right)$$

b) de gemiddelde ruwheidshoogte

$$R_z = 1/5(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$$

c) golving A_t

Tussen de oppervlakte-grootheden R_a en R_z bestaat geen wiskundige relatie. De R_a -waarde schommelt tussen 1/3 en 1/7 van de R_z -waarde. Om tot een vergelijk tussen productiebedrijven te komen, gaf de ingetrokken DIN 4768 (bijlage 1) een 'omrekening van de meeteenheid R_a in R_z en omgekeerd', zie **tabel 2-10**.

Omdat de gemiddelde ruwheidshoogte R_z meettechnisch eenvoudiger te bepalen, veelzeggender en aanschouwelijker is, wordt hier in het algemeen de voorkeur aan gegeven.

Naast de informatie over de oppervlakte-ruwheidshoogte kunnen voor het vastleggen van een bepaalde oppervlaktestructuur nog andere gegevens nodig zijn. Voorbeelden hiervan zijn het *materiaalaandeel* $Rmr(c)$ van een in diepte c in het materiaal verlopende snede, *golving* A_t van het uitgerichte en gefilterde profiel (**figuur 2-13c**), *groefrichting* etc. Dit is met name het geval wanneer er hogere eisen aan het oppervlak worden gesteld, zoals bijv. hoge specifieke belasting, hoge dichtheid of een gelijkmatige en geringe wrijving. In gevallen waarbij geen bijzondere eisen gelden, volstaat bij de tolerantieaanduiding van de ruwheid meestal een opgave van de toelaatbare ruwheidswaarde. Afhankelijk van de productiemethode kunnen verschillende grenswaarden voor de ruwheidswaarden, zie **tabel 2-12**, en voor het draagvermogen of het materiaalaandeel worden verkregen.

De oppervlaktekwaliteit en het gekozen tolerantieniveau zijn nauw met elkaar verbonden. Beide moeten zinvol op elkaar zijn afgestemd. Zie **tabel 2-11** voor ervaringswaarden voor productietechnisch haalbare ruwheidswaarden en de grootste toelaatbare ruwheidshoogtes, afhankelijk van het tolerantieniveau en de nominale maat. Ook wanneer er geen getalsmatige samenhang bestaat tussen de maattolerantie T en de gemiddelde oppervlakte-ruwheidshoogte R_z , moet toch vaststaan dat

$$R_z \leq c \cdot T$$

(2.7)

c factor die rekening houdt met de functie-eisen: $c \approx 0,5$, wanneer er geen bijzondere eisen gesteld worden, $c \approx 0,25$ bij geringe eisen, $c \approx 0,1$ bij hoge en $c \approx 0,05$ bij zeer hoge functie-eisen

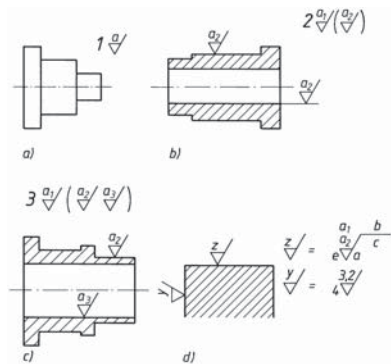
bedraagt, zodat na het samenvoegen van de passende delen en het deels plastificeren van de oppervlakteruwheden de werkelijke maat van het onderdeel binnen het tolerantieveld ligt (zie hiervoor VDI/VDE-richtlijn 2601).

2.3.2 Oppervlakteaanduidingen in tekeningen

De oppervlaktegesteldheid wordt volgens NEN 3634, **figuur 2-14**, in technische tekeningen vastgelegd. Bij het basissymbool mogen alleen aanduidingen worden ingeschreven die vereist zijn om de oppervlakken voldoende te karakteriseren. Symbolen met aanvullende informatie moeten zo worden ingevoerd dat zij van onder en van rechts leesbaar zijn, **figuur 2-15**.

Symbol	Betekenis/verklaring
	Basissymbool. Heeft op zichzelf niet voldoende zeggingskracht en moet met extra informatie worden aangevuld. Elke productiemethode is toegestaan.
	Materiaalafname wordt voorgeschreven maar zonder nadere gegevens.
	Materiaalafname voor het bereiken van het vastgestelde oppervlak is ontoelaatbaar. Oppervlak blijft in aanleverttoestand.
	Alle 'oppervlakken rondom de omtreklijn van een werkstuk' dienen dezelfde oppervlaktegesteldheid te hebben.
	Positie a tot e voor de opgave van extra eisen aan het symbool a: Oppervlakteparameter (getalwaarden, grenswaarden), overbrengingskarakteristiek van het filter, eisen voor afzonderlijke meettrajecten kan als een- of tweezijdige tolerantie voor de oppervlakteparameter worden aangegeven b: Tweede oppervlakteparameter (als onder a) c: Productiemethode, behandeling, dekking d: Oppervlaktegroeven en -afstelling, bijv. X = gekruist, M = meerdere richtingen e: Bewerkingstoeslag in mm.
	Voorbeeld voor eisen aan de oppervlakteruwheid: In de bewerking moet materiaal worden afgenomen, productiemethode: slijpen, oppervlaktegroeven ongeveer parallel ten opzichte van het projectievlak van het aanzicht. Twee eenzijdig gegeven bovengrenzen voor de oppervlakteruwheid: 1. Regel-overbrengingskarakteristiek (ISO 4288 en 3274), R-profiel, gemiddelde rekenkundige afwijking 1,6 μm , meetlengte van 5 afzonderlijke meettrajecten (regelwaarde), '16 %-regel' (regelwaarde). 2. Overbrengingskarakteristiek $-2,5$ mm (ISO 3274), grootste gemiddelde ruwheidshoogte 6,3 μm , meetlengte van 5 afzonderlijke meettrajecten (regelwaarde), 'max. regel'.

Figuur 2-14 Plaats van de aanduidingen bij het symbool van de oppervlakteruwheid volgens DIN EN ISO 1302: 2002-06



Figuur 2-15 Vereenvoudigde aanduiding op tekeningen

- a) bij gelijke eisen voor het merendeel van de oppervlakken
 b) weergave d.m.v. een symbool wanneer de ruimte beperkt is

2.4 Berekeningsvoorbeelden

- **Voorbeeld 2.1:** De bovenste en onderste grensmaatafwijkingen es en ei moeten worden verkregen uit de waarden in **tabel 2-1** en **tabel 2-2** voor de tolerantieklasse g8 voor de nominale maat $N = 40$ mm. Het tolerantieveld moet in verhouding worden weergegeven.

- **Oplossing:** Volgens **tabel 2-2** wordt voor het tolerantieveld 'g' de bovenste grensmaatafwijking

$$es = -9 \mu\text{m}$$

verkregen. De onderste grensmaatafwijking wordt verkregen uit de betrekking

$$ei = es - IT$$

(zie **tabel 2-2**, voetnoot). Met de standaardtolerantie $IT = 39 \mu\text{m}$ volgens **tabel 2-1** (tolerantieniveau 8, nominale maat $N = 40$ mm) wordt daarmee de onderste grensmaatafwijking

$$ei = -9 \mu\text{m} - 39 \mu\text{m} = -48 \mu\text{m}.$$

- **Voorbeeld 2.2:** De grenspassingen P_{\max} en P_{\min} moeten, evenals de passings tolerantie P_T worden bepaald, en volgens de geldende maatstaven worden weergegeven, voor de passing H7/k6 met behulp van de waarden uit **tabel 2-1** tot en met **tabel 2-3** voor de nominale maat $N = 140$.

- **Oplossing:** De grenspassing P_{\max} wordt met vergelijking (2.5) $P_{\max} = ES - ei$ verkregen. De grensmaat van de boring wordt berekend volgens $ES = EI + IT$ (zie voetnoot 1 bij **tabel 2-3**). Met de onderste maatafwijking van de boring $EI = 0$ (plaats van het tolerantieveld H) volgens **tabel 2-3** en $IT = 40 \mu\text{m}$ (tolerantieniveau IT 7, nominale maat 120 tot 180 mm) volgens **tabel 2-1** wordt daarmee de bovenste maatafwijking voor de boring $ES = 0 + 40 \mu\text{m} = 40 \mu\text{m}$; de maatgevende grensmaatafwijking van de as wordt voor het tolerantieveld k volgens **tabel 2-2** $ei = 3 \mu\text{m}$, zodat de grenspassing $P_{\max} = 40 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m} = 37 \mu\text{m}$ wordt. Het tolerantieveld voor de as en de boring van de passing H7/k6 is weergegeven in **figuur 2-17a**.

De grenspassing P_{\min} wordt volgens vergelijking (2.5) $P_{\min} = EI - es$. Met $EI = 0$, $ei = 3 \mu\text{m}$ (zie hierboven) en $IT = 25 \mu\text{m}$ volgens **tabel 2-1** (tolerantieniveau IT 6, nominale maat 120...180 mm) wordt volgens de voetnoot bij **tabel 2-2** de bovenste afwijking van de as $es = ei + IT = 3 \mu\text{m} + 25 \mu\text{m} = 28 \mu\text{m}$, dus $P_{\min} = 0 - 28 \mu\text{m} = -28 \mu\text{m}$.

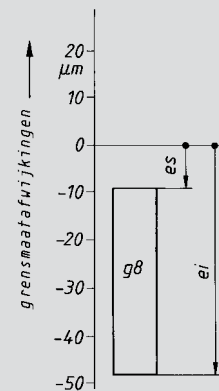
Met de grenspassingen $P_{\max} = 37 \mu\text{m}$ en $P_{\min} = -28 \mu\text{m}$ volgt de passings tolerantie volgens de vergelijking (2.6) uit

$$P_T = P_{\max} - P_{\min} = 37 \mu\text{m} - (-28 \mu\text{m}) = 65 \mu\text{m}$$

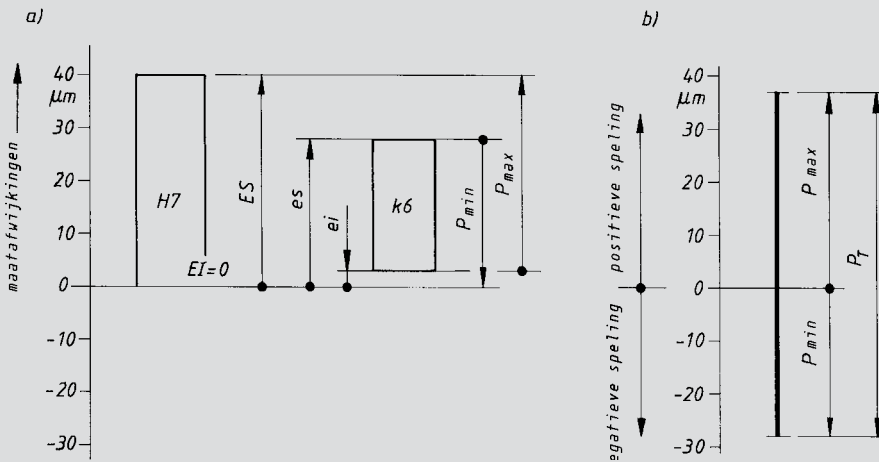
(zie **figuur 2-17b**).

Resultaat: De grenspassingen bedragen $P_{\max} = 37 \mu\text{m}$ en $P_{\min} = -28 \mu\text{m}$; de passings tolerantie $P_T = 65 \mu\text{m}$. Omdat $P_{\max} > 0$ en $P_{\min} < 0$ kan bij het samenvoegen zowel positieve als negatieve speling ontstaan. De passing H7/k6 is met andere woorden een *overgangspassing*.

Opmerking: de grensmaatafwijkingen voor boring en as kunnen ook uit **tabel 2-4** worden verkregen.



Figuur 2-16 weergave van het tolerantieveld g8 voor de nominale maat $N = 40$ mm



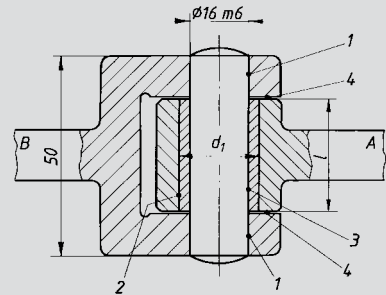
Figuur 2-17 a) Tolerantieveld van de passinge H7/k6. b) weergave van de passinge van de H7/k6 voor de nominale maat $N = 140$ mm

- **Voorbeeld 2.3:** Voor de gewrichtsverbinding tussen hefboom *A* en vork *B* (**figuur 2-18**) wordt een cilindrische pen $16\text{ m}6 \times 50$ voorgeschreven. De hefboom is voorzien van een glijbus en moet draaien om de in de vork vastzittende pen, met een positieve speling die overeenkomt met ongeveer H7/f7. De zijdelingse speling van de hefboom in de vork mag niet meer bedragen dan 0,1 ... 0,2 mm.

Nominale maat: $d_1 = 25$ mm, $l = 30$ mm.

Gevraagd worden:

- een geschikte tolerantie voor de vorkboringen (zie 1),
- een geschikte passinge tussen bus en hefboomboring (zie 2),
- de tolerantie voor de busboring (zie 3),
- de maattoleranties voor naaflengete en vorkbreedte (zie 4).



Figuur 2-18 Toleranties voor een hefboomscharnier

- ▶ **Oplossing a):** Overeenkomstig de te vervullen functie wordt de tolerantie voor de vorkboring uit **tabel 2-9** verkregen, namelijk H7 (vastzittende pen).
- ▶ **Oplossing b):** De bus moet in de hefboomboring vastzitten. Een geschikte passinge volgt eveneens uit **tabel 2-9**; gekozen wordt voor het eenheidsgatstelsel H7/r6.
- ▶ **Oplossing c):** De vast te leggen tolerantie voor de busboring wordt doelmatig aan de hand van een werktekening verkregen (zie **figuur 2-19**). Eerst worden de afwijkingen en de hieruit resulterende speling van de mogelijk toe te passen passinge H7/f7 voor de nominale maat van 16 mm onderzocht en weergegeven (**figuur 2-19a**).

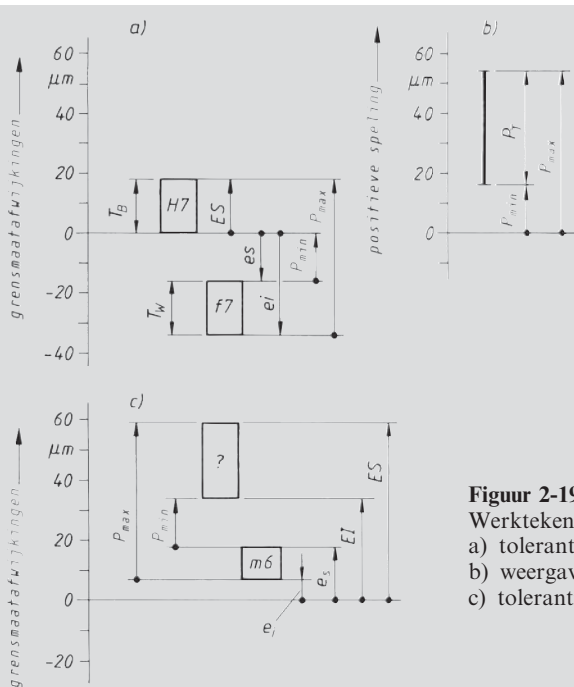
De maatafwijkingen voor de boring worden verkregen uit **tabel 2-1** en **tabel 2-3**. Voor de nominale maat van 10 tot 18 mm voor H7 wordt $ES = 18\text{ }\mu\text{m}$ en $EI = 0$, voor f7 is $es = -16\text{ }\mu\text{m}$ en $ei = es - IT_w = -16\text{ }\mu\text{m} - 18\text{ }\mu\text{m} = -34\text{ }\mu\text{m}$ (kijk hiervoor ook naar de berekeningsvoorbeelden 2.1 en 2.2).

Hieruit volgen met de dienovereenkomstige vergelijking (2.5) de grenspassingen:

$$P_{\max} = G_{GB} - G_{KA} = ES - ei = 18\text{ }\mu\text{m} - (-34\text{ }\mu\text{m}) = 52\text{ }\mu\text{m}$$

$$P_{\min} = G_{KB} - G_{GA} = EI - es = 0 - (-16\text{ }\mu\text{m}) = 16\text{ }\mu\text{m}.$$

Met P_{\max} en P_{\min} (uit ó 16 H7/f7) wordt een overeenkomstig schema met het tolerantieveld van de pen (tolerantieniveau m6 met $ei = 7\text{ }\mu\text{m}$ en $es = 18\text{ }\mu\text{m}$) samengesteld (**figuur 2-19c**) en hieruit kunnen de voor de boring (bus) resulterende afwijkingen worden 'afgelezen'. Op deze wijze krijgt men voor de boring de



Figuur 2-19

Werktekening voor het oplossen c van voorbeeld 2.3.

a) tolerantieveld van de passing H7/f7

b) weergave van de passing H7/f7

c) tolerantieveld van de gezochte passing

bovenste en de onderste maatafwijking uit:

$$ES = ei + P_{\max} = 7 \mu\text{m} + 52 \mu\text{m} = 59 \mu\text{m}$$

$$EI = es + P_{\min} = 18 \mu\text{m} + 16 \mu\text{m} = 34 \mu\text{m}$$

Voor $EI = +34 \mu\text{m}$ (gewenst) kan aan de hand van **tabel 2-3** voor de overeenkomstige nominale maat de ligging van het tolerantieveld E met de basisgrensmaatafwijking $EI' = 32 \mu\text{m}$ (werkelijk) als naastgelegen waarde worden vastgesteld, en met de standaardtolerantie voor de boring

$$IT_B = ES - EI' = +59 \mu\text{m} - 32 \mu\text{m} = +27 \mu\text{m}$$

wordt volgens **tabel 2-1** het tolerantieniveau IT 8 vastgesteld (toevallig komen bij IT_B de gewenste waarde en de werkelijke waarde overeen).

Resultaat: De busboring krijgt de **tolerantieklasse E8**.

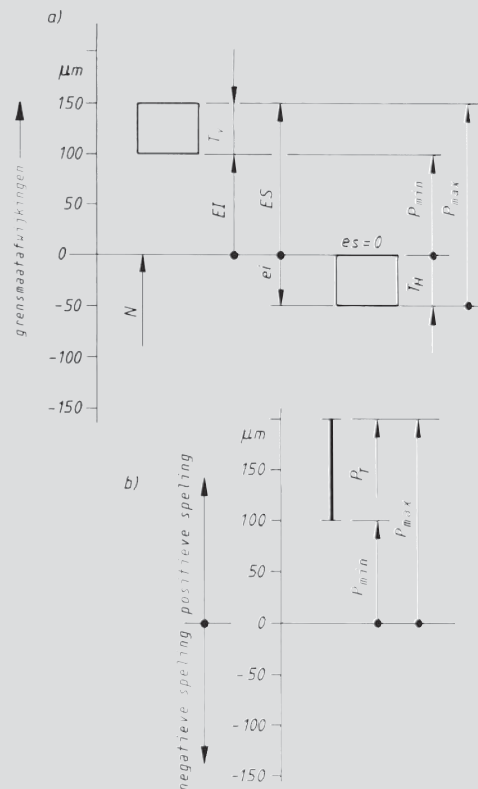
- **Oplossing d):** Ook hier worden de maattoleranties doelmatig aan de hand van een tekening (**figuur 2-20**) verkregen. Eerst worden (willekeurig) vastgelegd: nominale maat N is gelijk aan de grootste maat G_{GH} (naafbreedte van de hefboom); verder moeten de tolerantievelden voor de hefboom en de vork gelijk zijn: $T_H = T_V = P_T/2$.

Met $P_T = P_{\max} - P_{\min} = 200 \mu\text{m} - 100 \mu\text{m} = 100 \mu\text{m}$ wordt $T_H = T_V = 50 \mu\text{m}$.

Vervolgens worden in de tekening (**figuur 2-20**) alle bekende gegevens ingevoerd. Nu kan voor de hefboombreedte worden afgelezen:

$$es = 0,$$

$$ei = es - T_H = 0 - 50 \mu\text{m} = -50 \mu\text{m}$$



Figuur 2-20 Grensmaatafwijkingen van hefboom en vork

en voor de vork:

$$ES = P_{\min} + T_V = 100 \mu\text{m} + 50 \mu\text{m} = 150 \mu\text{m},$$

$$EI = P_{\min} = 100 \mu\text{m}.$$

Resultaat: De volgende afwijkingen worden verkregen:

- a) voor de hefboom: $es = 0 \text{ mm}$, $ei = -0,05 \text{ mm}$;
 b) voor de vork: $ES = 0,15 \text{ mm}$, $EI = 0,1 \text{ mm}$,

Opmerking: De oplossing is bewust met behulp van de tabellen 2-1 tot 2-3 verkregen, om daarmee namelijk een algemene oplossingsmethode aan te geven. Alternatieven voor de afwijkingen kunnen uit de tabellen 2-4 en 2-5 worden gehaald.

2.5 Literatuur

- Aberle, W.; Brinkmann, B.; Müller, H.:* Prüfverfahren Form- und Lageabweichungen. 2. Aufl. Berlin: Beuth 1990 (Beuth-Kommentar)
- Berg, S.:* Angewandte Normzahl. Gesammelte Aufsätze. Berlin: Beuth, 1949
- DIN Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN-Taschenbücher. Berlin: Beuth, Technisches Zeichnen 1. Grundnormen. 13. Aufl. 2003 (DIN-TAB 2)
- Technisches Zeichnen 2. Mechanische Technik. 7. Aufl. 2003 (DIN-TAB 148)
- DIN Deutsches Institut für Normung (Hrsg.); Klein, M.: Einführung in die DIN-Normen. 14. Aufl. Wiesbaden/Berlin: B. G. Teubner/Beuth, 2008
- Felber, E.; Felber, K.:* Toleranz- und Passungskunde. 13. Aufl. Leipzig: VEB, 1980
- Henzold, G.:* Anwendung der Normen über Form- und Lagetoleranzen in der Praxis. 6. Aufl. Berlin: Beuth, 2002 (DIN-Normenheft 7)
- Henzold, G.:* Form und Lage. 2. Aufl. Berlin: Beuth, 1999 (Beuth-Kommentar)
- Hoischen/Hesser:* Technisches Zeichnen. 31. Aufl. Berlin: Cornelsen, 2007
- Jorden, W.:* Form- und Lagetoleranzen. 2. Aufl. München: Hanser, 2001
- Kurz, U.; Wittel, H.:* Böttcher/Forberg Technisches Zeichnen. 25. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010
- Leinweber, P.:* Toleranzen und Passungen. 5. Aufl. Berlin: Springer, 1948
- Rochusch, F.:* ISA-Toleranzen, Oberflächengüte und Bearbeitungsverfahren; in: Konstruktion 9 (1957), Heft 10
- Trumpold/Beck/Richter:* Toleranzsysteme und Toleranzdesign; Qualität im Austauschbau. München: Hanser, 1997
- Volk, R.:* Rauheitsmessung – Theorie und Praxis. Berlin: Beuth, 2005
- Weingraber, H. v.; Abou-Aly, M.:* Handbuch Technische Oberflächen. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1989

Index

- aanbrengsmering 695
- aandraaien van de schroefverbinding 243
- , hoekgestuurd 247
- , rekgrensgestuurd 247
- aandraaimethode 246
- aandrijf-as 343
- , buigkritisch toerental 364
- , torsiekritisch toerental 366
- , torsieslinger 366
- aandrijf-as 353
- aandrijfketting 613
- aandrijfvermogen 622
- aandrijving met behulp van trek 613
- aandrijvings-as 344
- aandrijvingstap 353
- aanduiding
 - , genormaliseerde moeren 224
 - , genormaliseerde schroeven 224
 - , klinknagel 194
 - , voor wentellagers 487
- aanhaalfactor 247
- aanhaalmoment 243–244
- aanhaalteken 132
- aanloopkoppel 413, 415
- aanloopkoppeling 455
- aansluitvlak, afmetingen 165
- aantal riemen 604
- aantal tanden 704, 784
 - , van het rondsel 733
 - , voor de meting 730
- aantal trillingen 47
- aanvullende aanduiding 132
- aanwezige veiligheid 61
- AD 2000-richtlijnen 172
- aerostatische afdichting 677
- afdekschijf 480
 - , verende 672
- afdichting 660
 - , backring 675
 - , CIP (Cured-In-Place) 666
 - , contactloze 677
 - , delta-ring 667
 - , diffusieverlies 660
 - , dynamische 660, 669
 - , FIP (Formed-In-Place) 666
 - , geïntegreerde elastomere 666
 - , hermetische 668
 - , keuze 661
 - , met afdichtvloeistof 677
 - , statische 660
 - , tegen axiale vlakken 672
 - , tegen radiale vlakken 670
 - , voor langsbewegingen 674
 - , voor roterende beweging 669
 - , zelfwerkende 667
- afdichtingslamel 677
- afdichtkengetal 664
- afdichtmateriaal, eigenschappen 661
- afdichtschijf 672
- afdichtschroef 219
- afdichtvloeistof, afdichting 677
- afgeleide reeks 4
- afgeschuinde einden 99
- afmetingen van het onderdeel 56
- afpellen 146
- afschilsterkte 96
- afschuifbestendige pasboutverbinding 198
- afschuifbestendige pen/gatverbinding 255
- afschuifspanning 199
- afschuifsterkte 111
- afschuiving 146
- afschuivingbelaste bevestiging 258
- afstrijkring 676
- af trek van eindkraters 169
- algemene tolerantie voor lasconstructie 131
- aluminiumhardsoldeer 104
- aluminiumklinknagel 205
- amplitudespanning 242
- amplitudesterkte 58
- anisotropie 45
- apparatenbouw, klinkverbinding in de 208
- appendage 635
- arbeidsbestuurde koppeling 443
- as
 - , krachtgesloten 383
 - , materiaalgesloten 406
 - , rondlopende 343
 - , stilstaande 343
 - , vormgesloten 375
- as-naaf-verbinding, keuze 375
- asafstand 602, 622, 707, 712, 774, 782
 - , gunstiger 622
- asafstandtolerantie, cilindrische tandwieloverbrenging 729
- asbelasting 596
 - , bij trekken 605
 - , met behulp van trek 628
- aseinde 354
- ashoek
 - , kegeltandwieloverbrengingen 752
 - , schroefwieloverbrenging 773
- askoppelingen, bepalen van beweegbare 421
- astap 343
- asverplaatsing 423
- asynchrone koppeling 455
- austenitisch staal 122
- axiaal beweegbare lagering 489
- axiaal hoekcontactlager 486
- axiaal kogellager 485
- axiaal niet-beweegbare lagering 489–490
- axiaalager 478
- axiale doorsnede (tandwiel) 780
- axiale glijlager 553, 569
 - , berekening 569
- axiale kracht 740, 763, 776
 - , inwendige 504
- axiale penverbinding 288
- axiale segmentlagers 555
- axiale steek 780
- axiale veerstijfheid 424
- axiale vlakken, afdichting 672
- backring** 675
- badsmerring 695
- bandkoppeling, hoogelastische 437
- basiscirkel 688
- basiscirkeldiameter 705, 722
- basismaatafwijking 22
- basisoplossing 12
- basistandhoek 721

- basisuitvoeringen van wentella-
 gers 479
 bedrijfsdruk, toelaatbare 653
 bedrijfsfactor 42
 –, K_A 65, 169, 740
 bedrijfslagerspeling 560
 bedrijfsrolcirkel 706
 bedrijfssterkte 48
 bedrijfssterktebepaling (kraan-
 draagconstructie) 209
 bedrijfstemperatuur
 –, invloed op de olieviscosi-
 teit 77, 532
 –, invloed op levensduur van
 lagers 506
 beklede staafelektrode 124
 belasting 37, 95, 504
 –, dynamisch equivalent 502
 –, algemene dynamische (las-
 verbinding) 169
 –, dynamische 652
 –, kengetal van de dynami-
 sche 503
 –, samengestelde 39, 170
 –, statisch equivalent 501
 –, statische 651
 –, veranderend 505
 belasting (last) 148
 –, op wringing 170
 –, van de schroef bij het aan-
 draaien 248
 –, van lagers 504
 belastingscombinatie 149
 belastingsconcentratiefac-
 tor 741
 belastingsduur 45
 belastingskengetal 777
 belastingsnelheid 45
 belastingssoort 37
 belastingsspanning 319
 belastingsverdelingsfacto-
 ren 742
 belastingsverhouding 41
 belastingverloop 48
 bemating van de lasverbin-
 ding 132
 benuttingswaarde (riemaandrij-
 ving) 595
 beoordeling 13
 –, weegfactor 13
 beoordelingsmethoden 13
 bepalen
 –, tandenaantal 620
 –, van beweegbare askoppe-
 ling 421
 –, van de geometrische
 sterkte 57
 –, van de werkende belas-
 ting 169
 –, van schakelbare wrijvings-
 koppeling 424
 bereikbare levensduur 506
 –, bij veranderlijke bedrijfsom-
 standigheden 507
 berekening
 –, van belasting (staal-
 bouw) 148
 –, van bewegingsschroeven 262
 –, van conische klemrin-
 gen 398
 –, van constructiedelen (klink-
 verbindingen) 197
 –, van draagassen/aandrijf-
 fasen 358, 360
 –, van draagveiligheid 150
 –, van draagvermogen 736
 –, van inlegspieverbinding 378
 –, van kegelverbindingen 392
 –, van klemverbinding 402
 –, van lasconstructies 148
 –, van lasverbinding 160
 –, van lijmverbindingen 99
 –, van naafafmeting 381
 –, van penverbindingen 279,
 286
 –, van persverbinding 384
 –, van radiale glijlagers 559
 –, van spieasverbinding 380
 –, van soldeerverbindingen 109
 –, van vertande-asverbinding-
 en 380
 berekeningsconstante 653
 berekeningsgrondslagen (pijp-
 leidingen) 648
 berekeningsvoorbeeld (pijplei-
 dingen) 655
 beschermafdichting, contact-
 loze 677
 betreffende spanningsgra-
 diënt 54
 betrekking
 –, geometrische 601
 –, kinematische 601
 bevestiging
 –, afschuivingbelast 258
 –, momentbelast 258
 bevestigingsschroef 219
 beweegbare koppeling 428
 bewegingsschroef 219, 261
 –, berekening 262
 –, controle op knik 264
 –, nacontrole van de
 sterkte 262
 –, rendement 266
 Bibby-koppeling 435
 bijwerking van het laspro-
 ces 116
 bijzondere belasting 148
 bindsterkte 96
 binnencentrering 379
 binnenste steekgevellengte 755
 bladveer 308–309
 –, driehoekig 309
 –, gelaagde 310
 –, rechthoekig 308
 blindklinknagel 189
 blokkeer-veiligheidskoppe-
 ling 448
 blokkenremmen 462
 bloklengte 325
 blokspanning 320
 bodem, vlakke 176
 bol (drukvatenvbouw) 174
 bollen 37
 bolling 39
 bolverzonken schroeven 222
 borgclip 291
 borgelement 226, 276, 288
 –, borgtandschroef 226
 –, krachtgesloten 225, 253
 –, materiaalgesloten 253
 –, mee-ingeklemd verend 225,
 253
 –, vrendelende 226
 –, vormgesloten 225, 253
 –, werking 253
 –, zelfborgende volledig uit me-
 taal vervaardigde moer 226
 borgelement tegen losdraai-
 en 253
 borging met behulp van
 draad 225
 borging tegen verliezen 253
 borngplaat 225
 borgring 288–289
 borgtandschroef 226
 bout voor voorgespannen con-
 structies 223
 bouwvorm 632
 bovenste maatafwijking 22
 bovenste spanning 39
 breedprofielriem 585
 breedte
 –, van het tandwiel 733
 –, van het wormwiel 782
 breedte-dikteverhoudingen,
 grenswaarde 150
 breedteverhouding 541, 761
 breukmechanica 37
 brosse breuk 120
 buigbelasting
 –, drukstaaf 157
 –, vervorming bij 361
 buigfrequentie 607
 buiging
 –, torsie 50
 –, wisselsterkte 50
 buigkritisch toerental 364
 buiglijger, gelast 159

- buigspanning 598
 buigtrilling 363
 buigwielsterkte 111
 buis 632
 –, van aluminium en aluminiumlegeringen 634
 –, van ductiel gietijzer 653
 –, van koper en koperkneedlegering 633
 buishouder 646
 buisophanging 646
 buisweerstandsfactor 649–650
 buitengeleiding 621
 buitenste modulus 754
 buitenste steekcirkeldiameter 754, 759
 buitenste steekkegellengte 755
 buitenste topcirkeldiameter 759
 buitenste voetcirkeldiameter 759
 busketting 615
- capillaire vuldruk 103
 capillaire werking 103
 CARB-lager 484
 cardanafwijking 432
 cardanas 343
 cardankoppeling 431
 CAx-systeem 18
 cellenbouwwijze 143
 CEN 2
 centrifugaalkoppeling 448, 450
 centrifugaalkracht 364, 595
 centrifugaalkrachtspanning 598
 centrifugaalwerking 627
 centrisch aangesloten trekstaaf 151
 –, schuifspanning 160
 chroomstaal, ferritisch 122
 cilinderkopschroef 222
 cilinderlager 482
 cilinderworm 777
 cilindrisch persverband 383
 cilindrisch tandwiel 704
 –, ruwheidsfactor Z_R 748
 –, schuine vertanding 720
 cilindrisch tandwiel met schuine vertanding 720
 cilindrische bollen 173
 cilindrische draagas 350
 cilindrische drukvatmantels 174
 cilindrische mantels en bollen 173
 cilindrische pen 283
 cilindrische schroefveer 324
 cilindrische tandwielaandrijving
 –, contactsterkte 745
 –, tandvoetsterkte 743
 cilindrische tandwieloverbrenging
 –, berekening draagvermogen 736
 –, berekeningsvoorbeeld 726
 –, factoren die de belasting beïnvloeden 740
 –, ingrijpflankspeling 728
 –, krachtsverhoudingen 737
 –, omtrekflankspeling 728
 –, overbrengverhouding 732
 –, radiale speling 728
 –, tandwijdte 729
 cilindrische wormoverbrengingen 778
 CIP (Cured-In-Place) 666
 circulatiesmering onder druk 546
 clinchen 212
 clinchverbinding 210
 combinatie van eigen- en lastspanningen 119
 compactafdichting 675
 compenserende koppeling 428
 compound-glijlagers 538
 compoundriem 584–585
 conceptvariant 12
 concipiëren 9
 condenswatercorrosie 207
 conisch klemelement 395
 conische klemringen 395
 –, berekening 395, 398
 –, selectie 395
 –, toepassing 395
 –, uitvoering 395
 conische klemset 395
 conische pen 283
 conische spanringen, selectie 397
 Connex-spanbus 285
 consolebevestiging 260
 constructie van de riemoverbrenging 594
 constructie-element, met wettellagers 511
 constructiebepaalde lasveiligheid 124
 constructiecatalogus 11
 constructiedeel, lasbaarheid 120
 constructiefactor 50, 57
 –, statische 50
 constructieclassen 122
 constructieprincipes 15
 constructies 461
 constructiestaal, ongelegeerd 121
 construeren 15
 –, op de sterkte afgestemd 15
 –, van de riem, riemschijf 592
 –, van rollenkettingoverbrenging 619
 contact(flank)spanning 745
 contactafdichting 663
 –, losneembare 662
 –, tussen langs elkaar bewegende delen 669
 –, tussen stilstaande delen 662
 contactcorrosie 207
 contacthoek 479, 504
 contactlijm 93
 contactloze afdichting 677
 contactloze beschermafbeelding 677
 contactmiddelpunt 480
 contactspanning volgens Hertz 74
 contactsterkte 737, 745
 controle
 –, op prestatiecapaciteit 257
 –, van de dynamische sterkte 64
 –, van de statische sterkte 63
 –, van de sterkte 63, 64
 –, van de totale veiligheid 61
 –, van de vermoeiingssterkte 64
 corrosie 87
 corrosiebescherming 207
 corrosiebestendigheid 97
 cycloïde vertanding 686
- d**
 decimaalclassificatie 3
 deelspanning 598
 delta-ring 667
 demping 420
 dempingsgraad 305
 deuvelformule 166
 dichtheid, technische 660
 differentiaal-bouwwijze 205
 diffusie 103
 diffusieverlies 660
 diktefactor 172
 DIN-(NEN-)norm 2
 directe lagering 506
 dispersielijm 93
 dampelsmering 497
 doorbuiging, analytische bepaling 361
 doorbuigveiligheid 787
 doorgangsverhouding 760
 doorzakken van kettingdellen 624
 –, relatieve 624
 dopmoer 223
 draaddiameter 312
 draadverbinding 643
 draagas 343
 –, cilindrische 350
 –, doorbuiging 361
 –, omgevormde 350

- , vereenvoudigde sterktecontrole 358
 - draaggetal
 - , C 500
 - , dynamisch 500
 - , invloed van bedrijfstemperatuur 506
 - , invloed van de hardheid 506
 - , invloed van vermindering 506
 - , statisch 500
 - draagvermogen 198
 - , dynamisch 500
 - , statisch 501
 - draaimoment, equivalent 42
 - draaiverbinding 512
 - dragende tap 351
 - driehoekige bladveer 309
 - drijfspie 404
 - droge smering 544
 - droge wrijving 529
 - drooglooplager 536
 - druk 50
 - drukbus van ductiel gietijzer 633
 - drukhuls 400
 - drukreservoir, gesoldeerde 110
 - drukstaaf 153
 - , met buigbelasting 157
 - drukstoot 654
 - druktest 653
 - drukvalen 144, 172
 - , berekening 172
 - , gelaste 172
 - , vlakke bodem 176
 - , vlakke plaat 176
 - drukvalenbouw
 - , algemene sterktevoorwaarde 178
 - , interingstoelag 174
 - , toeslag bij onderschrijding van de nominale wanddikte 174
 - , vereiste wanddikte 174
 - drukveer 327
 - , koudgevormde 324
 - , som van de minimale afstanden 325
 - drukverlies 648
 - drukverloop 569
 - druppelsmering 498
 - dubbele riem 585
 - Duplexrem 462
 - duursmering 497
 - duursterkte 111
 - duurzaamheid van schroefverbinding 242
 - DVS-merkbladen 2
 - dwarskracht
 - , lastverhouding bij dynamische kracht 240
 - , lastverhouding bij statische kracht 240
 - dwarskrachtbuiging 160
 - dwarskrachtenmiddelpunt 170
 - dwarskrimp 119
 - dwarspersverband 383
 - dwarspersverbinding 390
 - dynamisch draaggetal 500
 - dynamisch equivalente lagerbelasting 504, 516
 - dynamisch kengetal 500
 - dynamische afdichting 660, 669
 - dynamische belasting 652
 - dynamische dwarskracht 240
 - dynamische factor K_V 740
 - dynamische kerffactor 54
 - dynamische lagerbelasting 500
 - dynamische sterkte 46
 - dynamische sterktecontrole 358
 - dynamische viscositeit 76
 - dynamische viscositeit 531
- eenheidsasstelsel 28
 - Einheidsboringsstelsel 28
 - eenvoudige spleetafdichting 677
 - effectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt 564
 - eigenfrequentie 364
 - eigenhoekfrequentie 420
 - eigenschappen
 - , van afdichtmaterialen 661
 - , van lastoefoegmateriaal 124
 - , van lijmverbindingen 96
 - , van onderdelen 52
 - , van smeermaterialen 496
 - , van soldeer 104
 - elasticiteit van een koppeling 435
 - elasticiteitsfactor 747
 - elasticiteitsgrens 43
 - elastisch gedrag 597
 - elastische klauwkoppeling 436
 - elastische lengteverandering 236
 - elastische penkoppeling 436
 - elastische vervormbaarheid 236
 - elastische vormverandering 43
 - elektromagnetisch bestuurd koppeling 443
 - enkelrijig hoekcontactkogellager 481
 - enkelrijig staatslager 571
 - enkelvlakskoppeling 443
 - ensat-draadbussen 223
 - equivalent draaimoment 42
 - equivalente grootste belasting 169
 - equivalente kleinste belasting 169
 - equivalente kracht 42
 - equivalente-staaf-methode 158
 - ETP-Spanbus 400
 - Euler, knikspanning 264
 - Europese instabiliteitskrommen 156
 - evolvente boogtand 758
 - evolvente vertanding 688
 - evolventefunctie 715
 - excentriciteit, relatieve 560
 - excentrisch aangesloten trekstaaf 151
 - expansiebochten 645
 - experimenteel bepaalde kerffactor 54
 - expertsysteem 19
- fabricage
 - , van evolvente vertanding 690
 - , van wormoverbrengingen 778
 - fabricage-drukhoek 706
 - fabricage-rolcirkel 706
 - fabricageafhankelijke lasveiligheid 124
 - fabricagelassen 122
 - factoren 596
 - , die de belasting beïnvloeden 740
 - , die de vermoeingssterkte van onderdelen beïnvloeden 52
 - ferritisch chroomstaal 122
 - fictieve pseudo-elastische spanningsamplitude 652
 - fijne schroefdraad 220
 - fijnkorrelig constructiestaal, lasgeschikt 122
 - FIP (Formed-In-Place) 666
 - flankcentrerings 379
 - flanklijnafwijking 741
 - flankprofielen 686
 - flankspanning 747
 - flankspeling 727
 - flens, vormgeving van de vlakafdichting 666
 - flenskoppeling 427
 - flenslager 478, 549
 - flensverbinding 641
 - flexibele drijfjas 344
 - flexibele geheel metalen koppeling 430
 - Flyer-ketting 613
 - formule van Bredtscher 170
 - formule van Eytelwein 595
 - functie
 - , afdichting 660

- , assen, koppelingen 412
- , assen, naven, as-naaf-verbinding 375
- , draagassen, aandrijfassen 343
- , lijmverbindingen 91
- , pijpleiding 632
- , rem 460
- , schroefverbinding 219
- , soldeerverbindingen 102
- , tandwieloverbrenging 681
- , wentellager 477
- functioneel vlak 681
- Galle-ketting** 613
- galling** 737
- gasgesmeerde lagers** 536
- gatafstand** 203
- geïntegreerde elastomere afdichting** 666
- gebruiksduur** 507
- gecombineerde invloed** 256
- gedeeld kussenblok met voet** 549
- gedeelde schijfnaaf** 402
- GEH, vormveranderingshypothese** 171
- geheel metalen koppeling, flexibele** 430
- gekruiste riemaandrijving** 588
- gelaagde bladveren** 310
- gelaagde riem** 584
- gelast machinedeel** 143
- gelaste stalen buis** 632
- geleidepen-verbinding** 287
- geleidering** 677
- geleidingsschroefdraad** 265
- geleidingstap** 351
- gemengde constructie** 144
- gemiddelde modulus** 754
- gemiddelde ruwheidshoogte** 29
- gemiddelde ruwheidswaarde** 29
- gemiddelde schuifspanning, schuifspanning** 165
- gemiddelde spanning** 39
- gemiddelde steekcirkeldiameter** 754, 759
- gemiddelde steekkegellengte** 755
- gemiddelde topcirkeldiameter** 759
- gemiddelde voetcirkeldiameter** 759
- gemodificeerde levensduurberekening** 506
- geometriefactor** 747
- geometrische betrekking** 601
- geometrische groottefactor** 56
- geometrische sterkte, bepaling van de** 57
- geometrische vermoeiingssterkte** 58
- geometrische wisselsterkte** 58
- geschrankte riemaandrijving** 588
- gesinterd metaal** 539
- gesleufde hefboomnaaf** 403
- gesloten pijlvertanding** 720
- gesoldeerde drukreservoirs** 110
- getal van Sommerfeld** 561
- getrapte verbindingstuk** 618
- getrokken part** 594
- gewelfde bodem** 174
- gietijzer** 123
- giestaal** 123
- gladde huidklinkbewerking** 205
- glijdingsfactor** 748
- glijlager** 528
- , getal van Sommerfeld 561
- , glijvlakken 529
- , relatieve excentriciteit 560
- , relatieve lagerspeling 559
- , ringsmering 546
- , smeerinrichtingen 545
- , smeermethode 545
- , smeermiddel 544
- , smeermiddelvolumestroom 564, 566
- , terugkoeling van het smeermiddel 565
- , uitvoering 548, 553
- , warmtebalans 564
- , wrijvingskengetal 562, 574
- , wrijvingsstoestand 73, 529
- , wrijvingsvermogen 570
- glijlagermateriaal** 537
- glijnaaf** 448
- glijringafdichting** 673
- glijruimte** 529
- glij snelheid** 774
- glijvaste verbinding** 257
- glijvlakken** 529
- globoïd wormwiel** 778
- globoïde cilindrische wormwieloverbrengingen** 778
- globoïde worm** 777
- globoïde wormoverbrengingen** 778
- grensmaten** 22
- grensspanningsbreuk** 47
- grensspanningsverhouding** 169, 172
- grenstandaantal**
 - , cilindrische tandwieloverbrenging 708, 724
 - , kegeltandwieloverbrengingen 760
- grenstoerental** 391
- grenswaarde** 47
- , van breedte-dikteverhoudingen 150
- , voor het aantal tanden, kegeltandwieloverbrengingen 677
- groefafdichting** 677
- groefkogellager** 480
- groefringmanchet** 675
- groefvormingsweerstand** 537
- groepsge wijze geometrische reeks** 4
- grootste belasting, equivalente** 169
- grootste maat** 22
- grootste schuifspanning** 279
- groottefactor** 745, 748
- , geometrische 56
- , technologische 44, 50, 56
- , van de vorm afhankelijke 54
- , van de vormfactor afhankelijke 56
- GV-verbinding** 257
- GVP-verbinding** 257
- haakse afsluiter** 636
- haalketting** 613
- half gekruiste riemaandrijving** 588
- halfdroge wrijving** 530
- halfomsluitende lager** 561
- halstap** 351
- halve tanddiktehoek** 705
- halve-bolbodem** 174
- hardheid, invloed op het draaggetal** 506
- hardsoldeer** 104
- hardsolderen** 102
- hechtingmechanisme** 91
- hefboomnaaf, gesleufde** 403
- hefklep** 636
- Helicoil-inzetschroefdraad** 223
- hellingshoek** 627
- , van het opgespannen kettinglijn 627
- hermetische afdichtingen** 668
- herstellassen** 122
- heugel** 682
- High Torque Drive** 587
- hijsketting** 613, 615
- hoek-veerstijfheid** 424
- hoekcontactkogellager**
 - , enkelrijig 481
 - , tweerijig 481
- hoekfrequentie** 420
- , in bedrijfstoestand 420
- hoekgestuurd aandraaien van de schroefverbinding** 247
- hoeklas** 128, 161
- , ongelijkzijdige 129
- hoeksteun** 203

- hoekverdraaiing 119
 hoeveelheid vet 496
 hogetemperatuursoldeer 104
 hogetemperatuursolderen 102
 holle drijf-as 352
 holle klinknagel 188
 holle klinknageltap 188
 holle kopspieën 404
 holle pen 279
 holle spie 404
 homokinetische koppeling 434
 hoofdfunctie 10
 hoofdreeks 3
 hoogelastische bandkoppeling 437
 hoogelastische schijvenkoppeling 437
 hoogelastische tussenringkoppeling 438
 houdrem 461
 huisglijlager 549
 huizen van staande lagers 548
 hulpstuk 635
 humanisering van de arbeid 1
 hybride bouwwijze 144
 hybride lager 486
 hydrauliekafdichting 676
 hydrauliekbuis 644
 hydraulische koppeling 446
 hydraulische persproef 653
 hydraulische spanbus 400
 hydrodynamische koppeling 455
 hydrodynamische smering 73, 533
 hydrostatische smering 73
 hyperbolisch wiel 681
 hypoid overbrenging 752
 hypothese voor de vormveranderingsenergie 39
- IJzer-koolstof-gietmateriaal** 122
 inbouwlager 478
 -, van gesinterd metaal 549
 inbouwlagerspeling 560
Indeling
 -, van de as-naaf-verbindingen 375
 -, van de machineonderdelen 219
 -, van de schroefverbindingen 219
 indeuking 39
 inductiekoppeling 448, 453
 inductierem 465
 ingegoten lagermetaal 548
 ingrijpfactor 744, 747
 ingrijpflankspeling 728
 ingrijpquotiënt 707, 723, 726, 775
- ingrijpsteek 708
 ingrijpverhouding 756, 759
 inhaalkoppeling 451
 inkleemvoorwaarde 277
 inlegspieverbinding 375
 -, berekening 378
 -, vormgeving 377
 inloopgedrag 537
 inspanbus 286
 instabiliteitskromme 156
 -, Europese 156
 insteekverbinding 109
 instelhoek 561
 integraal-bouwwijze 205
 interingstoetslag 174
 invloed
 -, op de onderdeelsterkte 56
 -, van het toerental bij persverbindingen 391
 -, van vloeibare smeermiddelen 530
 invloedfactor
 -, afmetingen van het onderdeel 56
 -, oppervlakteversteving 56
 inwendig tandwielpaar 682
 inwendige axiale krachtcomponent 504
 inwendige voorspankracht 330
 ISO-draad, metrisch 28
 ISO-passingsstelsel 28
 ISO-schroefdraad, metrische 220
 ISO-viscositeitsclassificatie 532
 isolatiemaatregel 208
- kartelmoeren** 223
 kegelhellingshoek 392
 kegellager 484
 -, inwendige axiale krachtcomponent 504
 kegelpersverband, aandrukkraft 394
 kegelpersverbinding 391
 -, opschuifafstand 393
 -, vormgeving 391
 kegeltandwiel 699
 -, grafische weergave 700
 -, overbrengingsrendement 696
 kegeltandwielfactor 766
 kegeltandwieloverbrengingen 752
 -, ontwerpberekening 760
 -, overbrengverhouding 753
 -, putvormingssterkte 765
 -, schuin vertande 757
 -, tandvoetsterkte 764
 -, wielafmeting 753
 kegelvormige persverbindingen, berekening 392
- kengetal
 -, dynamisch 500, 503
 -, statisch 500
 kenwaarde 496
 keramisch lager 486
 kerffactor, experimenteel bepaalde 54
 kerfgevoeligheid 53
 kerfnagel 284
 kerfpen 282, 284
 kerfwerking 52
 -, kerven 54
 -, ontlastkerven 55
 kerven 54
 kettingdeel, doorzakken 624
 kettingoverbrenging 613
 -, asafstand 622
 -, berekeningsvoorbeeld 628
 -, busketting 615
 -, centrifugaalwerking 627
 -, Flyer-ketting 613
 -, functie 613
 -, Galle-ketting 613
 -, hulpvoorziening 624
 -, kettingsoort 613
 -, keuze van de ketting 621
 -, mechanica van 618
 -, opstelling van de 624
 -, penketting 613
 -, platenketting 613
 -, rollenketting 615
 -, schakelaantal 622-623
 -, schakelketting 613
 -, scharnierketting 613
 -, steuntrekkraft 627
 -, verandingsgegevens 619
 kettingsoort 613
 kettingtrekkraft 627
 kettingwiel 617, 620
 -, aantal tanden 620
 -, uitvoering van de 621
 keuze
 -, van de as-naaf-verbinding 375
 -, van de ketting 621
 -, van een afdichtingselement 661
 -, van een lager 491
 -, van een lasmethode 116
 -, van het materiaal 15
 kinematisch toelaatbaar toerental 508
 kinematische betrekking 601
 kinematische viscositeit 77, 497, 531
 klauw-veiligheidskoppeling 449
 klauwkoppeling 428
 -, elastische 436
 -, schakelbare 439

- kleinste belasting, equivalente 169
- kleinste maat 22
- klemafdichting 662
- klemelement-verbinding 395
- klemkoppelbus 428
- klemkracht 238, 241
- klemlengte 198
- klemringen 396
- klemset 395
- klemverbinding 402
- , berekening 402
- , vormgeving 402
- klepafsluiter 637
- klepbodemp 175
- klinkgatdiameter 197, 206
- klinknagel 189
- , aanduiding 194
- , aantal, vereist 201
- klinknageldiameter 206
- klinknagelgebruik, optimaal 200
- klinknagellengte 198, 207
- klinknagelmateriaal 193
- klinknageltrap 188
- klinknagelverbinding
- , in lichtmetalen constructies 204
- , vervaardiging 194
- , vormgeving 203
- klinknagelvorm 188
- klinkverbinding 208
- knik 39
- , van enkelvoudige drukstaven 153
- knikfactor 156
- knikken 37
- knikspanning
- , volgens Euler 264
- , volgens Tetmajer 264
- knikstabiliteit 153
- knoopplaten 158
- koeling, natuurlijke 565
- koelolievolumestroom 575
- kogel-omloopenheid 513
- kogelhuls 513
- kogelkraan 638
- kogellager met losse huisring 481
- kogelomloopspilaandrijving 513
- kogelvormige tap 351
- koolstofequivalent 121
- kopbaan, relatieve 708
- koperlegering 539
- kophoogte 781
- kophoogtefactor 714
- koppel
- , bij wrijvingskoppeling 425
- , over te brengen 425
- , van de koppeling 418
- koppeling 412
- , aanloopkoppel 413, 415
- , aanloopproces 424
- , arbeidsbestuurde 443
- , bepalen van beweegbare 421
- , beweegbare 428
- , compensatiefunctie 412
- , eigenhoekfrequentie 420
- , elasticiteit 435
- , elektromagnetisch bestuurd 443
- , functie 412
- , gebruik 457
- , hydraulische 446
- , hydrodynamische 455
- , keuze 457
- , koppelstoot 419, 422
- , mechanisch bestuurd 440
- , metaal-elastische 435
- , met gelaagde coaxiale schroefveren 436
- , met parallelle kruk 430
- , momentbestuurde 448
- , niet schakelbaar 427
- , onafhankelijk bestuurd 438
- , pneumatische 446
- , radiale veerstijfheid 424
- , resonantiefrequentie 420
- , richtingbestuurde 451
- , rubberelastische 436
- , rustbestuurde 443
- , schakelbare 438
- , schakelbare koppel 425
- , schakelbare wrijvingskoppeling 424
- , snelheidsstoot 419
- , stootbelasting 422
- , stootdempende werking 412
- , stootverminderende werking 412
- , toerentalbestuurde 450
- , torsiestijve 428
- , versnellingskoppel 415
- , warmtebelasting 426
- , werking 412
- , wisselingen van het koppel 419
- , wisselkoppel 423
- koppeling-rem-combinatie 463
- koppelingskeuze 457
- , berekening 413
- koppelstoot 419, 422
- kopspe 404
- kopvertanding 382
- koudgevormde drukveer 324
- koudklinken 196
- kraan 638
- kraanbouw 65, 168
- , lasverbinding 168
- , schroefverbinding 254
- , sterktecontrole 65
- kraanconstructie, klinknagels 197
- kracht
- , bij de kettingoverbinding 627
- , equivalente 42
- , in schroefverbindingen 237, 246
- , op consolebevestiging 260
- , op de worm 783
- , op een recht cilindrisch tandwielpaar 737
- , op een schuin vertand cilindrisch tandwielpaar 739
- , op het kegeltandwielpaar 763
- , op momentbelaste bevestiging 258
- krachtgesloten as-naaf-verbinding 383
- krachtgesloten borgelement 225, 253
- krachtgesloten schakelbare koppeling 439
- krachtinvoerfactor 239
- krachtschaal 6
- krachtsverhouding
- , aan de wormwieloverbrenging 783
- , in schroefverbindingen 238
- , op een cilindrisch tandwielpaar 737
- krimpschijf 395
- krimpverbinding 383
- , vormgeving 383
- kritisch toerental 363
- kroonwiel 757
- kroonwioldiameter 757
- krui-pinvoed 206
- krui-sterkte 97
- krui-skoppeling 431, 433
- krui-sloufkoppeling 429
- krukas 344
- kruktap 351
- kulwijdte 705, 712
- kunststof buis 634, 654
- kunststofriem 584
- kwalitatieve bepaling van sterkte 209
- kwaliteitsborging 1, 130
- kwaliteitsniveaus 107, 130
- lager
- , bij halfomsluitende 561
- , gasgesmeerde 536
- , volomsluitende 561
- lagerafdichting 556

- lagerbelasting
 –, dynamisch 500
 –, dynamisch equivalente 503, 516
 –, specifieke 541
 –, statisch 500
 lagerbus 548
 lagercombinaties 490
 lagergrootte, voorkeuze 500
 lagerhuiseenheid 511
 lagering
 –, axiaal beweegbaar 489
 –, meervoudige 491
 –, steunlagering 489
 lageringsplaats, constructieve vormgeving 494
 lagerplaatsing 489
 lagerschaal 548
 lagerspeling, relatieve 559
 lagertap 344
 lagertemperatuur 565
 lamellair gietijzer 123
 lamellenbouwwijze 143
 lamellenkoppeling 441, 444, 446
 laminare stroming 649–650
 langelede rollenketting 616
 langskrimp 119
 langslas bij buigliggers met dwarskracht 166
 langspersverband 383
 –, vormgeving 383
 las, afmetingen 169
 lasaanduiding, tekening 131
 lasbaarheid van de constructie- delen 120
 lasconstructie
 –, algemene tolerantie 131
 –, berekening 148
 –, in de machinebouw 143
 laseigenspanningen 119
 lasgericht vormgeven 135
 –, algemene constructieve richtlijnen 136
 –, voorbeeld van vormgeving 137
 –, vormgeving van drukvaten 144
 –, vormgeving van machinedelen 143
 –, vormgeving van puntlasbindingen 146
 –, vormgeven van staalconstructies 141
 lasgeslacht fijnkorrelig constructiestaal 122
 lasgeschiktheid 120
 –, van materialen 120
 laskrimp 118
 laslengte
 –, nuttige 169
 –, rekenkundige 161
 lasmogelijkheid 124
 lasnaad 125
 –, tekening 174
 lasnaadvorm 125
 laspositie (lassen) 134
 lasproces, bewerkingen 116
 lassen
 –, algemene sterktevoorwaarde 178
 –, laspositie 134
 lassymbool 131
 lasthoek 479
 lastkoppel 415
 lastoefmateriaal 124
 lastverhouding 240
 –, in schroefverbinding 240
 lasveiligheid
 –, constructiebepaalde 124
 –, fabricageafhankelijke 124
 lasverbinding 114, 125
 –, afmetingen 160
 –, bemating 132
 –, drukvaten 172
 –, in de machinebouw 169
 –, in staalconstructies 148
 –, voor stalen buizen 641
 leidingsysteem 647
 lekstroom 678
 lekverlies 660
 lengte van overlap 109
 lengteschaal 5
 lengteverandering, elastische 236
 leren riem 584
 levensduur
 –, bereikbare 506
 –, gemodificeerd 506
 –, nominaal 502, 516
 levensduurexponent 500
 levensduurfactor 500, 745, 748
 levensduurvergelijking 502
 lichtmetalen constructies 207
 –, klinknagelverbinding 204
 liggerbouwwijze 143
 lijmp proces 94
 lijmsort 93
 lijmv erbinding 91, 95, 99
 –, afschilsterkte 96
 –, bindsterkte 97
 –, corrosiebestendigheid 97
 –, uitvoering van 94
 –, verouderingsbestendigheid 98
 –, vormgeving van 98
 –, warmtebestendigheid 98
 –, 91
 lijmvlakken, voorbehandeling van 94
 lineair lager 516
 lineaire rolgeleiding 514
 lineaire systemen 517
 lipafdichting 675
 lood- en tinlegering 539
 loodrechte trek 146
 looprol 512
 looprolleiding 515
 loopvlak van het lager 540
 loopwerkafdichting 674
 losse passing 27
 loswerken, zelfstandig 252
 luchtbandkoppeling 447

maatafwijking 22
 –, bovenste 22
 –, onderste 22
 maatregel voor de verhoging van de vermoeiingsgrens 209
 maattolerantie 21
 maatvoering van wentella- gers 487
 machineonderdeel 1
 magneetvloeistofafdichting 677
 magnetische lagers 528, 536
 martensitisch staal 122
 massastroom 648
 massieve lager 538
 materiaal
 –, gesloten 226
 –, voor lagerbussen 548
 –, voor schroeven 226
 –, voor soldeer 104
 materiaalcombinatiefactor 748
 materiaalgesloten as-naaf-verbinding 406
 materiaalgesloten borgele- ment 226, 253
 materiaalkental 42
 materiaalsterkte 50
 materiaalwaarde 46
 –, lasgeschiktheid 120
 –, voor klinknagels 205
 –, voor tandwielen 692, 785
 –, voor wentellagers 479, 486
 maximaal piekmoment 42
 maximaal toerental 508
 maximale amplitudesterkte 242
 maximale piekkracht 42
 mechanisch bestuurd koppeling 440
 mechanische remmen 461
 mee-ingeklemd verend borgele- ment 225, 253
 meerdere strengen, V-rie- men 605
 meerlaags-lager 539
 meervlakslijlager 553

- meervoudige lagering 491
meervoudige overbrenging 588
membraanafdichting 669
metaal-elastische koppeling 435
metalen vouwbalg 668
methodisch ontwerpen 9
metrische ISO-schroefdraad 220
–, zaagtandschroefdraad 221
middelspanningsgevoeligheid 60
minimale afstand, som 325
minimale schroefkracht voor afdichting 665
minimale tanddikte 711
minimumveiligheid 63, 65
modulus 705, 733
–, buitenste 754
–, gemiddelde 754
moeren, aanduiding genormaliseerde 224
moerschroefdraad in kunststofdeel, controle 265
mofverbinding 644
momentbelaste bevestiging 258
momentbestuurde koppeling 448
montage-voorspankracht 246
montagetrekspanning 248
montageweg (riemen) 603
motorwip 588
- naadloze stalen buis** 632
naafafmeting 378, 380, 383
naaldlager 483
nadeel
–, klinkverbindingen 189
–, lijmverbindingen 91
nadelen, soldeerverbindingen 103
natuurlijke koeling 565
negatieve speling 27
nevelsmering 498
NG-diagram 6
niet-dragende flank 681
niet-losneembare afdichtingen 662
niet-ontkolend gegloeid gietijzer 123
niet-schakelbare koppeling 427
niet-voorgespannen schroef 251
niet-voorgespannen schroefverbinding 235, 251
nominale diameter 640
nominale levensduur 502, 516
nominale maat 22
–, voor de tandwijdte 730
nominale omtrekskracht 763
non-ferrometaal 123
noodloopgedrag 537
- normaalbasissteek 722
normaaldoorsnede 780
normaalingrijpsteek 722
normaalmodulus 721
normaalprofiel V-riem-schijf 592
normaalprofielriem 585
normaalschroefdraad 220
normaalspanningshypothese 39, 170
normaalsteek 721, 780
normaaltanddikte 725
normalisatie 5
normalisering 1
normgetallen 3
notatiesysteem 104
nul-asafstand 707, 722
nullijn 22
nulvertanding 706
nulwiel 706, 710
nulwieloverbrenging 711
- O-ring** 668
Oldham-koppeling 429
oliebadsmering 497, 546
oliedoorloopsmering 498
oliekeerring 670
olienevel, smering 86
olienevelsmering 498
olieomloopsmering 498
oliepersverband 383
–, vormgeving 383
oliesmering 85, 497, 544
olieverstuiving 498
omgevormde draagas 350
omspanningshoek 603
omtrekbasissteek 706, 722
omtrekflankspeling 728
omtrekingrijpsteek 722
omtrekmodulus 721
omtreksbelasting 493
omtreksdrukhoek 721
omtreksfactor 742
omtreksflankspeling 728
omtrekskracht 594, 604, 739, 776
–, over te brengen 595
omtrekstanddikte 725
omtreksteek 721
onafhankelijk bestuurde koppelingen 438
onbelast kettingdeel, schuine ligging 627
onderdeelsterkte 57
–, dynamische 51
–, statische 50
–, tegen grensspanningsbreuk 50
–, tegen vloeien 50
onderdeelvermoeiingssterkte 58
- ondersnijding 708
onderste maatafwijking 22
onderste spanning 39
ondersteunfactor 54
ondersteuning 52
ongelegeerd constructiestaal 121
ongelijkzijdige hoeklas 129
onregelmatigheid 107
ontkolend gegloeid smeedbaar gietijzer 123
ontlastkerven 55
ontlastklep 636
ontwerp
–, van draagassen, assen 347
–, van penverbinding 277, 280
–, van soldeerverbinding 107
ontwerpdiameter, bepaling 356
ontwerpen 9
–, met het oog op de functionaliteit 15
–, met het oog op de montage 16
–, met het oog op de productie 15
–, met het oog op de vorm 17
–, met het oog op het materiaal 15
–, met het oog op het onderhoud 17
–, met het oog op recycling 17
–, van rollenkettingoverbrenging 619
–, van schroefverbindingen 233
–, van wentellageringen 489
ontwerpproces 18
ontwerpspanning 51
ooglager 478, 549
oogmoer 223
oogstaaf 280
op moment belaste klinknagelverbinding 203
op torsie belaste veren 322
op trek belaste overbrenging 583
opbouw van wentellagers 479
open riemaandrijving 588
oplosmiddellijm 93
oplossingsvariant 14
oppervlakte-ruwheidshoogte 31
oppervlakteaanduidingen 32
oppervlaktegesteldheid 55
oppervlaktteschaal 5
oppervlakteversterking 56
oppervlakteversterkingsfactor 56
optimaal klinknagelgebruik 200
optimale riemsnelheid 599
optredende spanning 62

- opwarming van het smeermiddel 571
 orthozykloïde 686
 over te brengen koppel 425
 overbelastingsgeval 58
 overbelastingsslip 596
 overbrenging 707
 –, met kegelvormige trommels 590
 –, met trapschijven 590
 –, met vlakke conische schijven 590
 overbrenging-passingsysteem 728
 overbrengingsonderdeel 1
 overbrengingsrendement 696
 overbrengingsverhouding 597, 601, 619, 779
 overbrengverhouding 732
 overdraagbare kracht 213
 overgangspassing 27
 overgangstoerental 543
 overige lasverbindingen 129
 overlappingsklinkverbinding 196
 overlappingslas 100
 overlappingsverhouding 723, 760
 overlapverbinding 109
 overlevingskans 48
 overmaat 388
- pakkingflens** 664
 pakkingmateriaal, viskeus opgebracht 666
 pakkingring 664
 Palloidvertanding 758
 paraboolveer 309
 partiële factor 148
 passing 26
 passingsstelsel 28
 passingstolerantie 27
 penketting 613
 penkoppeling, elastische 436
 pennen 276
 –, met en zonder splitpen-gat 276
 –, met kop en schroefdraad 276
 –, zonder kop 276
 pennenvielvertanding 688
 penverbinding 277, 382
 –, berekening 279, 286
 –, ontwerp 277, 280
 –, vormgeving 277, 280
 periodieke wisselingen van het koppel 419
 permanente belasting 148
 persmaat 386, 388
- persverband
 –, berekening 384
 –, cilindrisch 383
 –, vervaardiging 390
 persverbinding, invloed van het toerental bij 391
 piekkracht, maximale 42
 piekmoment, maximaal 42
 pijpleiding 632
 –, appendage 635
 –, berekeningsgrondslagen 648
 –, berekeningsgrondslagen, hefklep 636
 –, berekeningsgrondslagen, scharnierkleppen 638
 –, buis 632
 –, buishouder 646
 –, draadverbinding 643
 –, flensverbinding 641
 –, lasverbinding 641
 –, mofverbinding 644
 –, rekcompensator 645
 –, slang 634
 –, tekenwijze 648
 pijpleidingsklasse 639
 pijpschroefdraad 220
 pijpverbinding 641
 pitting 737
 plaatstolerantie 25
 plannen 9
 plastische steunfactor 50
 plastische vormverandering 43
 Plastisol 93
 plat, vlakke 176
 platenbouwwijze 143
 platenketting 613
 platenschijf 637
 platverzonken schroeven 222
 plooi 150
 pneumatiekafdichting 676
 pneumatische koppeling 446
 Poisson-getal 746
 Poly-V-riem 586, 592
 polyadditielijm 94
 polycondensatielijm 94
 polygoonverbinding 381
 polymerisatielijm 94
 ponsklinken
 –, met halfholle klinknagel 210
 –, met massieve klinknagel 211
 ponsklinkverbinding 210
 pool 706
 praktische sterkteberekening 62
 profielbouwconstructie 205
 profielenbouwwijze 144
 profielhoek 690
 profielrailgeleiding 515
 profielreferentielijn 690
 profielsnede 29
- profielverschuiving
 –, 0,5-vertanding 717
 –, kegeltandwieloverbrengingen 757
 –, schuine cilindrische tandwiel 725
 profielverschuivingsfactor 710, 725
 programma van eisen 9
 protuberans afwikkelrezen 691
 PTFE-ring 676
 puntbelasting: 493
 puntlasverbinding, vormgeving 148
 puntlasverbindingen 146, 166
 –, berekening 166
 puntvormingsgrens 711
 putvorming 736
- Quadring** 668
- radiaalager 478
 radiale glijlager, berekening 559
 radiale kracht 739, 763, 776
 radiale penverbinding 287
 radiale speling 728
 radiale veerstijfheid 424
 ratingparameter 80
 reactielijm 93, 95
 recht vertand kegeltandwiel 752
 rechte afsluiter 636
 rechthoekige bladveer 308
 recycling 17
 reductiefactor 148
 reeks
 –, afgeleide 4
 –, groepsgewijze geometrische 4
 –, samengestelde 4
 referentiecirceldiameter 781
 –, voorlopige 785
 referentiecirceldiameter van de worm 781
 referentiekroonwiel 753
 referentieslankheid 155
 referentietoerental, thermisch 508
 reflectietijd 654
 regelbare vloeistofkoppeling 456
 regelgeving 647
 regelrem 462
 rekcompensator 645
 rekenkundig nuttige laslengte 169
 rekenkundige lasdikte 161
 rekenkundige laslengte, rekenkundige laslengte 161

- rekenmodellen (lasconstructies) 150
 rekgrens 43
 rekgrensgestuurd aandraaien van de schroefverbinding 247
 rekspil 596
 rekspanning 588
 relatieve doorzakking 624
 relatieve excentriciteit 560
 relatieve kopbaan 708
 relatieve lagerspeling 559
 relatieve ruwheidsfactor 745
 relatieve slankheid 155
 relatieve steunfactor 745
 rem
 –, berekening 461
 –, functie 460
 –, mechanische 461
 –, remkoppel 461
 –, remtijd 461
 –, warmtebelasting 461
 remmotor 462
 remtijd 461
 rendement
 –, bewegingsschroef 266
 –, overbrenging 696
 resonantie 363
 resonantie-hoekfrequentie 420
 resonantiefrequentie 420
 resulterende spanning 39
 Reynolds-getal 649
 richtingbestuurde koppeling 451
 riem
 –, hoofdafmeting 591
 –, voorspanning 605
 –, wrijvingskracht 594
 riemaandrijving
 –, aantal riemen 604
 –, asbelasting 596, 602, 605
 –, benuttingswaarde 595
 –, berekeningsvoorbeelden 608
 –, buigfrequentie 607
 –, constructies 587, 594
 –, construeren 587
 –, elastisch gedrag 597
 –, factor 596
 –, gekruiste 588
 –, geometrische betrekking 601
 –, geschrante 588
 –, half gekruiste 588
 –, keuze van de soort riem 587
 –, kinematische betrekking 601
 –, materiaal 592
 –, nuttige kracht 594
 –, ontwerpen van riemaandrijvingen 587
 –, open 588
 –, optimale snelheid 599
 –, over te brengen vermogen 599
 –, overbelastingsslip 596
 –, overbrengingsverhouding 601
 –, Poly-V-riem 586
 –, rekspil 596
 –, riembreedte 604
 –, riemgeleiding 588
 –, riemkeuze 600
 –, riemlengte 602
 –, riemmateriaal 583
 –, riemopbouw 583
 –, riemsnelheid 607
 –, schakeloverbrenging 590
 –, schijfdiameter 601
 –, spanning 597
 –, spanweg 603
 –, synchroonriem 586
 –, toepassing 587
 –, uitvoering 592
 –, V-riem 585
 –, versteloverbrenging 590
 –, verstelweg 603
 –, vlakke riem 584
 –, voorspanmogelijkheden 588
 –, voorspanning 605
 riembreedte 604
 riemgeleiding 588
 riemkrachtverhouding 595
 riemlengte 602
 riemmateriaal 583
 riemopbouw 583
 riemoverbrenging 583
 –, met niet-parallelle assen 588
 –, praktische berekening 599
 –, vormgeving 590
 –, werkingsprincipe 583
 riemschijf 592
 riemsnelheid 595, 607
 –, optimale 599
 riemtrekkracht 607
 ring 225
 ringafdichting 677
 ringsmering 546
 ringtaatslager 569
 ringveer 307
 rolbalg 668
 roldrukhoek 706
 rolgeleiding, lineair 514
 rollenketting 615
 –, langgelede 616
 –, verbindingsonderdeel 617
 rollenkettingoverbrenging
 –, construeren 619
 –, ontwerpen 619
 –, schakelaantal 622
 rolloverbrengingen 681
 rolsnelheid 694
 rolvlak 681
 ronde schroefdraad 221
 ronde spieën 404
 ronde spieverbinding 288
 rondlopende as 343
 rondmoeren met gleuven 223
 rondmoeren met radiaalgaatjes 223
 rotatieverhouding 492
 rotatievlak 681
 rubberelastische koppeling 436
 rubberveer
 –, berekening 334
 –, berekeningsvoorbeelden 335
 rugkegel 753
 rustbestuurde koppeling 443
 rusttoestand 596
 ruwe klinknageldiameter 197
 ruwheid van de pijpwand 650
 ruwheidsfactor 748
 –, relatieve 745
 ruwheidshoogte, gemiddelde 29
 ruwheidsvermindering 387
 samengestelde belasting 39, 170
 samengestelde reeks 4
 samengestelde vakwerkstationen 157
 schakelaantal 622–623
 schakelarbeid 426
 schakelbaar koppel 425
 schakelbare klauwkoppeling 439
 schakelbare koppeling 438
 –, krachtgesloten 439
 –, vormgesloten 438
 –, wrijvingsgesloten 439
 schakelfunctie 413, 461
 schakelketting 613
 schakelkoppeling
 –, schakelarbeid 426
 –, slijptijd 426
 –, warmtebelasting 426
 schakeloverbrenging 590
 scharnieren 280
 scharnierende lagers 478
 scharnierketting 613
 scharnierklep 638
 scharnierkoppeling 431–432
 scharnierpennen 276
 schijfdiameter 601
 schijfnaaf, gedeelde 402
 schijfremmen 462
 –, met gedeeltelijke remvoering 463
 –, met volledige remvoering 462
 schijftaatslager 569
 schijvenkoppeling, hoogelastische 437
 Schmidt-koppeling 430

- schotelveer 315
 –, sterktecontrole 319
 –, veerarbeid 319
 –, veerconstante 319
 –, veerkracht in vlakgedrukte toestand 319
 –, veerwerking 315
 –, wrijvingsinvloed 321
 schotelveerringen 225
 schroef
 –, belasting bij het aandraaien 248
 –, niet-voorgespannen 251
 –, vervormbaarheid 236
 –, voorgespannen 251
 schroefborging 225
 schroefdraad
 –, geometrische betrekking 221
 –, vlaktedruk 265
 schroefdraadaanduidingen 221
 schroefdraadbuis 633
 schroefdraadsoorten 219
 schroefdraaduitloop, uitvoering van 227
 schroefglijden 773
 schroefgrootte bij afdichtingsflens 666
 schroefkegeloverbrengingen 683
 schroefpunt 773
 schroefroloverbrengingen 682
 schroefsoort 222
 schroefveer
 –, blok lengte 328
 –, bloktoestand 328
 –, cilindrische 324
 –, drukveer 324
 –, inwendige voorspankracht 330
 –, schuifspanning 328
 –, toepassing 324
 –, trekveer 326
 –, uitvoering 324
 –, veerwerking 324
 –, voorspankracht 330
 schroefverbinding 219
 –, aandraaien 243
 –, duurzaamheid 242
 –, in staalconstructies 254
 –, inleiding 233
 –, niet-voorgespannen 235
 –, vastzetten 243
 –, vormgeving 230, 255
 –, werkingsprincipe 219
 –, zetgedrag 241
 schroefveren met een rechthoekige draaddoorsnede 331
 schroefveren koppeling 435
 schroefwieloverbrenging 683, 773
 –, overbrengingsrendement 696
 schroeven, aanduiding genormaliseerde 224
 schuifafsluiter 637
 –, berekening grondslagen, schuifafsluiter 637
 schuifspanning 167
 –, gemiddelde 160
 –, grote 279
 schuifspanning in het lijf van de ligger 160
 schuifspanningshypothese 39
 schuifspie 376
 schuin vertande cilindrische tandwielen 721
 schuine vertanding
 –, basistandhoek 721
 –, berekeningsvoorbeeld 726
 –, gesloten pijlvertanding 720
 –, ingrijpquotiënt 723
 –, normaalingrijpsteek 722
 –, omtrekrijpsteek 722
 –, overbrengingsafmetingen 725
 –, overlappingsverhouding 723
 –, totale doorgangsverhouding 723
 –, vertandingsmaat 721
 spanningsverhouding 39
 segmenttaatslager 571
 selectie van passingen 28
 Servorem 462
 Simplexrem 462
 SL-verbinding 256
 slagsterkte 313
 slang 634
 slankheid 154
 slankheidsgraad van de spil 264
 slijtage 86
 slijtageweerstand 537
 slingersmering 498
 slijptijd 426
 SLP-verbinding 256
 sluitingstijd 655
 sluitringbout 193
 smalprofiel V-riemschijf 592
 smalprofielriem 585
 smeergroef 535, 546
 smeermiddel 76, 85, 532, 544
 –, terugkoeling 565
 smeermiddelvolumestroom 564, 566, 570, 575
 –, totale 566
 smeerolie 76, 532
 smeerspleethoogte, kleinste 561
 smeerstof 695
 smeervet 84, 695
 smeerwag 533
 smeltlijm 93
 smering
 –, hydrodynamische 73, 530, 533, 559, 571
 –, hydrostatische 73, 530, 570
 –, met een vaste stof 498
 –, tandwieloverbrengingen 694
 –, van de ketting 626
 –, van glijlagers 544
 –, van wentellagers 495
 smeringssoort 85
 snedebelasting 196
 snelheidsstoot 419
 snij(ring)afdichting 662
 soldeerbaarheid 105
 soldeergeschiktheid 106
 soldeermethode 102
 soldeermogelijkheid 106
 soldeersoort 104
 soldeerspleetgedrag 107
 soldeerstromingsgedrag 107
 soldeertechnologie 106
 soldeerveiligheid 106
 soldeerverbinding 102
 –, berekening 109
 –, beproeven van 106
 –, berekeningsvoorbeelden 112
 –, capillaire werking 103
 –, diffusie 103
 –, hardsoldeer 104
 –, hogetemperatuursoldeer 104
 –, maken van 106
 –, ontwerpen 107
 –, soldeer 104
 –, soldeerbaarheid 105
 –, soldeersoort 104
 –, toelaatbare belasting 110
 –, vloeimiddel 104
 –, vormgeving- 107
 –, werking van de krachten 103
 –, zachtsolderen 105
 soldeerverbinding 102
 som van de minimale afstanden 325
 soort riem, keuze 587
 soorten lagers 478
 soorten overbrengingen 681
 spanbus 276, 282, 285
 –, hydraulische 400
 spanhuls 285
 spankracht 248
 spanning 597
 –, optredende 62
 –, resulterende 39
 spanningsamplitude 39
 spanningsarmgloeien 121
 spanningsconcentratiefactor 652
 spanningsdiagram 238
 spanningsdoorsnede 249

- , vereiste 234
- spanningsgradiënt 53
- , betreffende 54
- spanningslijn 172
- spanningsroostermodel 116
- spanrail 588
- spanrol 588
- spanslede 588
- spanweg 603
- specifieke lagerbelasting 541
- spieasprofiel 379
 - , binnencentrering 379
 - , flankcentrering 379
- spieasverbinding
 - , berekening 380
 - , vormgeving 379
- spieschuif 637
- spieverbinding, vormgeving 405
- spievorm 404
- spil, slankheidsgraad 264
- spiraalveer 314
- spitsgrens 716
- spleetafdichting, eenvoudige 677
- spleetcorrosie 207
- spleetextrusie 675
- spleetsolderen 102
- splitpen 291
- spoed, aan de referentiecir-
kel 780
- spoedhoek 221, 720, 785
- sproeismering 695
- spuitsmering 695
- staafaansluiting 202
- staafelektrode, beklede 124
- staafkop 280
- staal
 - , austenitisch 122
 - , martensitisch 122
- staalbouw
 - , controle op prestatiecapaciteit 257
 - , partiële factor 148
 - , stabiliteitstoetsing 153
 - , veiligheidscoëfficiënt 256
- staalconstructie, 280
 - , belastingen 148
 - , klinknagels 197
 - , lassen 141, 148
 - , penverbinding 280
 - , schroefverbinding 254
 - , sterktecontrole van 65
- staand lager 478
- staand lagerhuis 511
- staande glijlager 549
- stabiliteitstoetsing 153
- stalen buis 651
 - , gelast 632
 - , lasverbinding 641
 - , naadloos 632
- stalenprecisiebuisc 633
- standaardtolerantie 22
- (standaard)tolerantieniveaus 22
- stangafdichting 675
- stap 4
- starre koppeling 427
- startkoppeling 450
- statisch draaggetal 500
- statisch draagvermogen 500–
501
- statisch equivalente lagerbelas-
ting 501
- statische afdichting 660
- statische belasting 651
- statische constructiefactor 50
- statische draagveiligheid 501,
517
- statische dwarskracht 240
- statische lagerbelasting 500
- statische onderdeelsterkte 50
- statische sterkte 42
- statische sterktecontrole 50,
358
- steek 706
- steekcilinder 705
- steekcirkeldiameter 619, 705,
722, 777
 - , buitenste 754, 759
 - , gemiddelde 754, 759
- steekcirkelsteek 705
- steekhoek 619
- steekkegelhoek 753
- steekkegellengte
 - , binnenste 755
 - , buitenste 755
 - , gemiddelde 755
- steekmofverbinding 644
- stelschroef 222
- sterkte
 - , dynamische 46
 - , statische 42
- sterkte-kengetal 174
- sterkteberekening 37
 - , praktische 62
 - , van lasverbindingen 163
 - , van soldeerverbindingen 109
- sterktecontrole 160
 - , draagassen/aandrijf-
fasen 358
 - , staalconstructies 65
 - , statische 50
- sterkteklasse 227
- sterktevoorwaarde, algemene
(drukvatensbouw) 178
- sterschijf 399
- steunfactor
 - , plastische 50
 - , relatieve 745
- steunfunctie 54
- steunlagering 489
- steunlichamen 548
- steunring 675
- steuntap 351
- steuntrekkracht 627
 - , op het bovenste ketting-
wiel 627
 - , op het onderste ketting-
wiel 628
 - , van het bij benadering hori-
zontaal gelegen onbelaste
deel 627
- stilstaande as 343
- stompe aansluiting 100
- stompe las 127, 160
- stoot
 - , aan beide zijden 422
 - , aan de aandrijfzijde 422
 - , aan de lastzijde 422
- stootdempende werking 412
- stootfactor 419
- stootverminderende wer-
king 412
- stopbusmofverbinding 644
- stoprem 462
- stripklinkverbinding 196
- stroming, laminaire 649
- stromingsafdichting 678
- stromingssnelheid 648
- stromingsvorm 649
- stuikdruk 167, 199, 256
- synchrone koppeling 453
- synchronriem 586
- taatslager 569
- tand 704
- tandbreedte 756, 759, 781
- tandbreuk 736
- tanddikte 705, 712
- tanddikteafwijking 727
- tandentalverhouding 707, 732
- tandhoek 720, 733, 777
- tandhoekfactor 744, 747
- tandketting met binnengelei-
ding 621
- tandketting met buitengelei-
ding 621
- tandkoppeling 431, 445
- tandnormaalkracht 738
- tandondersnijding 708
- tandriem (High Torque
Drive) 587
 - , berekening 599
- tandriemen 599
- tandriemschijf 592
- tandveerringen 225
- tandvoetspanning 743, 765
- tandvoetsterkte 736
- tandwiel 680
 - , axiale doorsnede 782
 - , drukhoek 782

- , met inwendige vertanding 704
- tandwielkast 700
- tandwielmateriaal 692
- tandwieloverbrenging 680
- , functie 680
- tandwijdte 729
- tangentieële spie 404
- tankwand, opening 176
- tap 343
- tapeinde 222
- tapse inlegspie 404
- tapse-spieverbinding 404
- technische dichtheid 660
- technische regelgeving 2
- technologische groottefactor 44, 50
- technologische groottefactor 56
- tekenwijze van leidingsystemen 648
- terugkoeling van het smeermiddel 565
- terugloopblokkade 451
- terugslagklep 637–638
- Tetmajer, knikspanning 264
- thermisch referentietoerental 508
- Thomas-koppeling 430
- tijdssterkte 48
- tinlegering 539
- toelaatbare bedrijfsdruk 653
- toelaatbare belasting van soldeerverbindingen 110
- toelaatbare parameter 640
- toelaatbare schuifspanning 200
- toelaatbare spanningen 172
- toepassingsfactor K_A 42
- toerental 363
- , buigkritisch 364
- , kinematisch toelaatbaar 508
- , kritisch 363
- , torsiiekritisch 366
- , veranderend 505
- toerentalbestuurde koppeling 450
- toerentalfactor 503
- toetsing op draagveiligheid 156
- toevoer van smeermiddel 546
- tolerantie 21, 727
- tolerantie-eenheid 22
- tolerantieklasse 22, 24
- tolerantieringen 401
- tolerantiestelsel 24
- tolerantieveld 22
- tonlager 485
- tontaatslager 486
- topcirkeldiameter 620, 707, 722, 756, 781
- , buitenste 759
- , gemiddelde 759
- topkegelhoek 756
- topspeling 714
- torsie 50, 146
- torsiehoek 323, 360
- torsiiekritisch toerental 366
- torsiespanning 170
- torsiestaafveer 322
- torsiestabiliteit, torsieknikstabiliteit 153
- torsiestijfheid 420
- torsiestijve koppeling 428
- torsietrillingen 363
- torsieveer 311
- , berekening 323
- totale aantal windingen 325
- totale belastingsinvloed 743
- totale doorgangsverhouding 723
- totale drukverlies 649
- totale invloedsfactor 57
- totale rendement 696
- totale schroefkracht 238, 665
- totale smeermiddelvolume-stroom 566
- totale spanning in het trek-kende deel 598
- totale veiligheid 61
- totale vereiste smeermiddelvolume-stroom 575
- traagheidsmoment 415, 417
- trapeziums Schroefdraad 220
- trek 50
- trekkend part 594
- trekkende deel, totale spanning in het 598
- trekkracht in staaf 280
- trekproef 42
- trekspanning 598
- trekstaaf 151
- , centrisch aangesloten 151
- , excentrisch aangesloten 151
- trekstrekte 111
- trekvaste verbinding 256
- trekveer 326, 330
- trillingsmodel 39
- tuumelklinken 195
- tussenklinknageltap (methode) 188
- tussenringkoppeling, hoogelastische 438
- tweecomponentenlijm 93
- tweerijg hoekcontactkogel-lager 481
- tweerijg tonlager 478, 485
- tweevlaks-koppeling 440
- type appendages 635
- uitschakelbare overbrenging** 590
- uitslagkracht** 239
- uitslagspanning 234
- uitvalwaarschijnlijkheid 507
- uitvoeren van lijmverbindingen 94
- uitvoering 324
- , met open zijden 585
- , van het kettingwiel 621
- , van schroefdraaduitloop 227
- uitwendige centrering 379
- uitwerken 9
- uitwerkingsfase 12
- UKF-lager 486
- V_{\min} -wiel 711
- V_{plus} -wiel 710
- V-nulwieloverbrenging 711
- V-overbrenging 712, 715
- , 0,5-vertanding 717
- V-riem 585
- in getande uitvoering 585
- V-tandwielpaar 725
- V-wiel 710
- vast-los-lagering 489
- vaste koppeling met kroonwiel-vertanding 428
- vaste passing 27
- vaste smeermiddelen 544
- veerarbeid 309, 319
- veerconstante 319, 324
- veergeometrie 318
- veerkracht 309, 318
- , in vlakgedrukte toestand 319
- veerpakket 318
- veerrendement 305
- veerringen 225
- veerwerking 315
- veerzuil 318
- VEH 39
- veiligheden 60
- veiligheid
- , aanwezige 61
- , vereiste 61
- veiligheidscoëfficiënt 256
- veiligheidsfactor 65
- veiligheidsklep 637
- veiligheidskoppeling 448, 455
- veiligheidsmaatregelen 253
- verandering van de kop-hoogte 714
- verbinding 202
- , glijvast 257
- , trekvast 256
- verbindingsonderdeel 1
- , voor rollenketting 617
- verbindingsstuk, getrapt 618
- verbindingsvormen 125
- verdraaiingshoek 313
- vereist aantal klinknagels 201
- vereiste overlap 109

- vereiste spanningsdoorsnede 234
- vereiste veiligheid 61
- vereiste wanddikte 174
- veren 301
- , bladveer 308
 - , cilindrische schroefveer 324
 - , conische drukveer 332
 - , op buiging belaste 308
 - , torsiebelaste 322
 - , ringveer 307
 - , schroefveer 324
 - , schotelveer 315
 - , spiraalveer 314
 - , torsietaafveer 322
 - , torsieveren 311
- verende afdekschijven 672
- vergelijkingsspanning 163, 170
- vergelijkmiddelspanning 60
- vergelijkspanning 39, 41
- vergrendelende borgelement 226
- verhouding van het aantal tanden 780
- verlijming van ronde delen 100
- verloop van de belasting 41
- vermindering van het draaggetal 506
- vermoeingsbreuk 47
- vermoeingsgrens 97
- vermoeingsgrensbelasting 507
- vermoeingslooptijd 507
- vermoeingssterkte 47
- vermoeingssterktediagram (VSD) 49
- , VSD volgens Goodman 49
 - , VSD volgens Haigh 49
 - , VSD volgens Moore-Kommers-Jasper 49
 - , VSD volgens Smith 49
- vermoeingstijd 502
- vermogen, over te brengen 599
- vermogensfunctie 412, 460
- vermogensrem 465
- vermogensverlies 696
- verontreinigingsfactor 507
- verouderingsbestendigheid 98
- versnellingskoppel 415
- versteloverbrenging 590
- verstelweg 603
- vertande-asverbinding 379
- vertandingssoort 686
- vertandingsgegevens 619
- vertandingskwaliteit 727
- vertandingsmaat 721
- vertandingsregel 684
- vertandingsrendement 696
- vervaardiging
- , van bouten, moeren 226
 - , van de klinknagelverbinding 194
 - , van persverbindingen 390
- vervangende doorsnede 237
- vervormbaarheid
- , van de geklemde delen 236
 - , van de schroef, elastische 236
- vervorming
- , bij buigbelasting 361
 - , bij torsiebelasting 360
- verwerkingstijd 95
- verzonken schroef 255
- vetmsmering 496, 544
- virtuele wiel 724
- viscositeit 77, 531
- , dynamische 76, 531
 - , kinematische 77, 497, 531
- viscositeit-temperatuur-verhouding 532
- viscositeits-temperatuurafhankelijkheid 77
- viscositeitsfactor 748
- viscositeitsindex 77, 532
- viscositeitsklasse 532
- viskeus opgebracht pakkingmateriaal 666
- vlakafdichting 663
- vlakgedrukte toestand 315
- , veerkracht 319
- vlakke bodem 176
- vlakke kopspeen 404
- vlakke plaat 176
- vlakke riem 584
- vlakke spie 404
- vlakke vertanding 757
- vlakriemschijf 592
- vlaktedruk 250, 324
- , op de oplegvlakken 250
 - , op het draagvlak 234
 - , van de schroefdraad 265
- vleugelmoer 223
- vloeigrens 43
- vloeimiddel 104
- , voor hardsolderen 105
 - , voor zachtsolderen 105
- vloeistofrem 465
- vloeistofwrijving 529
- voegsolderen 102
- voetcirceldiameter 619, 707, 722, 781
- voethoogte 781
- voetkegelhoek 756
- volledig uit metaal vervaardigde moer, zelfborgende 226
- volomsluitende lager 561
- volumeschaal 5
- volumestroom 648
- voorbeeld van wentellagerconstructie 508
- voorbeelden van regelgeving voor het ontwerp van leidingssystemen 647
- voorbehandeling van de lijmvlakken 94
- voorbewerking van laskanten 130
- voordeel
- , klinkverbindingen 189
 - , lijmverbindingen 91
 - , soldeerverbindingen 102
- voorgespannen schroef 251
- voorgespannen schroefverbinding 235
- voorspankracht, inwendige 330
- voorspankrachtsverlies 242
- voorspanmogelijkheid 588
- voortplantingssnelheid, drukgolf 654
- voervormingskracht 665
- vorm-kerffactor voor proefwielen 745
- voormanpassingsvermogen 537
- vormafdichting 675
- vormafwijking 29
- vormfactor 53, 744
- , plastische vormfactor 51
- vormgesloten as-naaf-verbindingen 375
- vormgesloten borgelement 225, 253
- vormgesloten schakelbare koppeling 438
- vormgesloten verbinding 375
- vormgeven, lasgericht 135
- vormgeving (klinkverbindingen) 207
- vormgeving
- , en ontwerp (lijmverbindingen) 95
 - , en ontwerp (pijpleidingen) 639
 - , en uitvoering (lasverbindingen) 145
 - , van behuizing om de overbrenging 700
 - , van dwarspersverband 383
 - , van flens, bij vlakafdichting 666
 - , van klemverbinding 402
 - , van klinknagelverbinding 203

- , van krimpverbinding 383
- , van langspersverband 383
- , van lijmverbinding 95, 98
- , van oliepersverband 383
- , van penverbinding 277, 280
- , van puntlasverbinding 148
- , van schroefverbinding 230, 255
- , van soldeerverbinding 107
- , van spieasverbinding 379
- , van spieverbindingen 405
- , van tandwielen 697
- vormgevingsrichtlijnen voor assen 344
- vormgevingsvoorbeelden voor de axiale borging van lagers 292
- vormtolerantie 24
- vormverandering
 - , elastische 43
 - , plastische 43
- vormveranderingshypothese 171
- vouwbalg 669
- vreetsterkte 737
- vreten 736
- vrijloop
 - , diameter 620
 - , met klemlichamen 452
- vrijlooppkoppeling 451
- vrijlooppkoppeling met cilinderrollen 451
- vrijlooppal 451
- VSD 49
- vuldruk, capillaire 103
- Wöhlerkromme** 47
- waardering in punten 13
- wanddikteberekening op inwendige druk 650
- warmestroom 564
- warmklinken 195
- warmtebalans 564
- warmtebelasting 461
 - , koppeling 426
 - , rem 461
- warmtebestendigheid 98
- warmteoverdrachtscoëfficiënt, effectieve 564
- warmtestroom
 - , door convectie worden afgevoerd 564
 - , door het smeermiddel afgevoerd 564
- waterrem 465
- watersmering 544
- weefselriem 584
- weegfactor 13
- wentellager 477
 - , aanduiding 487
 - , afdichting 499
 - , basisuitvoeringen 479
 - , berekening 465
 - , gebruiksduur 507
 - , gemodificeerde levensduurberekening 506
 - , hybride lager 486
 - , keramisch lager 486
 - , lagerbelasting 503
 - , lagercombinaties 490
 - , maatvoering 487
 - , maximaal toerental 508
 - , nominale levensduur 502
 - , opbouw 479
 - , smering 495
 - , standaarduitvoering 480
 - , toepassing 478
- wentellagering
 - , inrichting 492
 - , steunlagering 489
 - , vast-los-lagering 489
 - , voorbeeld van constructie 508
- wentellichaam 479
- werkelijke maat 22
- werking 219
 - , krachten 91
 - , lijmverbindingen 91
 - , soldeerverbindingen 102
- werktemperatuur (hardsoldeer) 104
- werktuigbouw, klinkverbindingen in de 208
- wervelstroomkoppeling 455
- wet van Dunkerley 365
- wig-wrijvingshoek 697
- winding, totaal aantal 325
- wisselbelasting 41
- wisselingen van het koppel, periodieke 419
- wisselkoppel, periodiek 423
- wisselkracht 313
- wisselsterkte 47, 50
 - , van een constructiedeel 58
- worm 777
 - , kracht 783
- wormlengte 781
- wormoverbrenging 777
 - , afmeting 780
 - , berekening van het draagvermogen 786
 - , ingrijpverhouding 782
 - , krachtsverhouding 783
 - , overbrengingsrendement 696
- wormwiel 777
 - , breedte 782
- wormwieloverbrengingen 683
- wrijving 71
- wrijvingscoëfficiënt 571, 594
- wrijvingsgesloten schakelbare koppeling 439
- wrijvingsinvloed 321
- wrijvingskengetal 562, 574
- wrijvingskoppeling
 - , bepalen van schakelbare 424
 - , koppel 425
- wrijvingskracht 594
- wrijvingsringkoppeling 442
- wrijvingsstoestand 73, 529
- wrijvingsvermogen 570
- wrijvingsvermogensverlies 563
- ZA-worm** 778
- zaagtandschroefdraad, metrische 221
- zachtsoldeer 105
- zachtsolderen 102
- zelfborgende volledig uit metaal vervaardigde moer 226
- zelfinstellend kogellager 482
- zelfremming 266
- zelfstandig loswerken 252
- zelfwerkende afdichting 667
- zeskantbout 222, 254, 256
- zeskantenmoer 223
- zeskantpasbout 254, 256
- zetgedrag van schroefverbinding 241
- zetting 242
- ZI-worm 779
- zilversoldeer 104
- ZK-worm 779
- ZN-worm 778
- zonder afdichtelement 662
- zuigerafdichting 675
- zuigerring 676
- zweibelasting 41
- zweelsterkte 47
- zwenkschijf 589

Roloff / Matek

Machineonderdelen

5e herziene druk

Roloff/Matek geldt al vele jaren als een standaardwerk voor de werktuigbouw. De uitvoerige en up-to-date behandeling van machineonderdelen maakt het een compleet studieboek en een onmisbaar naslagwerk voor iedere ontwerper.

De complete methode bestaat uit:

- Theorieboek
- Tabellenboek
- Opgavenboek
- Formuleboek

Dit *Theorieboek* beschrijft de belangrijkste machineonderdelen in 23 afzonderlijke, opzichzelfstaande hoofdstukken, die onafhankelijk van elkaar kunnen worden bestudeerd. Er is veel aandacht besteed aan het consistent gebruik van grootheden. De volledig uitgewerkte berekeningsvoorbeelden in elk hoofdstuk, vormen een uitstekende leidraad bij de praktische toepassing van de theorie en bij het maken van eigen berekeningen.

Deze herziene en geactualiseerde vijfde druk, gebaseerd op de twintigste Duitse druk, is op diverse punten verbeterd. Zo is het hoofdstuk *Veren* didactisch geheel herzien, wordt het hoofdstuk *Tribologie* op een logischer plaats behandeld en zijn de hoofdstukken *Lijmverbindingen* en *Soldeerverbindingen* samengevoegd. Daarnaast is het boek aangepast aan nieuwe normen (NEN EN, NEN ISO, DIN) en is de tekst op een groot aantal plaatsen verbeterd en aangepast voor een beter begrip van de behandelde stof.

Ter ondersteuning van gebruikers is de Duitstalige website www.roloff-matek.de beschikbaar.

ISBN 978 90 395 2694 1

NUR 173 / 929



9 789039 526941

www.academic-service.nl