

# Reader

Werktuigbouwkundige onderdelen

Jack Hoving

Transfer *Database*



**ThiemeMeulenhoff** ontwikkelt leermiddelen voor Primair Onderwijs, Algemeen Voortgezet Onderwijs, Beroepsonderwijs en Volwasseneneducatie en Hoger Beroepsonderwijs.

Meer informatie over ThiemeMeulenhoff en een overzicht van onze leermiddelen: [www.thiememeulenhoff.nl](http://www.thiememeulenhoff.nl) of via onze klantenservice (088) 800 20 16.

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2014.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16 Auteurswet j<sup>o</sup> het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl., dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp ([www.cedar.nl/pro](http://www.cedar.nl/pro)). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie [www.auteursrechtenonderwijs.nl](http://www.auteursrechtenonderwijs.nl).

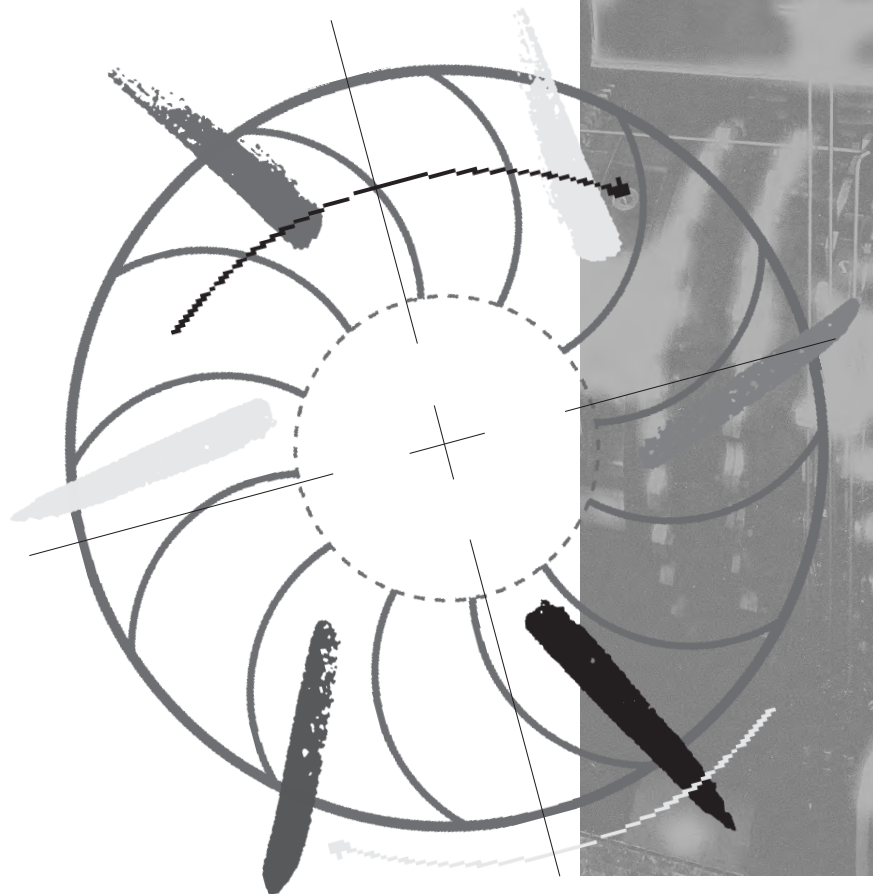
De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

<b>1</b>	<b>As-naafverbindingen</b>	<b>1</b>
1.1	Inleiding	2
1.2	Verbindingsmethoden	2
1.3	Krachtverbindingen	3
1.4	Vormverbindingen	10
1.5	Vaste verbindingen	19
1.6	Kernpunten	25
<b>2</b>	<b>Askoppelingen</b>	<b>27</b>
2.1	Inleiding	27
2.2	Askoppelingen	28
2.3	Vaste koppelingen	28
2.4	Flexibele koppelingen	29
2.5	Elastische koppelingen	31
2.6	Hoogelastische koppelingen	34
2.7	Schakelbare koppelingen	36
2.7	Wrijvingskoppelingen	37
2.8	Veiligheidskoppelingen	43
2.9	Kernpunten	47
<b>3</b>	<b>Assen</b>	<b>49</b>
3.1	Inleiding	50
3.2	Draagassen	50
3.3	Overbrengingsassen	52
3.4	Invloed van vormverandering bij assen	55
3.5	Kernpunten	57
<b>4</b>	<b>Glijlagers</b>	<b>59</b>
4.1	Inleiding	60
4.2	Asondersteuning met glijlagers	60
4.3	Constructies van glijlagers	61
4.4	Smering van glijlagers	65
4.5	Smeersystemen	68
4.6	Keuze glijlagermaterialen	69
4.7	Indeling van glijlagermaterialen	70
4.8	Kernpunten	75
<b>5</b>	<b>Riem- en kettingaandrijvingen</b>	<b>77</b>
5.1	Inleiding	109
5.2	Vermogen en overbrengingsverhouding	110
5.3	Vlakke riemaandrijving	111
5.4	V-riemaandrijving	118
5.5	Tandriemaandrijving	121
5.6	Kettingaandrijvingen	124
5.7	Kernpunten	129
<b>6</b>	<b>Verbindingstechnieken</b>	<b>131</b>
6.1	Inleiding	136
6.2	Niet-losneembare verbindingen	140

6.3	Constructievormen	142
6.4	Schroefdraad	144
6.5	Bevestigingsschroefdraad	153
6.6	Bewegingsschroefdraad	155
6.7	Schroefdraadverbindingen	156
6.8	Losneembare verbindingen	156
6.9	Losneembare dunne plaatverbindingen	157
6.10	Beveiligen van boutverbindingen	158
6.11	Borgingen	159
6.12	Kernpunten	162
<b>7</b>	<b>Wentellagers</b>	<b>163</b>
7.1	Inleiding	165
7.2	Opbouw van wentellagers	172
7.3	Ondersteuning met wentellagers	173
7.4	De voor- en nadelen van wentellagers	174
7.5	Wentellagertypen	183
7.6	Een wentellager kiezen	185
7.7	Passingen	186
7.8	Wentellagercodering	190
7.9	Bevestiging van wentellagers	192
7.10	Smering	197
7.11	Dynamische afdichtingen	199
7.12	Smering	200
<b>8</b>	<b>Tandwielen en tandwielkasten</b>	<b>202</b>
8.1	Inleiding	202
8.2	Roterende overbrengingen	216
8.3	Tandwielen	219
8.4	Typen tandwielen	221
8.5	Hoofdafmetingen cilindrische tandwielen met rechte tanden	222
8.6	Hoofdafmetingen cilindrische tandwielen met schuine tanden	222
8.7	Ingrijping	223
8.8	Tandwielkasten	229
8.9	Harmonic drive	231
8.10	Kernpunten	235
<b>9</b>	<b>Variatoren, bewegingsmechanismen en lineaire systemen</b>	<b>239</b>
9.1	Inleiding	245
9.2	Variatoren	247
9.3	Mechanische variator	??
9.4	Hydraulische variator	??
9.5	Mechanismen voor oscillerende bewegingen	??
9.6	Mechanismen voor intermitterende bewegingen	??
9.7	Lineaire geleidingen	??
9.8	Lineaire aandrijvingen	??
9.9	Kernpunten	??

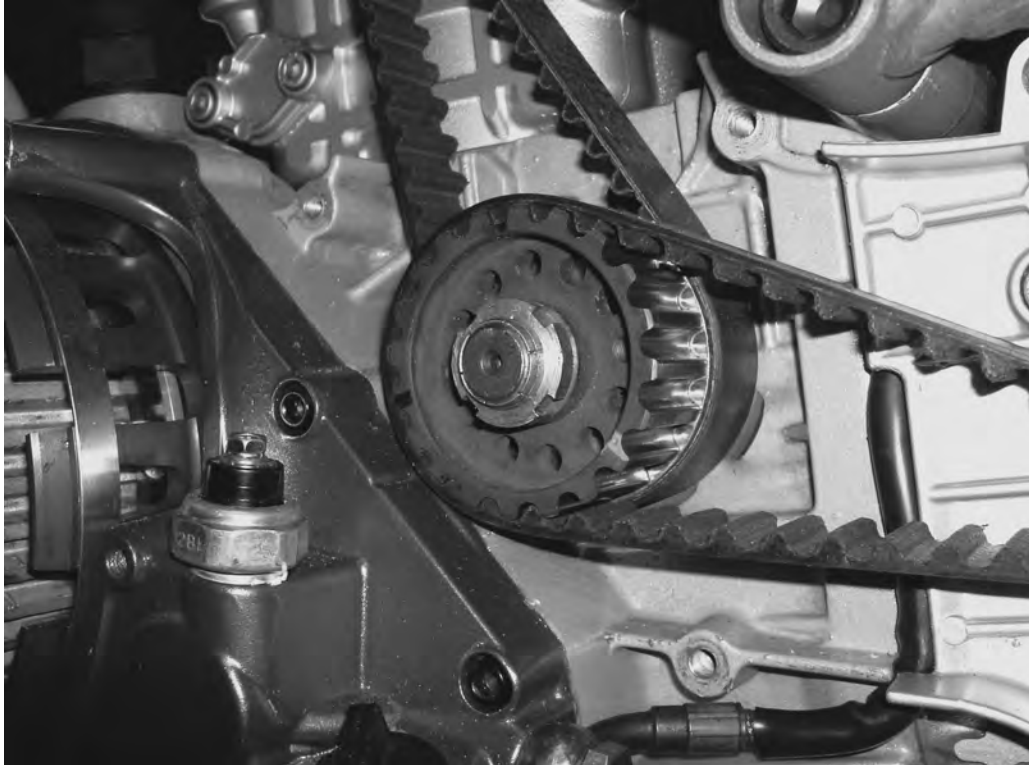
# As-naafverbindingen

1



## 1.1 Inleiding

Als je een lager, kettingwiel of V-snaarschijf moet demonteren valt dat niet altijd mee. De vraag is altijd: hoe zit deze op de as gemonteerd? Zie figuur 1.1.



*Figuur 1.1 As-naafverbinding*

Als je bij de verbinding ergens een bout of moer ontdekt, dan weet je al hoe je het onderdeel kunt demonteren. Zie je geen bevestigingsmiddelen maar enkel een uitsparing in de as of de V-riemschijf, dan wordt het demonteren al problematischer. Helemaal moeilijk wordt het als je helemaal niets aan het onderdeel of de as kunt ontdekken dat een hint over de verbindingsmethode geeft.

In dit hoofdstuk lees je welke as-naafverbindingen er zijn en wat de kenmerken daarvan zijn. Met deze kennis kun je de juiste verbinding kiezen en weet je ook hoe je deze verbinding monteert of demonteert.

## 1.2 Verbindingsmethoden

Om een draaimoment over te brengen op een as, moet de naaf van het aandrijf-element verbonden zijn met de as en moet de verbindingskracht groot genoeg zijn. De meestvoorkomende as-naafverbindingen zijn:

- spanverbindingen;
- spie- en penverbindingen;
- krimp- en persverbindingen.

De verbindingen verschillen van elkaar door de manier waarop de verbinding tussen as en naaf tot stand komt:

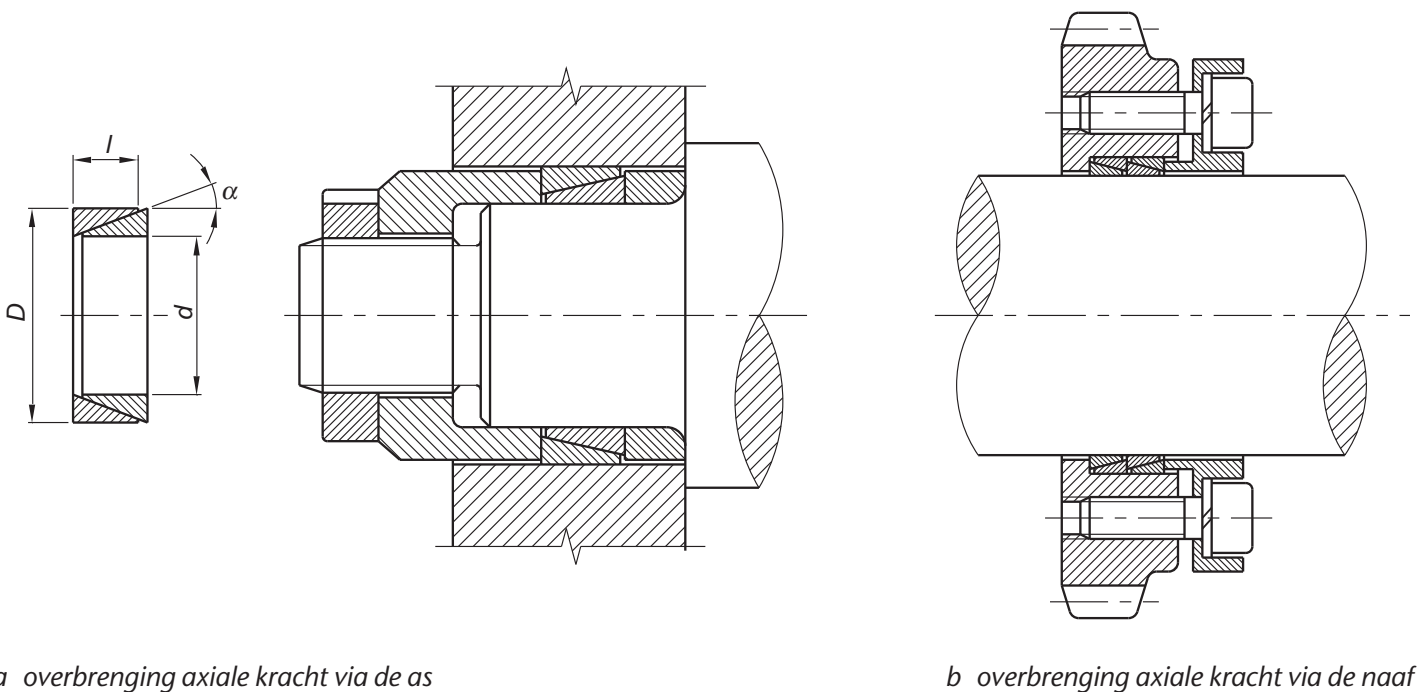
- via een krachtverbinding met wrijvingskracht. Die brengt het moment tussen as en naaf over. We spreken ook wel van spanverbindingen.
- via een vormverbinding met verbindingselementen als spieën en pennen. Zij nemen de kracht op die nodig is om het moment over te brengen.
- via een vaste verbinding met elastische eigenschappen van het materiaal (van de te verbinden delen). De delen brengen het moment over door te krimpen of te persen, met of zonder borging met verbindingselementen.

### 1.3 Krachtverbindingen

Er bestaan allerlei soorten krachtverbindingen. In deze paragraaf lees je daar meer over.

#### 1.3.1 Ringveerspanelement

Een ringveerspanelement bestaat uit twee cirkelvormig gesloten ringen van veredeld verenstaal. De ene ring is inwendig conisch en de andere uitwendig. De hellingshoek in de dwarsdoorsnede is ongeveer  $17^\circ$ . Zie figuur 1.2.



Figuur 1.2 Ringveerspanelement

Door axiaal te spannen en de moer of bouten aan te draaien, rek je de buitenring en stuik je de binnenring. Daardoor ontstaan aandrukkrachten tussen de binnenring en de as en tussen de buitenring en de naaf. Deze aandrukkrachten kunnen een moment overdragen.

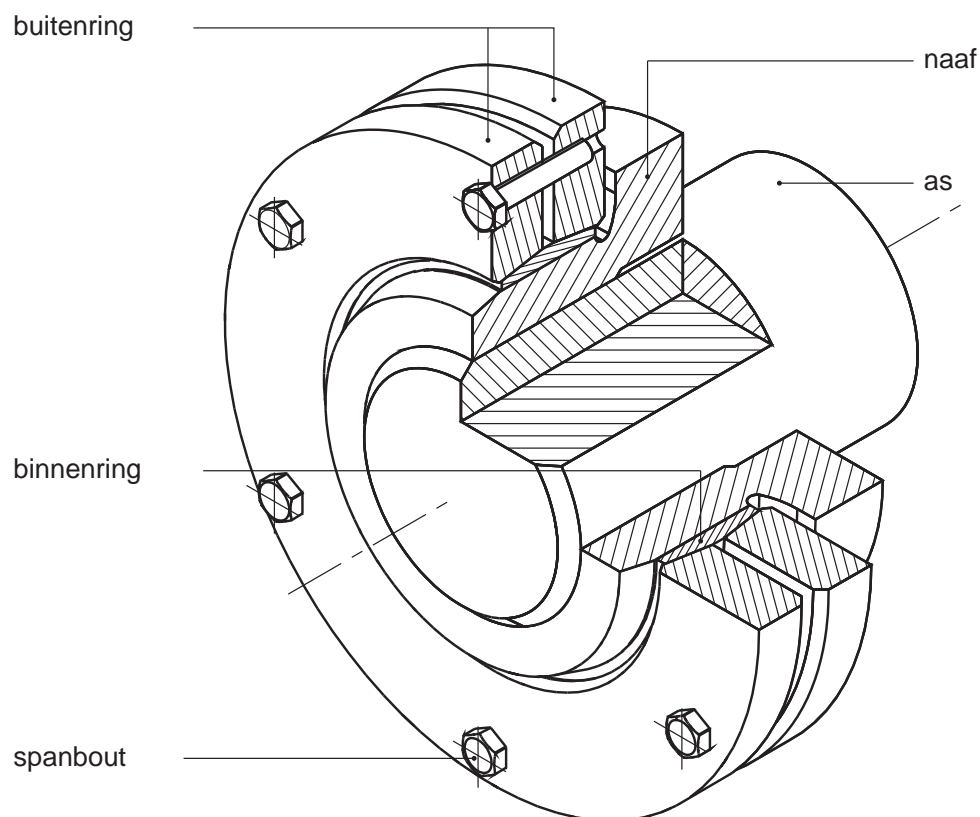
Vaak wordt een stalen steunring ingebouwd. Die beschermt het zachtere materiaal van de naaf en elimineert de radius van de askraag. De axiale kracht komt via de as (zie figuur 1.2a) of via de naaf (zie figuur 1.2b). In het laatste geval is geen askraag nodig.

Je kunt een aantal ringveerspanelementen achter elkaar zetten, maar dit mogen er niet meer dan vier zijn. Bij een hoger aantal gaat namelijk een deel van de axiale spankracht verloren door wrijving tussen de elementen.

Het hangt van de sterkte van het as- of naafmateriaal af hoe hoog de spankracht mag worden. In de praktijk lees je de spankrachten en het overdraagbare maximale draaimoment af uit tabellen.

### 1.3.2 Klemringen

Ook klemringen behoren tot de spanelementen. Zie figuur 1.3.

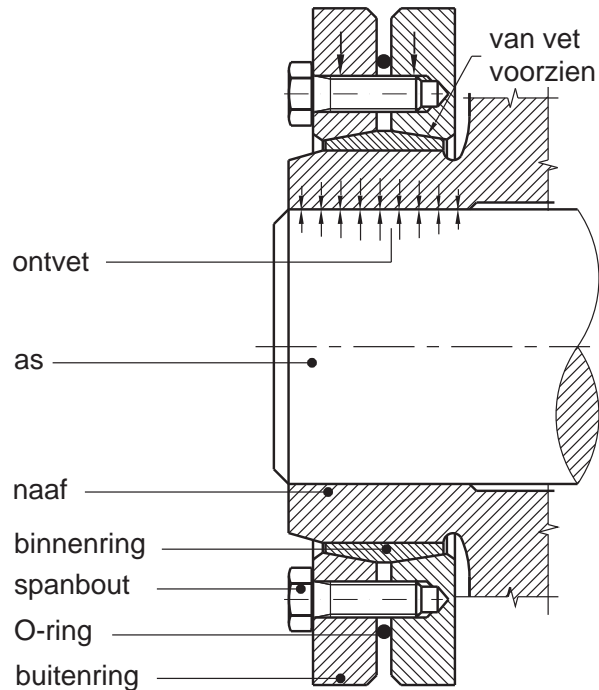


*Figuur 1.3 Klemringverbinding*

Ze worden toegepast in combinatie met twee flenzen of buitenringen.



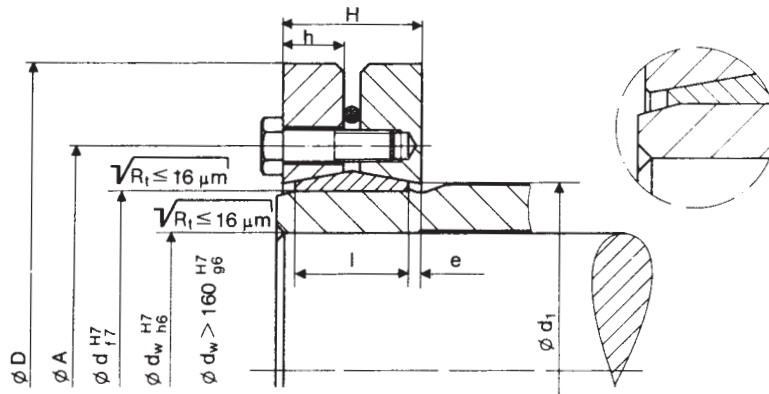
Door de spanbouten in de buitenringen aan te draaien, geef je spankracht. Die spankracht wordt via de conische vlakken van de binnenring direct overgedragen op de naaf. Zie figuur 1.4.



*Figuur 1.4 Doorsnede klemringverbinding*

Van tevoren vet je de conische vlakken in, zodat de wrijving tussen buiten- en binnenring laag is tijdens de montage. Gegevens over typen, afmetingen en over te dragen vermogen vind je in de catalogus van de fabrikant. Zie tabel 1.1.

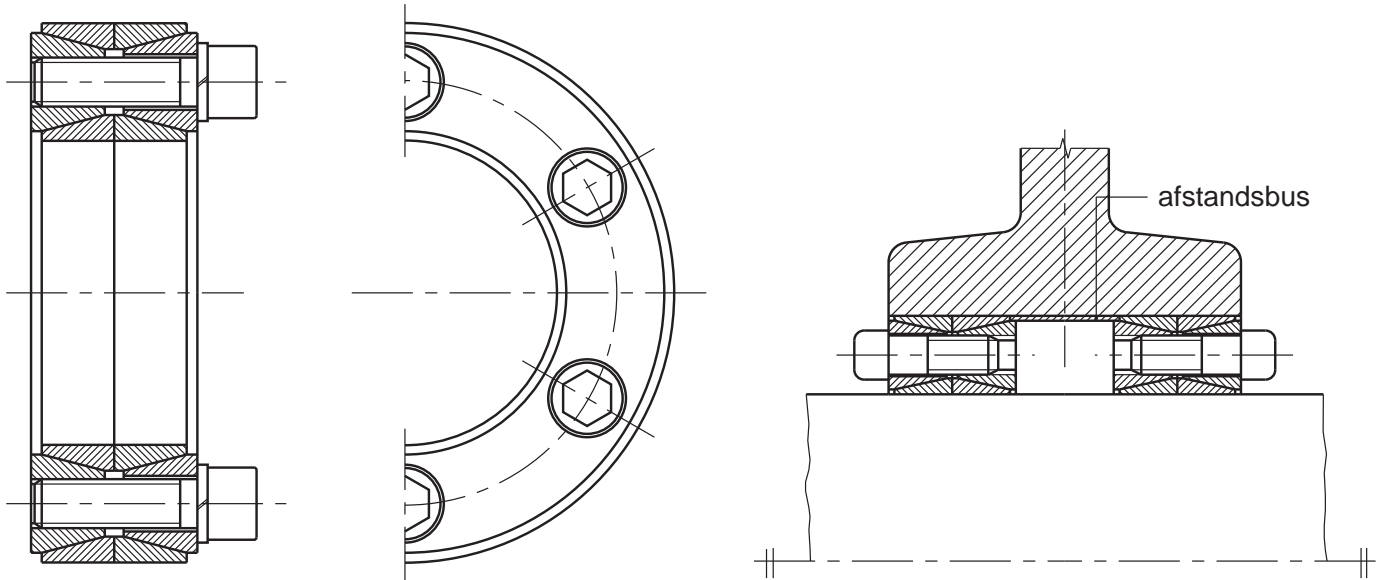
TABEL 1.1 KLEMRINGEN



Type	d mm	d <sub>w</sub> mm	M <sub>t</sub> Nm	P <sub>ax</sub> kN	M <sub>a</sub> Nm	Z	B mm	Gew. kg	D mm	l mm	h mm	H mm	A mm	d <sub>1</sub> mm	e mm
SD 24 - 72	24	19	170	17	5	6	M 5 x 15	0,2	50	14	7,8	18	36	26	2
		20	210	21											
		21	250	23											
SD 30 - 72	30	24	300	25	5	6	M 5 x 18	0,3	60	16	8,5	20	44	32	2
		25	340	27											
		26	380	29											
SD 36 - 72	36	28	440	31	12	5	M 6 x 20	0,4	72	18	9,5	22	52	38	2
		30	570	38											
		31	630	40											
SD 44 - 72	44	34	710	41	12	6	M 6 x 20	0,6	80	20	10,5	24	61	47	2
		35	780	44											
		36	860	47											
SD 50 - 72	50	38	940	49	12	8	M 6 x 22	0,8	90	22	11,5	26	75	53	2
		40	1160	58											
		42	1380	65											
SD 55 - 72	55	42	1160	55	12	8	M 6 x 25	1,1	100	23	12,5	29	75	58	3
		45	1520	67											
		48	1880	78											
SD 62 - 72	62	48	1750	73	12	9	M 6 x 25	1,3	110	23	12,5	29	86	66	3
		50	2000	80											
		52	2250	86											
SD 68 - 72	68	50	1850	74	12	9	M 6 x 25	1,4	115	23	12,5	29	86	72	3
		55	2500	91											
		60	3150	105											
SD 75 - 72	75	55	2400	87	29	7	M 8 x 30	1,2	138	25	13	31	100	79	3
		60	3200	106											
		65	3950	121											
SD 80 - 72	80	60	3200	106	29	7	M 8 x 30	1,9	145	25	13	31	100	84	3
		65	3900	120											
		70	4600	131											
SD 90 - 72	90	65	4750	146	29	10	M 8 x 30	3,3	155	30	16,5	38	114	94	4
		70	6000	171											
		75	7250	193											
SD 100 - 72	100	70	6000	171	29	12	M 8 x 35	4,7	170	34	19	43	124	104	4,5
		75	7500	200											
		80	9000	225											
SD 110 - 72	110	75	7200	192	58	9	M 10 x 40	5,9	185	39	21,5	49	136	114	5
		80	9000	225											
		85	10800	254											
SD 125 - 72	125	85	11000	258	58	12	M 10 x 40	8,3	215	42	23	53	160	134	5,5
		90	13000	288											
		95	15000	315											
SD 140 - 71	140	95	15100	317	100	10	M 12 x 45	10	230	46	25	58	175	144	6
		100	17600	352											
		105	20100	382											
SD 155 - 71	155	105	22000	419	100	12	M 12 x 50	15	263	50	26	62	192	164	6
		110	25000	454											
		115	28000	487											
SD 165 - 71	165	115	31000	539	240	8	M 16 x 55	22	290	56	29	68	210	174	6
		120	35000	583											
		125	39000	624											
SD 175 - 71	175	125	40000	640	240	8	M 16 x 55	22	300	56	29	68	220	184	6
		130	44000	677											
		135	48000	711											

### 1.3.3 Spansets

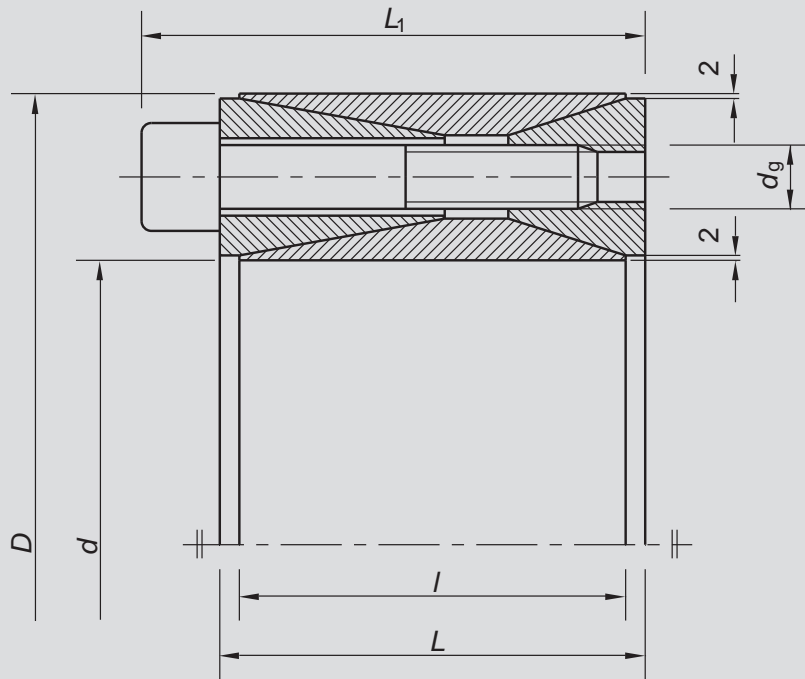
In tegenstelling tot klemringen zijn spansets één geheel, klaar voor montage. De klemkracht wordt direct tussen as en naaf aangebracht. Zie figuur 1.5.



Figuur 1.5 Spanset

Spansets worden inclusief bouten geleverd. De hellingshoek van de elementen is ongeveer  $28^\circ$ . De fabrikant geeft voor elke spansetafmeting het maximaal overdraagbare draaimoment op. Zie tabel 1.2.

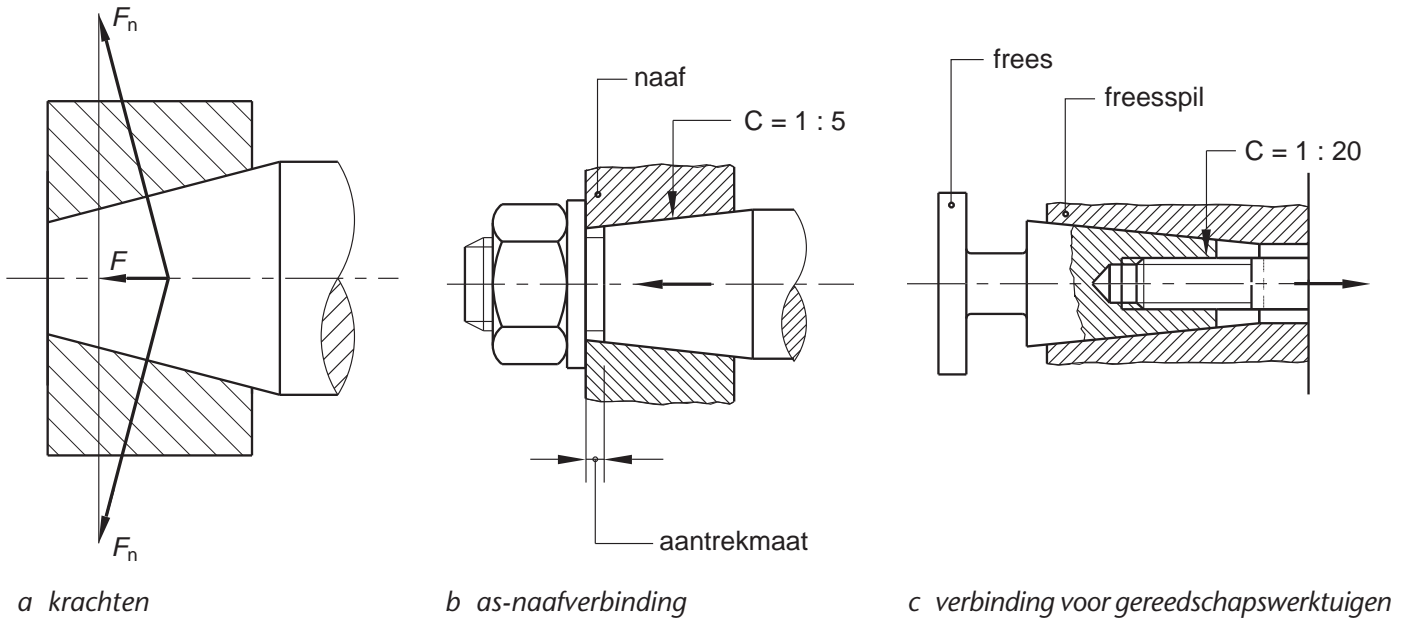
TABEL 1.2 SPANSETS



afmetingen van spanset				overdraagbare		vlaktedruk tussen spanset en		spanschroeven DIN 912-12.9		
$d \times D$ mm	$L$ mm	$I$ mm	$L_1$ mm	koppels $M_w$ N · m	axiale krachten of $F_{ax}$ kN	as $\sigma_o$ N/mm <sup>2</sup>	naaf $\sigma_o$ N/mm <sup>2</sup>	aantal	schroef- draad	$M_w$ N · m
70 × 120	62	56	74	6 850	197	201	117	8	M12 × 55	145
80 × 130	62	56	74	11 650	291	263	162	12	M12 × 55	145
90 × 140	62	56	74	13 000	290	234	150	12	M12 × 55	145
100 × 160	80	74	94	19 700	389	213	133	12	M14 × 70	230
110 × 170	80	74	94	22 600	483	242	157	15	M14 × 70	230
120 × 180	80	74	94	28 900	482	222	148	15	M14 × 70	230
130 × 190	80	74	94	31 200	480	205	140	15	M14 × 70	230
140 × 200	80	74	94	40 200	574	227	159	18	M14 × 70	230
150 × 210	80	74	94	42 900	572	212	152	18	M14 × 70	230
160 × 230	94	88	110	64 000	800	227	158	18	M16 × 80	355
170 × 240	94	88	110	67 800	795	214	152	18	M16 × 80	355
180 × 250	94	88	110	83 000	923	235	170	21	M16 × 80	355
190 × 260	94	88	110	88 000	921	223	163	21	M16 × 80	355
200 × 270	94	88	110	105 000	1 050	242	179	24	M16 × 80	355
220 × 300	116	110	134	123 000	1 120	189	138	21	M18 × 100	485
240 × 320	116	110	134	153 000	1 280	198	148	24	M18 × 100	485
260 × 340	116	110	134	186 000	1 430	205	157	27	M18 × 100	485
280 × 370	136	130	156	230 000	1 650	192	145	24	M20 × 120	690
300 × 390	136	130	156	245 000	1 650	179	138	24	M20 × 120	690

### 1.3.4 Spannen door coniciteit

Je kunt de verbinding ook tot stand brengen met een naaf met conische boring en een conische astap. Deze verbinding is over het algemeen nogal duur. De verbinding komt tot stand door de moer aan te draaien, zodat je de naaf op de conische tap trekt of drukt. Met vrij weinig bevestigingskracht bereik je zo een grote klemkracht. Zie figuur 1.6.

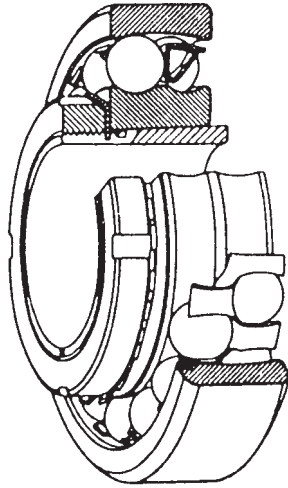


Figuur 1.6 Klemmen door coniciteit

Deze verbinding gebruik je vooral voor gereedschap, bijvoorbeeld om een freeshouder te bevestigen. Het voordeel van zo'n conische verbinding is dat de montage snel en zuiver is. Ook kun je de naaf bij demontage vlug lossen en gemakkelijk afnemen.

### 1.3.5 Conische klembus

Conische klembussen gebruik je vooral voor de bevestiging van wentellagers met conische boring. Door de moer aan te draaien trek je de klembus in de conische boring van de naaf. De bus heeft daarvoor in de lengterichting een spleet. Hierdoor krijg je een grote klemkracht zowel tussen de (buitenomtrek van de) klembus en de naaf, als tussen de (binnenomtrek van de) klembus en de as. Zie figuur 1.7.



Figuur 1.7 Bevestiging wentellager met conische klembus

Een krachtverbinding tussen as en naaf heeft de volgende voordelen:

- de verbinding as-naaf is gemakkelijk te maken;
- as en naaf mogen grovere toleranties en een ruwer oppervlak hebben. Dat vermindert de productiekosten;
- de montage is gemakkelijk en zuiver en de demontage snel;
- je kunt grote draaimomenten overbrengen, ook bij stotende belasting.

Een nadeel is dat de inbouwruimte groter wordt door de benodigde ruimte voor het spanelement.

## 1.4 Vormverbindingen

Als je aandrijfelementen (v-snaarschijf, wiel, ketting enzovoorts) met verbindings-elementen (spieën, pennen, enzovoorts) op een as bevestigt, krijg je een vormverbinding.

De genormaliseerde verbindingselementen zijn onderverdeeld in twee groepen:

- verbindingselementen die niet zijn voorgespannen;
- verbindingselementen die dat wél zijn.

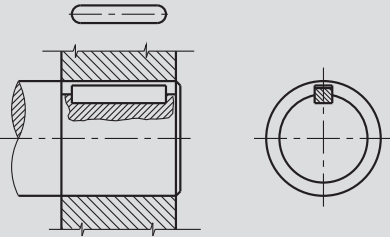
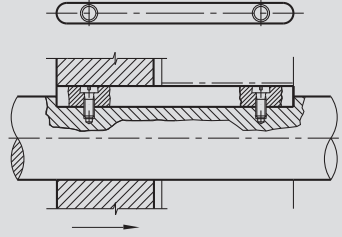
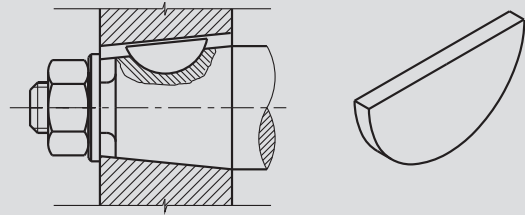
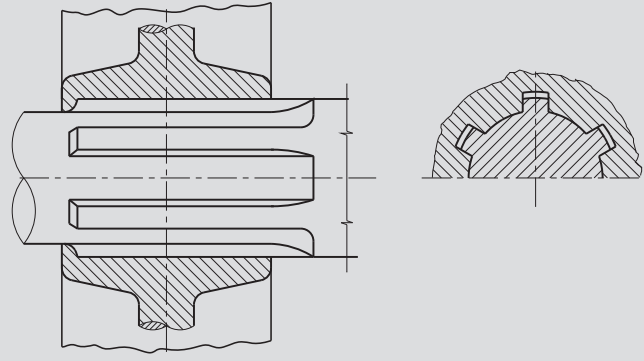
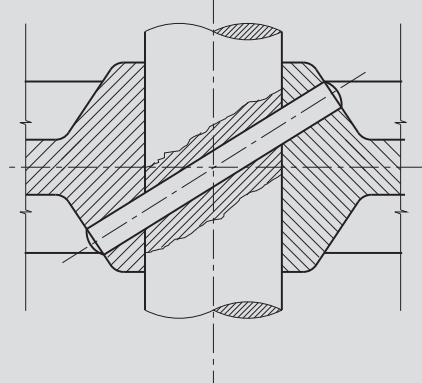
### 1.4.1 Niet-voorgespannen verbindingselementen

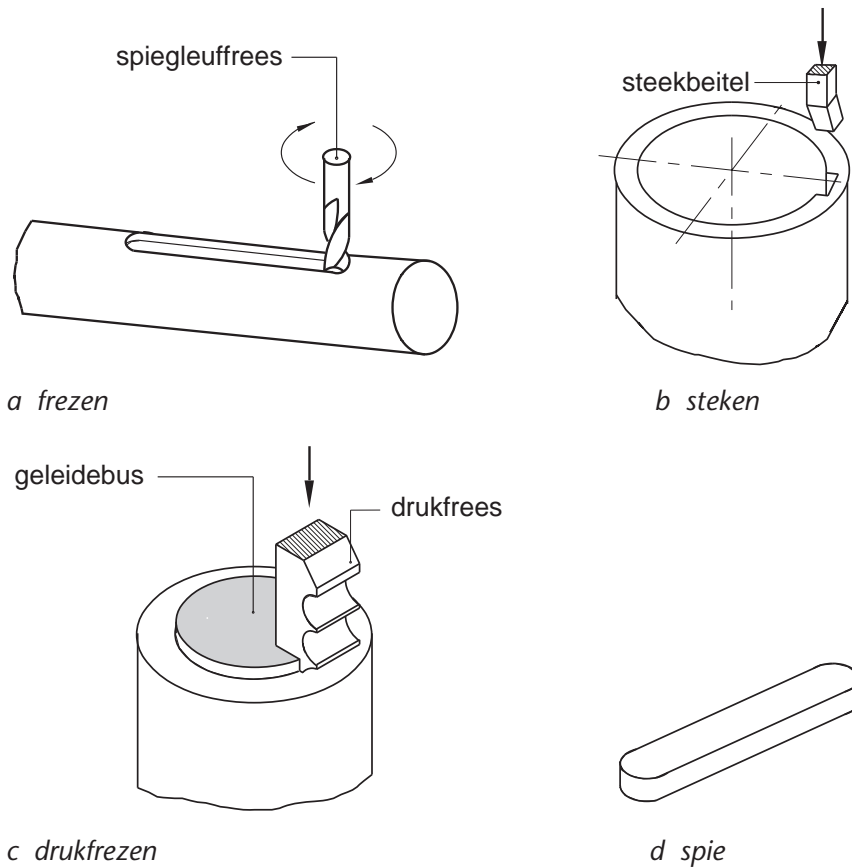
#### Vlakke inlegspie

Van de niet-voorgespannen verbindingselementen wordt de vlakke inlegspie het meest gebruikt. Zie tabel 1.3.

Voor de montage moet je in de as een spiegleuf frezen, en in de naaf van het te bevestigen onderdeel een spiegleuf steken, of frezen. Zie figuur 1.8.

TABEL 1.3 NIET-VOORGESPANNEN VERBINDINGSELEMENTEN

	vlakke inlegspie	DIN 6885
	vlakke inlegspie als glijspie met gaten voor bevestigingsschroeven	
	schijfspie	6888
	spievertanding	5462 t/m 5467
	cilindrische pennen	6325 7979



Figuur 1.8 Vervaardiging spiegleuf

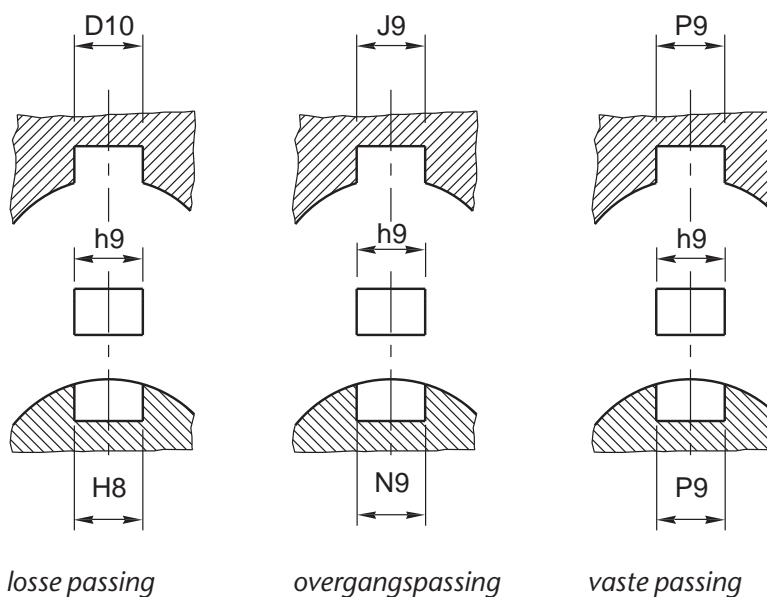
Bij vlakke inlegspieën zijn de afmetingen genormaliseerd volgens DIN 6885.

Je kunt ze zelf van zuiver blank getrokken staven volgens DIN 6880 zagen.

Zo nodig geef je de spieën een ronde kop.

De as en naaf moeten met een lichte perspassing of schuifpassing zijn verbonden.

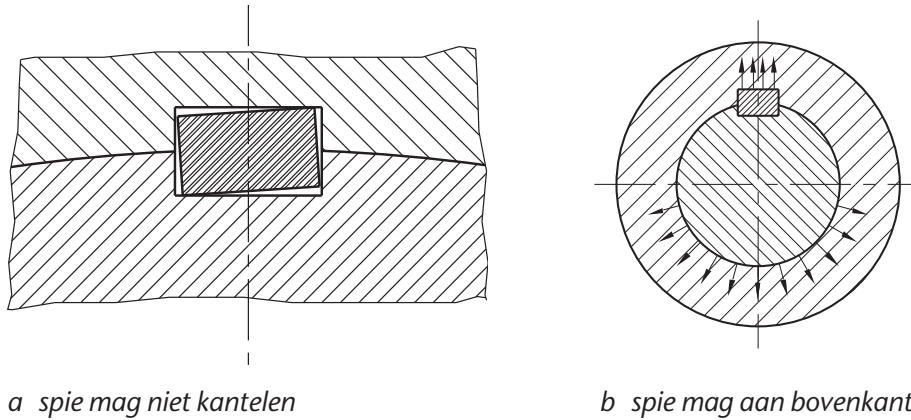
In figuur 1.9 zie je wat de meest gebruikte passingen voor spieën zijn.



Figuur 1.9 Uitvoeringen en passingen vlakke inlegspie



Om eventueel kantelen te voorkomen, laat je de spie aan de zijkanten klemmend passen. De bovenkant mag niet dragen. Anders krijg je een eenzijdige belasting van de naaf. Zie figuur 1.10.

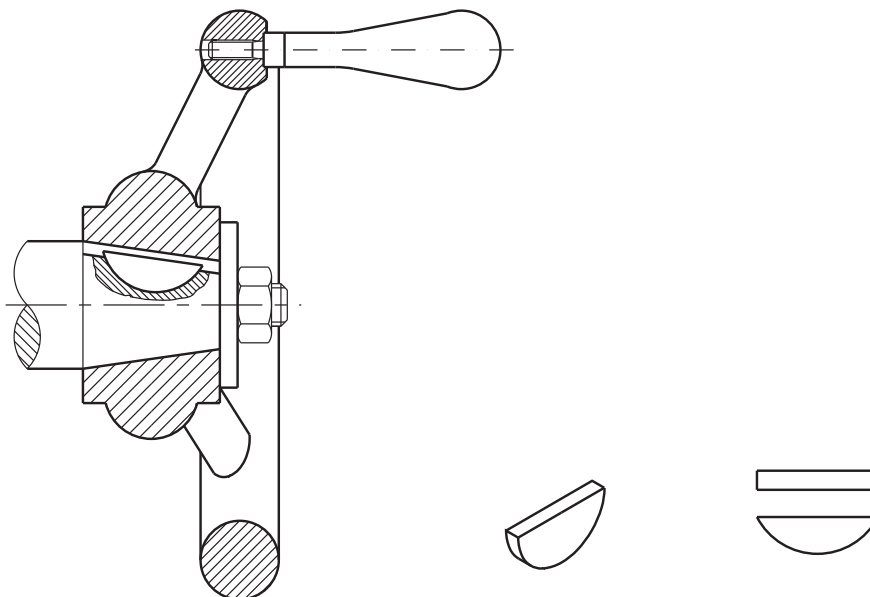


*Figuur 1.10 Constructievoorwaarden spie*

Je kunt de vlakke inlegspie ook als glijspie gebruiken. Dat wil zeggen: voor assen waarover een naaf in axiale richting moet kunnen schuiven. In zo'n geval zet je de spie met verzonken schroeven op de as vast.

### Schijfspie

In plaats van een vlakke inlegspie wordt ook wel een schijfspie gebruikt. Daarmee kun je een klein moment overbrengen (en dus een kleine kracht op de spie uit te oefenen). Zie figuur 1.11.

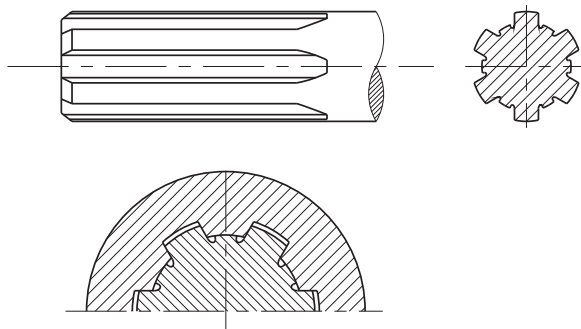


*Figuur 1.11 As-naafverbinding met een schijfspie*

Het voordeel van een schijfspie is dat je hem gemakkelijk kunt maken en dat hij zichzelf instelt door de segmentvormige spiebaan van de as. Schijfspieën zijn genormaliseerd volgens DIN 6888.

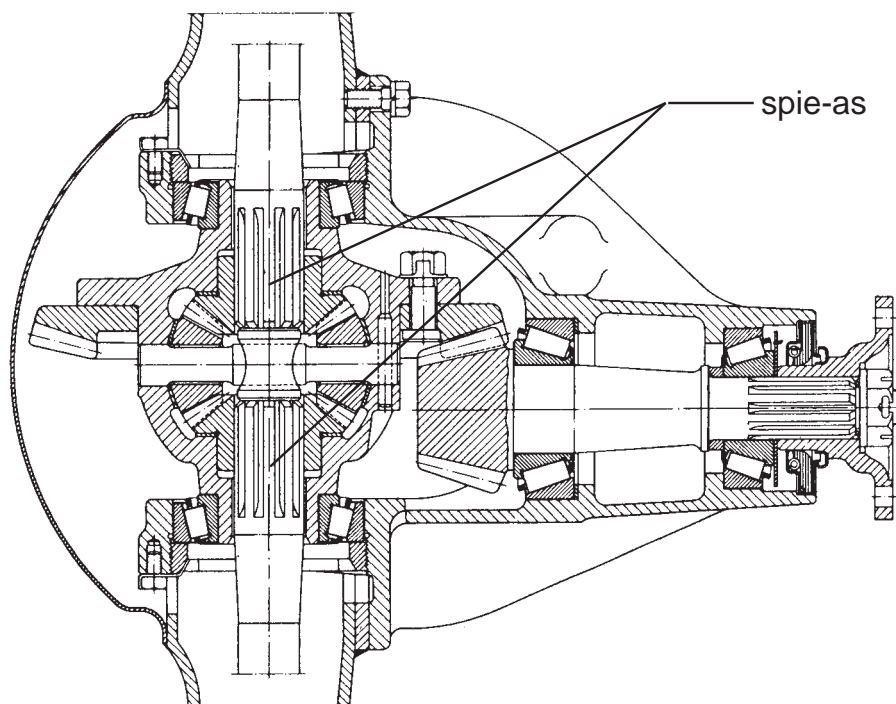
### Spievertanding

Voor een as-naafverbinding waar een dynamische belasting werkt, wordt dikwijls een as met spievertanding gebruikt. De hoeken van de spiegleuven zijn afgerond om kerfwerking tegen te gaan. Zie figuur 1.12.



*Figuur 1.12 As met spievertanding*

Spie-assen kunnen grote krachten opnemen en daarom kom je ze veel in de auto-industrie en machinebouw tegen. Zie figuur 1.13.



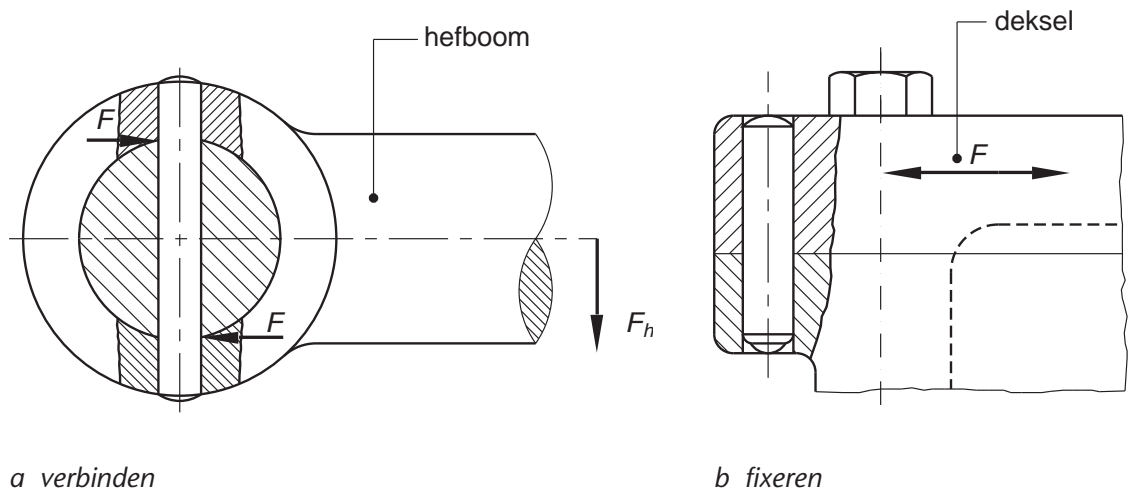
*Figuur 1.13 Gebruik spievertanding in de auto-industrie*

Assen met spievertanding zijn genormaliseerd volgens de DIN 5462 t/m 5464. Daarin is aangegeven welk aantal spietanden (met bijbehorende maten) bij een bepaalde asmiddellijn en zwaarte van de aandrijving hoort.

### Cilindrische pennen

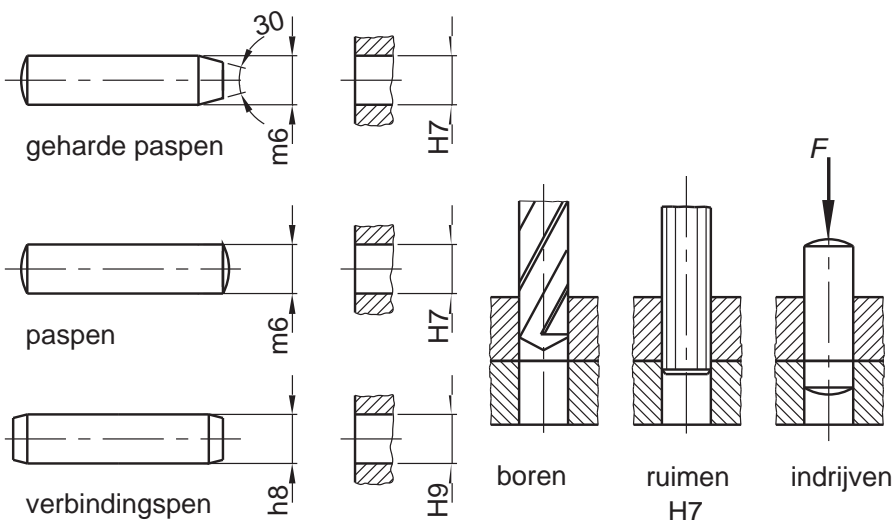
Cilindrische pennen passen we alleen toe als we een klein moment willen overbrengen. Dit vanwege de relatief kleine doorsnede van een massieve pen. Zie figuur 1.14.

Penverbindingen dienen ook als borg tegen verschuiven, of voor zuivere positionering. Zie figuur 1.14.

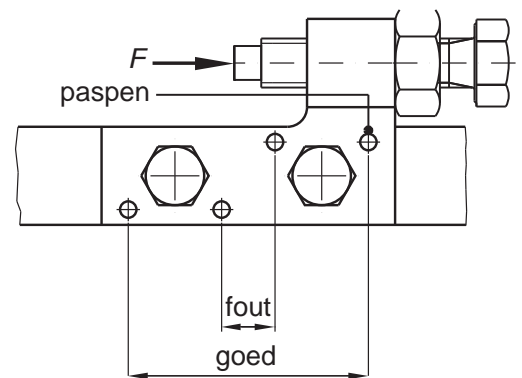


Figuur 1.14 Pennen in machine-onderdelen

Als we cilindrische pennen gebruiken voor positioneren, dan spreken we van *paspen*. Het gat voor de paspen moet je aanpassen aan het type pen. Zie figuur 1.15. Dit om speling na montage te voorkomen. De paspen voor een nauwkeurige positionering moet je zover mogelijk uit elkaar aanbrengen. Zie figuur 1.16. Cilindrische pennen zijn onmisbaar bij de fabricage van stempels en matrijzen.



Figuur 1.15 Cilindrische pennen

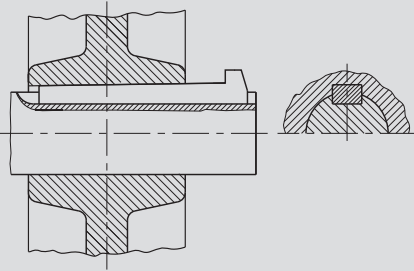
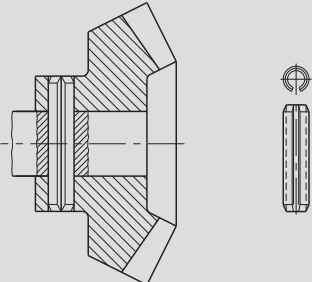
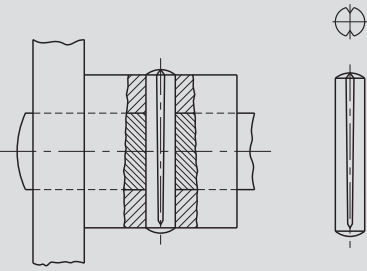


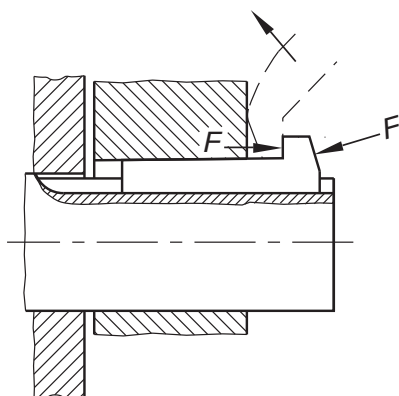
Figuur 1.16 Montage van paspen

## 1.4.2 Voorgespannen verbindingselementen

### Kopspie

Van de voorgespannen verbindingselementen wordt de kopspie het minste gebruikt. Zie tabel 1.4.

TABEL 1.4 VEELGEBRUIKTE VOORGESPANNEN VERBINDINGSELEMENTEN		
		DIN
	kopspie	6887
	spanbus	7346 1481
	kerfpen	1470 t/m 1475



Figuur 1.17 Montage en demontage van een kopspie

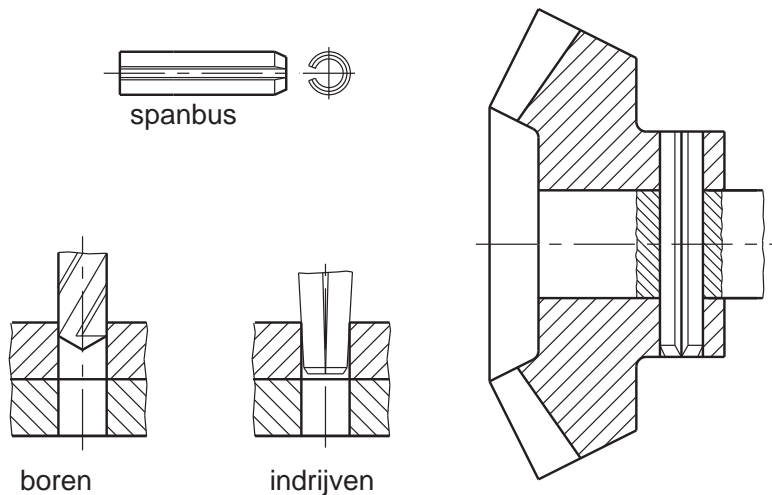
Een kopspie is een drijfspie met een kop en een vlak met een helling van 1 : 100. De spiegleuf die in de naaf komt, moet ook een helling van 1 : 100 hebben. Het maken van het naafgat is daardoor erg bewerkelijk en dus duur. Een nadeel is dat je de naaf excentrisch ten opzichte van de as drukt.

Kopspieën hebben het voordeel dat ze ook borgen tegen verschuiving. Een kopspie monteert je door met een hamer op de spiekop te tikken, zodat de spie tussen as en naaf komt te zitten. Demontage gebeurt met een speciale hefboom.

Zie figuur 1.17.

### Spanbussen

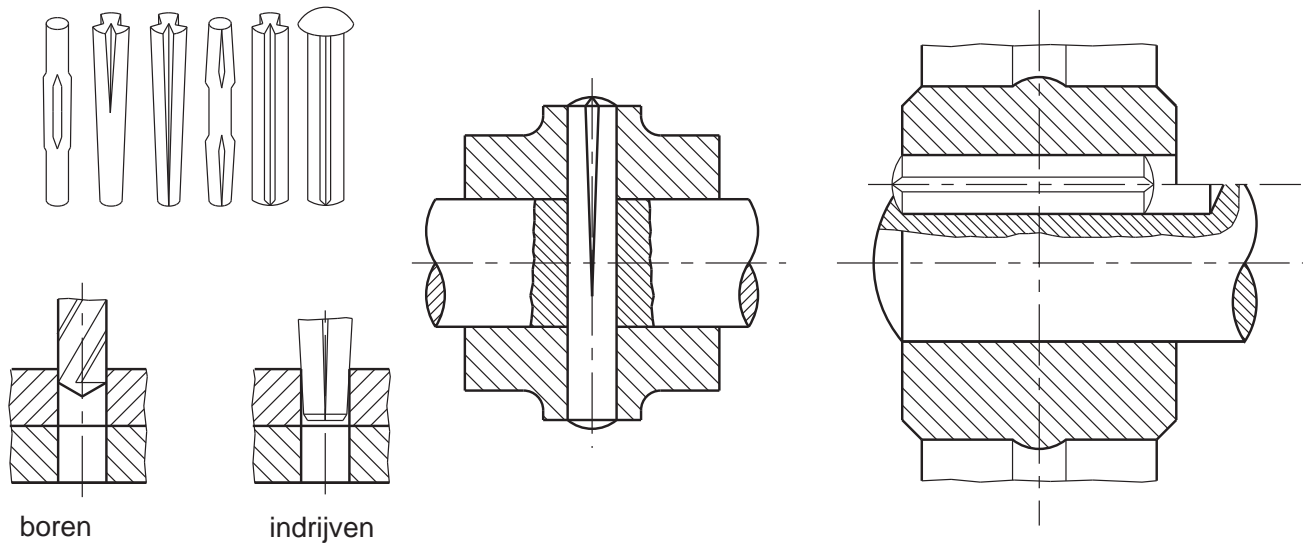
Spanbussen zijn gemaakt van verenstaal. Je klemt ze in cilindrisch geboorde gaten. Een spanbus klemt zich vast doordat hij een iets grotere maat heeft dan de nominale middellijn van het gat. Zie figuur 1.18.



Figuur 1.18 Spanbussen

### Kerfpennen

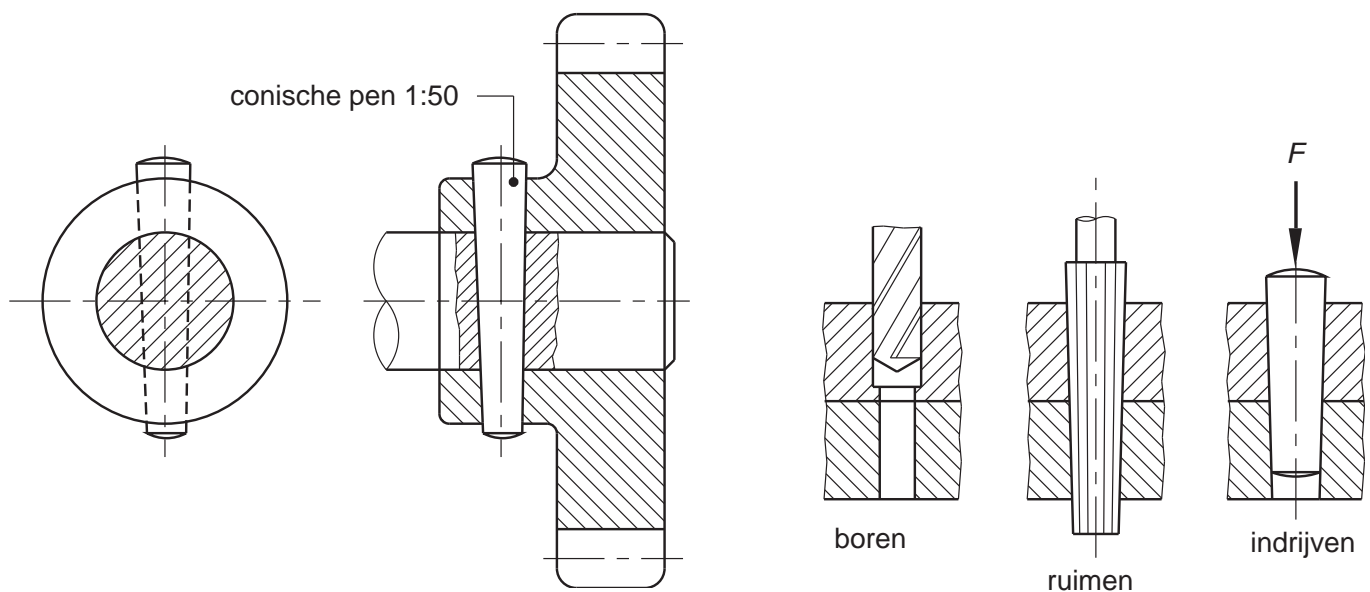
Kerfpennen zijn gehard stalen pennen met in de omtrek meestal drie kerven. Tijdens het aanbrengen dringen ze zich in een normaal geboord gat in as en naaf. Zie figuur 1.19. Kerfpennen passen we zowel axiaal als radiaal toe. Ze zijn verkrijgbaar in verschillende uitvoeringen volgens DIN 1470 t/m 1475.



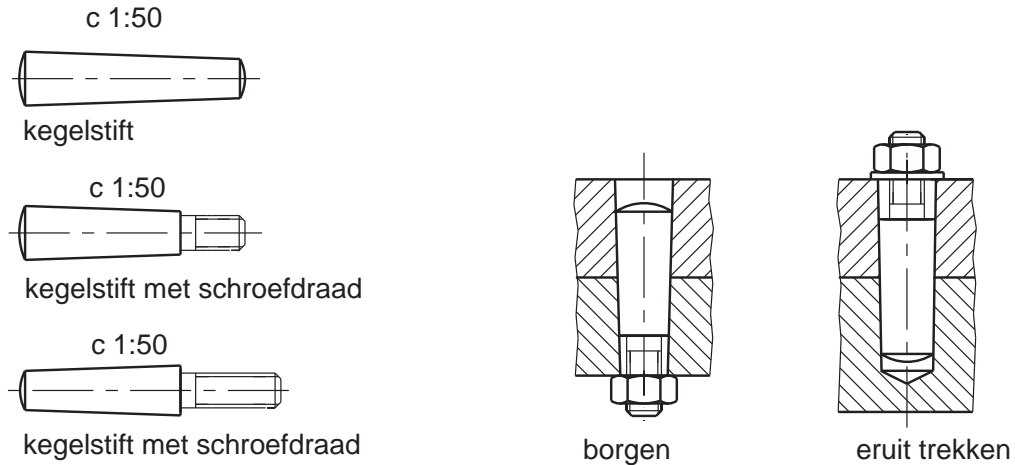
Figuur 1.19 Kerfpennen

### Conische pennen

Voor het gebruik van conische pennen moet je de voorgeboorde gaten met een conische ruimer op maat brengen. De coniciteit van de pennen is 1 : 50, en staat er borg voor dat de verbinding zich niet loswerkt. Conische pennen zijn genormaliseerd volgens DIN 1B en 7977 en 7978. Vanwege de hoge kosten wordt deze verbindingmethode steeds minder gebruikt. Zie figuur 1.20.



Figuur 1.20 Conische pennen



Figuur 1.20 Conische pennen (vervolg)

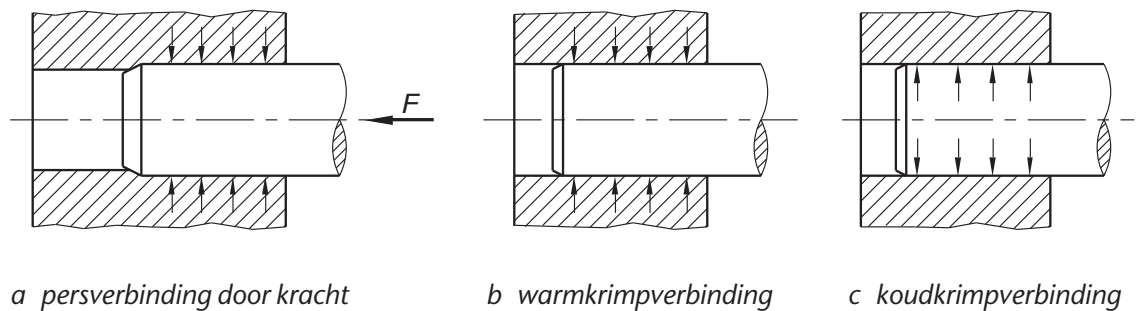
## 1.5 Vaste verbindingen

Als er een vaste verbinding moet komen tussen onderdelen uit twee of meer metalen delen, kies je meestal voor een krimp- of een persverbinding.

Bij het krimpen onderscheiden we:

- warmkrimpen;
- koudkrimpen.

Er bestaan specifieke verschillen tussen de drie verbindingen. Zie figuur 1.21.



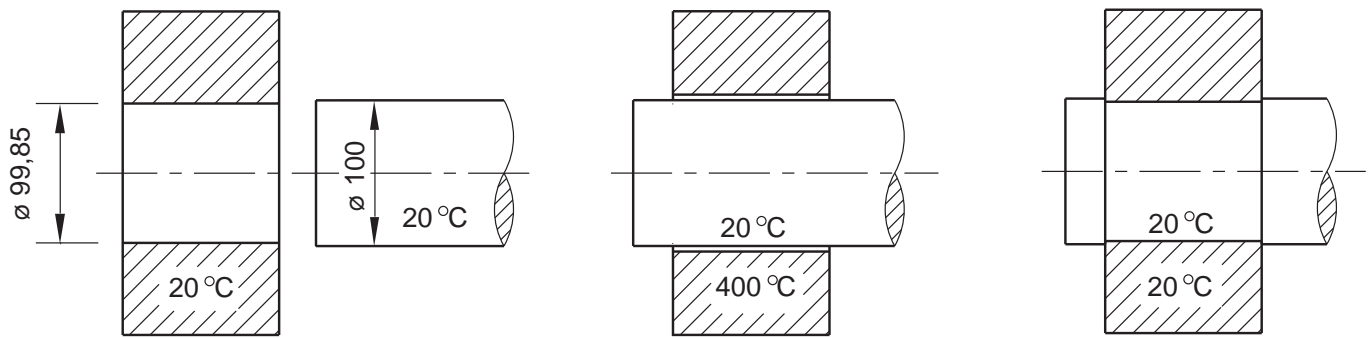
Figuur 1.21 Vaste verbindingen

### 1.5.1 Warmkrimpen

Bij warmkrimpen maken we gebruik van de natuurkundige eigenschap dat een voorwerp bij verwarming uitzet en bij afkoeling krimpt.

Stel bijvoorbeeld dat je een naaf (of ring) op een as moet bevestigen via warmkrimpen. Dan maak je de inwendige naafmiddellijn iets kleiner dan de asmiddellijn. Vervolgens verwarm je de naaf zóveel, dat je hem over de as op de juiste plaats kunt schuiven. Daarna koelt de naaf af en klemt hij zich om de as.

Zie figuur 1.22.



a naaf en as dezelfde temperatuur;  
middellijn gat kleiner dan middellijn as

b verwarmde naaf op de goede  
plaats op de as geschoven;  
middellijn naafgat iets groter  
dan middellijn as

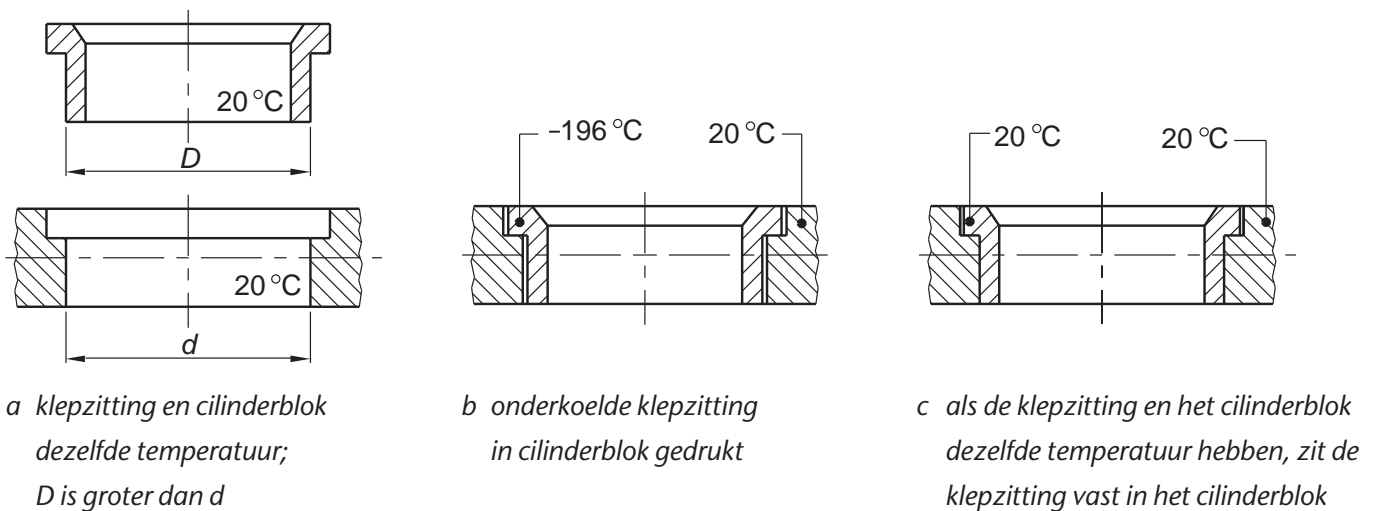
c na afkoeling zit de  
naaf vast op de as

Figuur 1.22 Warmkrimpen

De naaf wil namelijk tijdens het afkoelen weer zijn oorspronkelijke middellijn aannemen. Dat lukt echter niet door de iets grotere asmiddellijn. Zo ontstaat in de naaf trekspanning, en in de as op de plaats van de naaf drukspanning. Het verwarmen gaat het beste in een met gas, olie of elektriciteit verwarmde oven, in een oliebad, of met elektrische verwarmingselementen.

### 1.5.2 Koudkrimpen

Bij het koudkrimpen maken we gebruik van de natuurkundige eigenschap dat een voorwerp bij afkoeling krimpt en bij verhoging van de temperatuur uitzet. Koudkrimpen gebeurt vooral om bijvoorbeeld metalen voeringen, ringen en klepzittingen aan te brengen in bijvoorbeeld cilinders, wielen en cilinderblokken (en dus niet om een as in een naaf te krimpen). Zie figuur 1.23.



a klepzitting en cilinderblok  
dezelfde temperatuur;  
 $D$  is groter dan  $d$

b onderkoelde klepzitting  
in cilinderblok gedrukt

c als de klepzitting en het cilinderblok  
dezelfde temperatuur hebben, zit de  
klepzitting vast in het cilinderblok

Figuur 1.23 Koudkrimpen

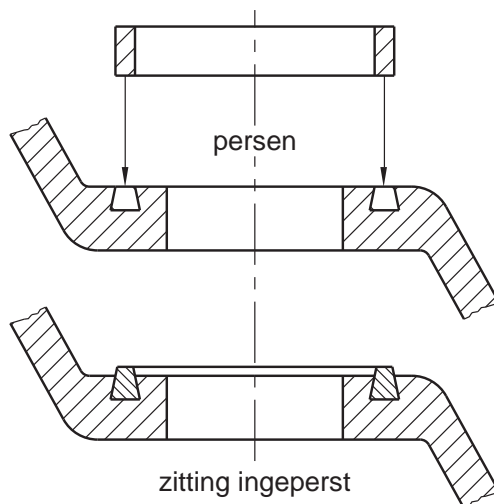


Onderkoelen kan het best gebeuren in vloeibare stikstof. Hiermee kun je een temperatuur bereiken van  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Koelen lukt ook met een mengsel van aceton en vast koolzuur. De bereikbare temperatuur is dan  $\pm -70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Bij het krimpen moet je het onderkoelde deel met een kleine speling in het andere deel schuiven. Dit noem je *montagespeling*. De delen moeten zo snel mogelijk in elkaar geschoven worden. Als ze te vroeg gaan klemmen door de uitwisseling van warmte, krijg je ze niet meer op de juiste plaats.

### 1.5.3 Persverbindingen

Persverbindingen worden door kracht gemaakt bij een normale omgevings-temperatuur. Zie figuur 1.24.

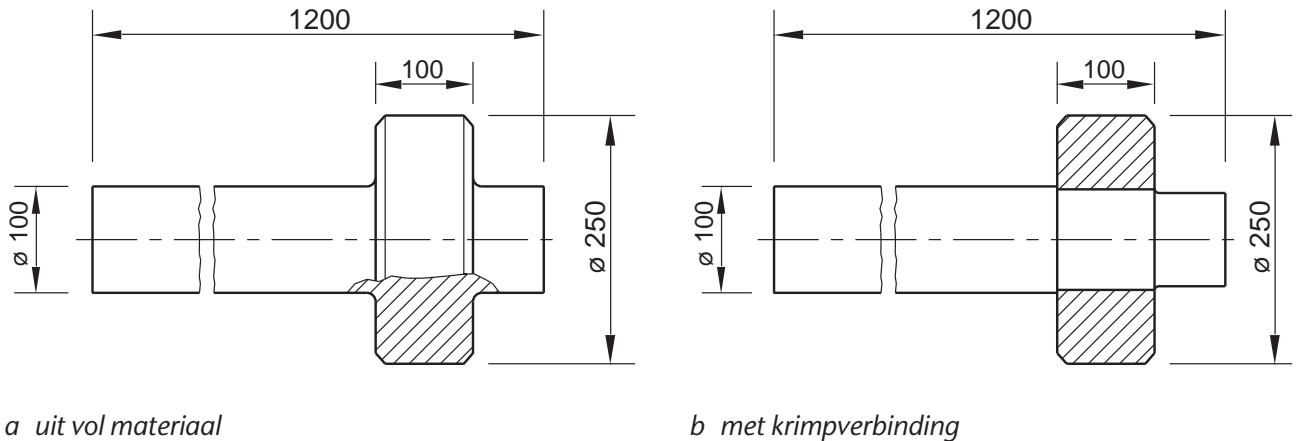


Figuur 1.24 Persverbinding met ingeperste zitting

Behalve om een naaf met een as te verbinden, krimpen en persen we ook om op materiaal en fabricagekosten te besparen.

Als je een as moet draaien met een middellijn van 100 mm en een kraag van 210 mm heb je een vol stuk materiaal nodig met een middellijn van 250 mm. Zie figuur 1.25. Er gaat dus een hoeveelheid materiaal verloren. Bovendien zijn de productiekosten hoog.

Een betere oplossing is: op de as een ring krimpen zoals in figuur 1.25b. Op deze manier bespaar je op materiaal en zijn de productiekosten aanzienlijk lager.

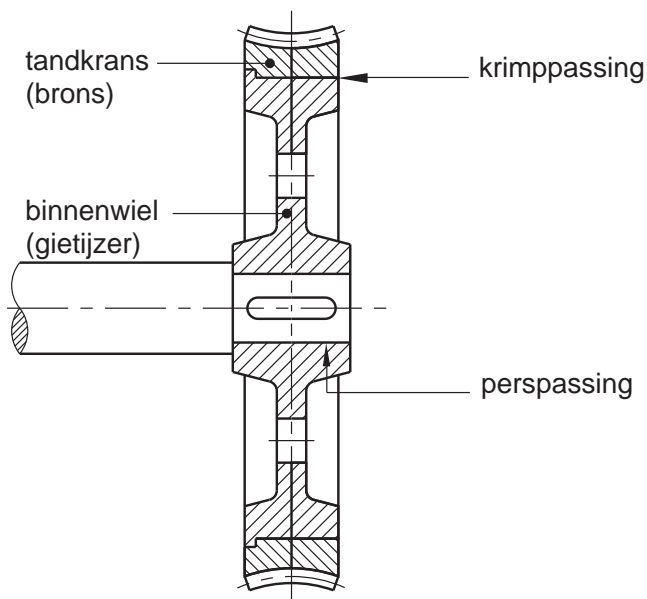


a uit vol materiaal

b met krimverbinding

Figuur 1.25 As met borst

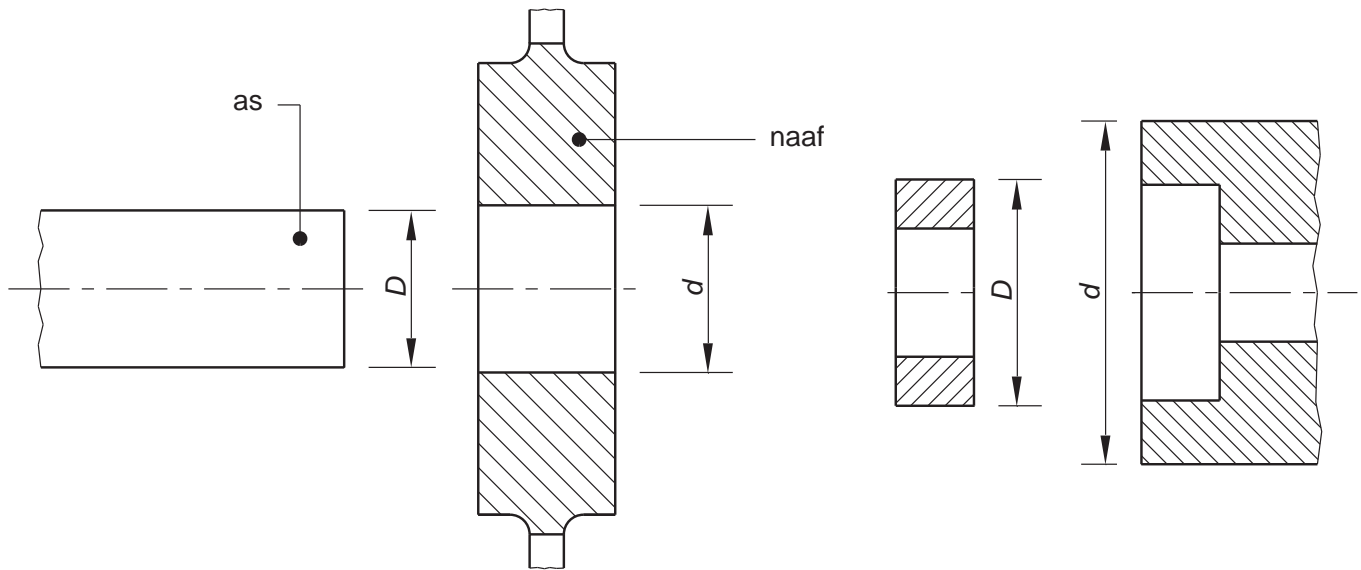
In figuur 1.26 is een bronzen tandkrans via een krimverbinding op een gietijzeren wiel bevestigd. Brons is veel duurder dan gietijzer. Economisch gezien is deze oplossing dus beter dan een geheel bronzen wiel.



Figuur 1.26 Bronzen tandkrans op gietijzeren wiel

Nog zo'n voorbeeld: op het gietijzeren loopwiel van de wielen onder een treinstel zit een gekrompen ring van slijtvast mangaanstaal.

Hoe sterk een krimp- en persverbinding is, hangt voor een belangrijk deel af van de juiste krimp- en persmaat. Dat is het maatverschil tussen de asmiddellijn en de inwendige middellijn van de naaf of ring. Zie figuur 1.27.



a warmkrimpen

b koudkrimpen

Figuur 1.27 Krimpmaat  $D-d$ 

Beide middellijnen moet je meten bij dezelfde omgevingstemperatuur.

Een te kleine krimp- en persmaat (een te klein maatverschil dus) geeft een onbetrouwbare, niet al te vaste verbinding.

Een te grote krimp- en persmaat geeft weliswaar een heel vaste verbinding, maar veroorzaakt ook een te hoge materiaalspanning in de ring. De ring kan dan gaan scheuren.

De krimp- en persmaat moet je zo kiezen, dat de trekspanning nooit boven de vloeigrens van het materiaal uitkomt.

#### 1.5.4 Krimp- en persmaat

In de praktijk druk je de krimpmaat voor verschillende materiaalcombinaties uit in een deel van de nominale middellijn  $d$ .

Als maximale waarden neem je bijvoorbeeld voor:

- gietijzer op staal:  $\left( \frac{1}{1200} \dots \frac{1}{800} \right) \cdot d$ ;
- staal of gietstaal op staal:  $\frac{1}{650} \cdot d$ ;
- staal of gietstaal op gietijzer:  $\frac{1}{750} \cdot d$ ;

### Voorbeeld

Je wilt een stalen ring met warmkrimpen op een stalen as van 100 mm krimpen. Voor de krimpmaat neem je dan  $\frac{1}{650}$  e deel van de nominale middellijn.

De krimpmaat wordt hiermee  $\frac{1}{650} \times 100 \text{ mm} = 0,153 \text{ mm}$ .

Bij een temperatuur van 18 °C in de werkplaats maak je de ring op een middellijn van  $d = D - \text{krimpmaat}$ , of  $d = 100 \text{ mm} - 0,153 \text{ mm} = 99,847 \text{ mm}$ . Om na te gaan tot welke temperatuur je de ring moet verhitten om deze met een montagespeling van bijvoorbeeld 0,3 mm over de as te kunnen schuiven, bereken je het gewenste middellijnverschil.

Het middellijnverschil  $\Delta d$  is de krimpmaat plus de montagespeling:

$$\Delta d = 0,3 \text{ mm} + 0,153 \text{ mm} = 0,453 \text{ mm}$$

Voor de bekende formule  $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$  kun je schrijven:

$$\Delta d = d \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Met:

- $\Delta d$  = het middellijnverschil, nodig voor de montage in mm;
- $d$  = de inwendige middellijn van de ring vóór de montage in mm;
- $\alpha$  = de lineaire uitzettingscoëfficiënt.

Als geldt  $\alpha_{\text{staal}} = \frac{12 \cdot 10^{-6} \text{ mm}}{\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}}$ , dan kun je het noodzakelijke temperatuurverschil als volgt berekenen:

$$0,453 \text{ mm} = 99,847 \text{ mm} \times 12 \cdot 10^{-6} \text{ mm}/(\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}) \times \Delta T$$

Of:

$$\Delta T = \frac{0,453 \text{ mm}}{99,847} \times \frac{10^{-6} \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C}}{12 \text{ mm}} = 378 \text{ }^\circ\text{C}$$

De temperatuur waartoe je de ring moet verhitten, is:

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 + \Delta T \\ T_2 &= 18 \text{ }^\circ\text{C} + 378 \text{ }^\circ\text{C} = 396 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Welke as-naafverbindingen je in verschillende situaties gebruikt, is afhankelijk van een groot aantal factoren. Zie tabel 1.5.

**TABEL 14.5 KEUZETABEL VOOR AS-NAAFVERBINDINGEN BIJ VERSCHILLENDE TOEPASSINGEN**

geschikt voor:	krachtverbindingen	niet-voorgespannen vormverbindingen	voorgespannen vormverbindingen	vaste verbindingen
kleine draaimomenten	klemverbinding met gespleten naaf; ringveerspanelementen; klemringverbinding	cilindrische pen; schijfspie	conische pen; kerfstift; spanstift	
draaimomenten voor één en twee draairichtingen	klemringverbinding ringveerspanelementen	vlakke inlegspie; cilindrische pen		pers- en krimpverbinding
grote en wisselende draaimomenten		getande as in combinatie met krimp- of persverbindingen		pers- en krimpverbinding met borging door middel van vlakke inlegspie
korte naaf bij groot draaimoment	klemringverbinding	getande as		
verschuifbare as of naaf		vlakke inlegspie met bevestigingschroeven; getande as		
losneembare naaf	klemverbinding met gespleten naaf; verbinding met conische klembus; ringveerspanelementen; klemringverbinding	vlakke inlegspie; getande as	naaf-asverbinding door middel van schroefdraad, geschikt voor één draairichting	
dunwandige naaf	klemringverbinding			

## 1.6 Kernpunten

We kunnen een verbinding tussen as en naaf tot stand te brengen:

- via krachtverbindingen;
- via vormverbindingen;
- door gebruik te maken van de elastische eigenschappen van het materiaal.

Bij een krachtverbinding oefenen we via een schroefverbinding een externe kracht op het element uit waardoor er een spankracht ontstaat. Bij een vormverbinding neemt het verbindingselement de kracht op om het moment over te brengen. Als we gebruik willen maken van de elasticiteit van het materiaal van de te verbinden delen, dan moeten we krimpen of persen.

Voorbeelden van krachtverbindingen zijn:

- ringveerspanelementen;
- klemringen;
- spansets;
- conische as en naaf;
- conische klembus.

Niet voorgespannen vormverbindingen zijn:

- vlakke inlegspie;
- schijfspie;
- spievertanding;
- cilindrische pennen.

Op voorgespannen verbindingselementen oefen je tijdens de montage een externe kracht uit. Deze kracht zorgt voor de spankracht om de verbinding tot stand te brengen. Voorgespannen verbindingselementen zijn:

- kopspieën;
- spanbussen;
- kerfpennen;
- conische pennen.

Vaste verbindingen waarbij de elastische eigenschappen van een metaal gebruikt worden zijn:

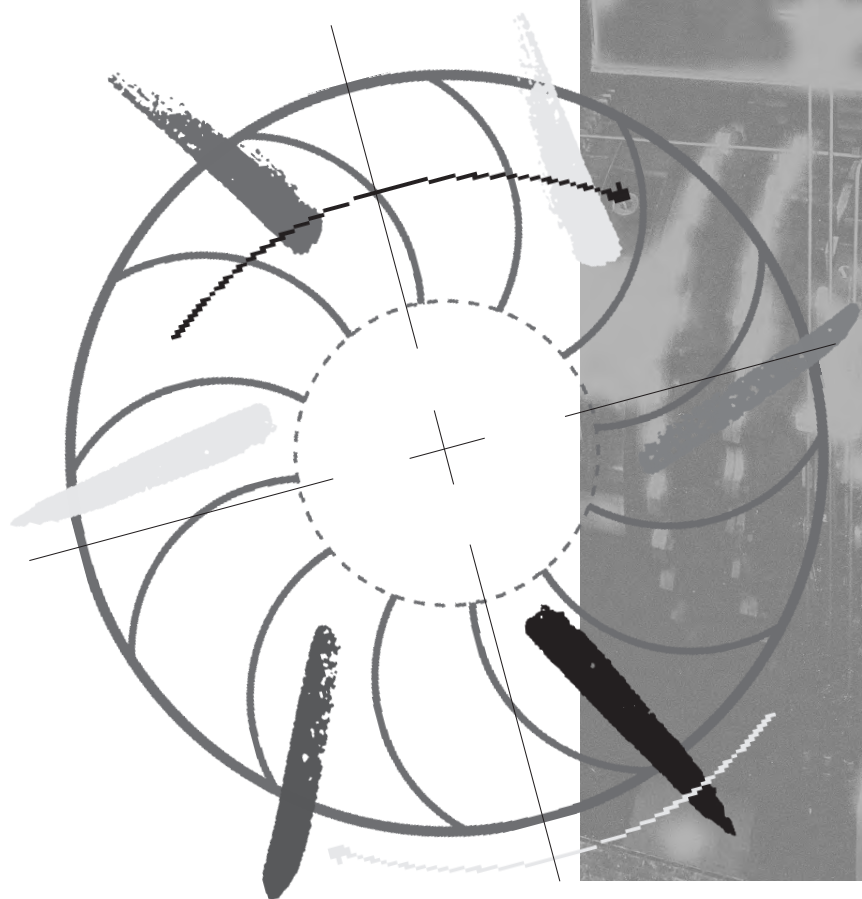
- warmkrimpen;
- koudkrimpen;
- persen.

Om een sterke krimpverbinding te maken moet je de juiste krimpmaat voor de materiaalcombinatie berekenen. Een goede krimpverbinding maak je op de volgende manier:

- 1 Bepaal de krimpmaat van de materiaalcombinatie als deel van de nominale middellijn.
- 2 Neem een montagespeling om de te verbinden delen goed over elkaar heen te kunnen schuiven.
- 3 Bepaal de inwendige middellijn van de te krimpen ring voor montage.
- 4 Bereken de benodigde temperatuurverhoging of verlaging om de vereiste middellijn te realiseren. *(houd hierbij rekening met de omgevingstemperatuur)*

# Askoppelingen

2



## 2.1 Inleiding

Voordat je wegrijdt met een brommer, een motor of een auto ontkoppel je en schakel je de eerste versnelling in. Zie figuur 2.1.



*Figuur 2.1 Versnellingsbak met koppeling*

Als de koppeling kapot gaat merk je pas hoe belangrijk koppelen is. Zonder koppeling is het veel moeilijker om te schakelen. De tandwielen van de versnellingsbak slijten ook te veel of gaan kapot.

Als constructeur kies je een koppeling voor een bepaalde aandrijving. Er zijn veel verschillende soorten koppelingen. In dit hoofdstuk lees je welke er zijn en waarvoor je ze kunt gebruiken.

## 2.2 Askoppelingen

Een askoppeling brengt een draaimoment of wringend moment over van de ene as op een andere. Daarbij draait de koppeling zelf mee. Andere functies van een askoppeling zijn:

- elastische vervormingen compenseren;
- schokken in de belasting opvangen;
- twee aseinden op elk gewenst moment verbinden met elkaar;
- het toerental begrenzen;
- het draaimoment begrenzen;
- zorgen dat het aandrijfelement kan aanlopen;
- het draaimoment in één draairichting overdragen.



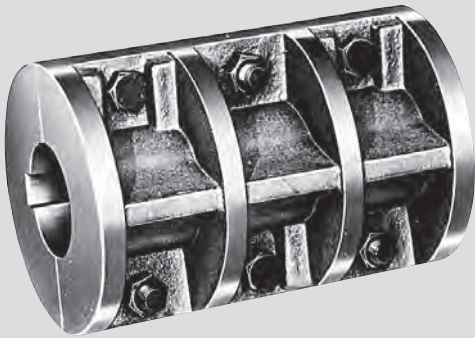
Voordat je een askoppeling kiest ga je na welke functie(s) de askoppeling krijgt. Daarbij geldt: hoe groter het aantal functies, hoe duurder de koppeling zal zijn. Op basis van de functie(s) kun je askoppelingen als volgt onderverdelen:

- vaste of starre koppelingen;
- flexibele koppelingen;
- elastisch-flexibele koppelingen;
- schakelbare koppelingen.

### **2.3 Vaste koppelingen**

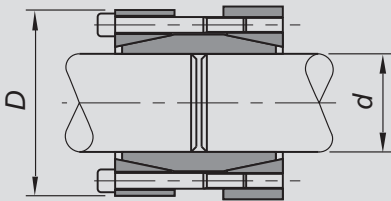
Vaste koppelingen zorgen voor een starre verbinding tussen twee aseinden. Daarvoor moeten de aseinden precies dezelfde middellijn hebben. Er worden hoge eisen gesteld aan de uitlijning en buigstijfheid. Verder zijn de toleranties van de middellijnen van de aseinden belangrijk. Een starre askoppeling is goed te gebruiken voor lange, dunne assen. Je moet de assen dan wel voldoende ondersteunen. In tabel 2.1 vind je vijf voorbeelden met een korte beschrijving.

TABEL 2.1 VASTE KOPPELINGEN



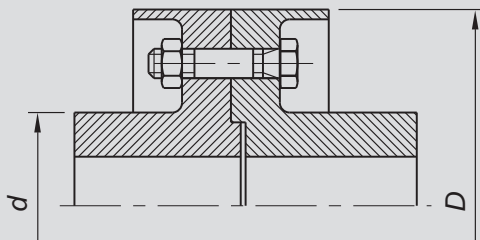
### Klembuskoppeling

Klembuskoppelingen hebben twee schalen die je met bouten om de twee aseinden klemt. Het draaimoment breng je over door wrijving tussen de schalen en de aseinden. Voor de veiligheid monteer je een vlakke inlegspie.



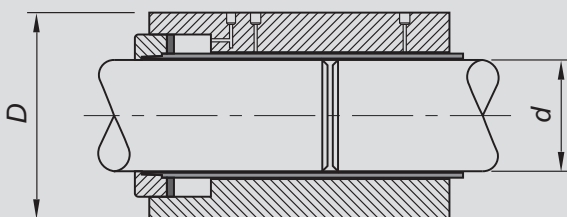
### Krimpbus met flenzen

Krimpbussen zijn conisch naar het midden toe en over de langsas gedeeld. De twee flenzen met een conisch gat zijn door bouten verbonden. De klemkracht breng je aan door de bouten aan te draaien waardoor de middellijn van de bus kleiner wordt.



### Vaste koppeling met flenzen

De flenzen zijn met vlakke inlegspieën op de aseinden bevestigd. Ze hebben een centreerrand, of er zit een centreerring tussen. Je zet ze met pasbouten aan elkaar.



### Hydraulische krimpbuskoppeling

Hydraulische krimpbuskoppelingen bestaan uit een krimpbus met een uitwendige en een klembus met inwendige conus. Tussen deze conussen wordt bij montage een oliefilm aangebracht, om de weerstand te verkleinen. De klembus wordt met hydraulische kracht over de krimpbus geperst, waardoor de klemkracht ontstaat. Deze koppeling wordt toegepast bij zware assen van bijvoorbeeld scheepsschroeven.

## 2.4 Flexibele koppelingen

Een flexibele koppeling kan zonder grote reactiekrachten kleine afwijkingen opvangen in de uitlijning van gekoppelde aseinden. Daarmee voorkom je een te grote buigspanning van de assen en een te grote radiale belasting van de lagers. Welk type flexibele koppeling je kiest, hangt af van de grootte van de uitlijnafwijking. Als de te verbinden aseinden scheef staan, is er sprake van een *ashoekfout*. Zie figuur 2.2a.



a ashoekfout

b radiale fout

Figuur 2.2 Uitlijnfouten

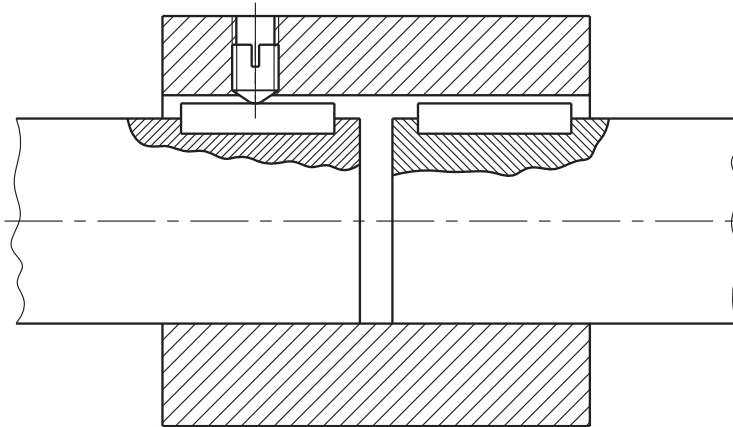
De afgebeelde ashoekafwijking treedt op als de assen doorbuigen of als de montage onnauwkeurig is. Als de assen verschoven zijn ten opzichte van elkaar spreken we van een *radiale fout*. Zie figuur 2.2b.

Bij een flexibele koppeling is er geen hoekverdraaiing tussen de aseinden mogelijk. De (kunststof of stalen) delen van de koppeling zijn namelijk vormvast.

Veel voorkomende flexibele koppelingen zijn:

- tandkoppelingen;
- kettingkoppelingen;
- verenkoppelingen;
- lamellenkoppelingen;
- balgkoppelingen.

In figuur 2.3 zie je een buskoppeling met inlegspieën. Deze koppeling laat alleen een axiale afwijking van de assen toe. Die ontstaat onder andere door temperatuurveranderingen (bij lange assen).



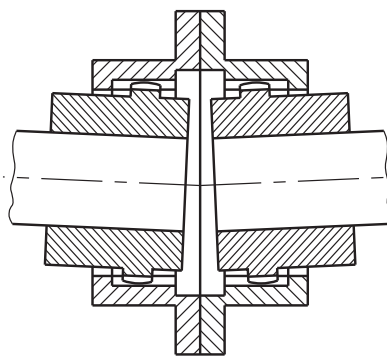
Figuur 2.3 Buskoppeling met spieën

### 2.4.1 Tandkoppeling

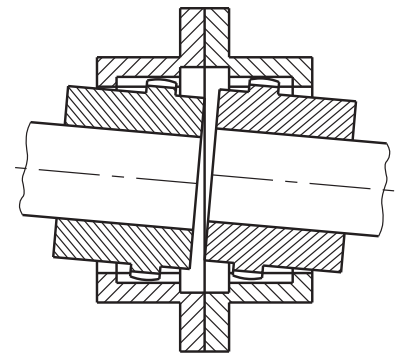
Bij een tandkoppeling hebben de naafdelen gewelfde tanden aan de top en in de breedte. De mantel heeft een inwendige vertanding. Zie figuur 2.4.



a aanzicht



b tandvorm



c parallele afwijking assen

Figuur 2.4 Tandkoppeling

Deze koppeling compenseert alle genoemde uitlijnfouten. Daarbij is geen hoekverdraaiing van de aseinden mogelijk. Tandkoppelingen worden gebruikt op plaatsen waar hoekafwijkingen ontstaan. Bijvoorbeeld op plaatsen waar de assen doorbuigen (zoals bij walswerktuigen).

### 2.4.2 Kettingkoppeling

Een kettingkoppeling bestaat uit twee helften. Beide helften hebben een vertanding. Een ketting verbindt de helften, waardoor het moment kan worden overgebracht. Zie figuur 2.4.



*Figuur 2.4 kettingkoppeling*

### 2.4.3 Verenkoppeling

Bij een verenkoppeling zijn de beide koppelingshelften voorzien van gleuven. Door deze gleuven is een platte veer gevlochten die de helften verbindt. Zie figuur 2.5.



*Figuur 2.5 Verenkoppeling*

### 2.4.4 Lamellenkoppeling

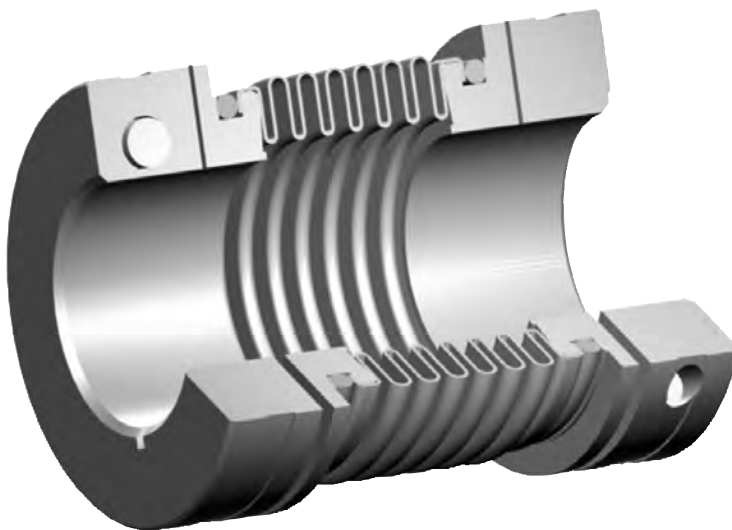
Een lamellenkoppeling is opgebouwd uit drie delen. Het tussenstuk is via een flensverbinding gekoppeld aan beide koppelingshelften. Tussen de flenzen zit een speciale plaat die geen torsie toelaat. De plaat laat echter wel een hoekafwijking toe tussen de beide koppelingshelften. Zie figuur 2.6.



*Figuur 2.6 Lamellenkoppeling*

### 2.4.5 Balgkoppeling

Bij een balgkoppeling zijn beide koppelingshelften verbonden door een stalen balg. Deze balg is torsiestijf, maar compenseert wel de ashoekfout en de radiale uitlijnfout. Zie figuur 2.7.



*Figuur 2.7 Balgkoppeling*

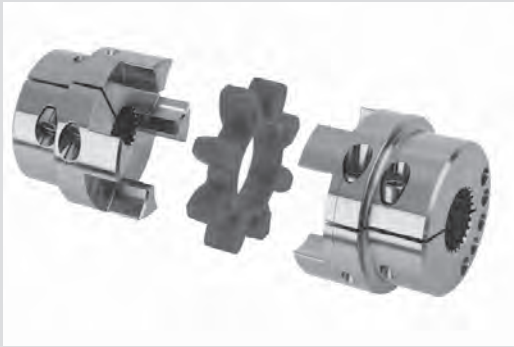
## 2.5 Elastische koppelingen

De functies van elastische koppelingen zijn:

- compenseren van plotseling optredende schokken in het over te brengen draaimoment;
- trillingen dempen die ontstaan als het over te brengen draaimoment verandert;
- trillingen dempen in een lastwerktuig.

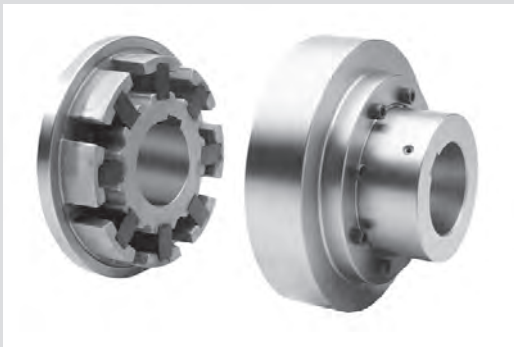
Door hun constructie zijn de meeste elastische koppelingen flexibel. Daardoor zijn ook langsverschuivingen, dwarsverschuivingen en/of scheefstand van de assen beperkt mogelijk. Een elastische koppeling laat bovendien een kleine hoekverdraaiing tussen de aseinden toe. Elastische koppelingen kun je in allerlei uitvoeringen kopen. Zie tabel 2.2.

**TABEL 2.2 ELASTISCHE KOPPELINGEN**



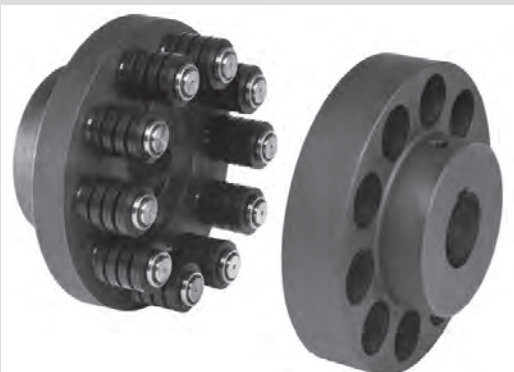
#### **Rotex klauwkoppeling**

Onderhoudsvrije koppeling en eenvoudige plug-in montage. Vangt belastingschokken moeiteloos op en compenseert axiale- en radiale uitlijnfouten en hoekfouten. Deze koppeling is ondanks zijn kleine afmetingen in staat om koppels tot 70.000 N · m over te brengen.



#### **Polykoppeling**

De polykoppeling is goed inzetbaar in de machinebouw vanwege zijn compacte inbouw lengte. Kenmerkend is het grote aantal flexibele elementen om schokken en torsieafwijkingen elastisch op te vangen. De koppeling is onderhoudsvrij en geschikt voor draaimomenten tot 65.000 N · m.



#### **Revolex penkoppeling**

Het moment van deze koppeling wordt overgebracht door een aantal stalen pennen in de omtrek. De elasticiteit wordt geleverd door bufferbussen om deze pennen. De koppeling wordt gebruikt in de algemene machinebouw en in de pomp industrie. De koppeling is in een aantal afmetingen te leveren en kan momenten tot 380.000 N · m overbrengen.



#### **Monolastic**

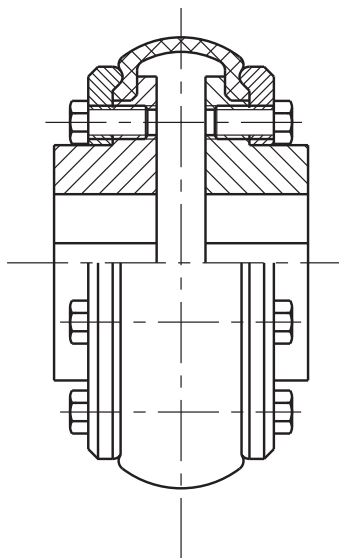
De koppeling is uit een stuk en aan een kant voorzien van een flensaansluiting. Een ge vulcaniseerde rubberschijf verbindt de flens met een naaf met een gehard stalen inwendige vertanding. Hierdoor ontstaat een axiale stekkeraansluiting. De koppeling wordt gebruikt voor motoren tot 100 kW en hydrauliekpompen. Het toerental is maximaal 6000 omw/min.

## 2.6 Hoogelastische koppelingen

Elastische koppelingen verschillen van elkaar door de hoekverdraaiing die ze toestaan. Bij hoog- of superelastische koppelingen is de toelaatbare hoekverdraaiing erg groot.

### 2.6.1 Bandkoppeling

Bij de bandkoppeling verbindt een overdwers gedeelde kunststof- of rubberband de beide helften. Omdat de band bevestigd is door flenzen is hij gemakkelijk te verwisselen. Zie figuur 2.8.



Figuur 2.8 Hoogelastische bandkoppeling

### 2.6.2 Hoogelastische flenskoppeling

Hoogelastische koppelingen zijn er ook in flensuitvoering. Het hoogelastische deel is een rubberen schijf met aan de ene kant een bevestigingsflens en aan de andere kant een inwendig vertande schijf. Dit vormt samen een koppelingshelft. De andere helft grijpt met zijn uitwendige vertanding in de schijf. Zie figuur 2.9.





Figuur 2.9 Hoogelastische flens koppeling

## 2.7 Schakelbare koppelingen

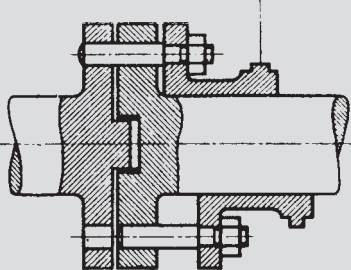
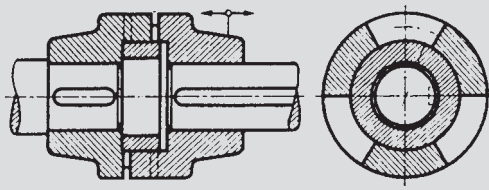
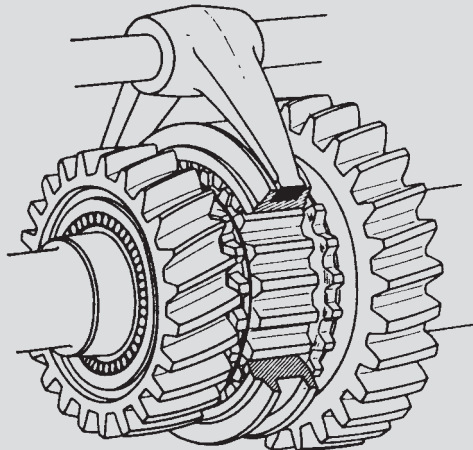
Je hebt een schakelmechanisme nodig om een koppeling in- en uit te schakelen. Qua constructie kun je schakelbare koppelingen verdelen in:

- mechanisch passende koppelingen: schakelbaar door mechanisch in elkaar passende delen;
- wrijvingskoppelingen: brengen het draaimoment over door wrijving;
- vloeistofkoppelingen: brengen het moment over door hydrodynamica;
- zelfschakelende koppelingen;
- elektromagnetische koppelingen.

### 2.7.1 Mechanisch passende koppelingen

Schakelbare koppelingen met mechanisch passende delen hebben een nadeel: de te schakelen assen moeten gesynchroniseerd zijn. Dat wil zeggen: beide assen moeten stilstaan of hetzelfde toerental hebben. Ook moeten ze een bepaalde positie innemen ten opzichte van elkaar. Zie tabel 2.3.

TABEL 2.3 VORMVASTE SCHAKELBARE KOPPELINGEN

	<p><b>Schakelbare koppeling met pennen</b> De schakelmof is verschuifbaar in axiale richting. De koppeling is alleen bij stilstand in te schakelen.</p>
	<p><b>Schakelbare klauwkoppeling met centreerring</b> Elke koppelingshelft heeft drie klauwen, die om en om passen. Eén van de koppelingshelften moet axiaal verschuifbaar zijn.</p>
	<p><b>Tandschakelkoppeling (drijfwerk vrachtauto)</b> De schakelring heeft inwendige vertanding. Een kleine verplaatsing naar links of rechts laat óf het linker- óf het rechtertandwiel meedraaien met het middelste tandwiel.</p>

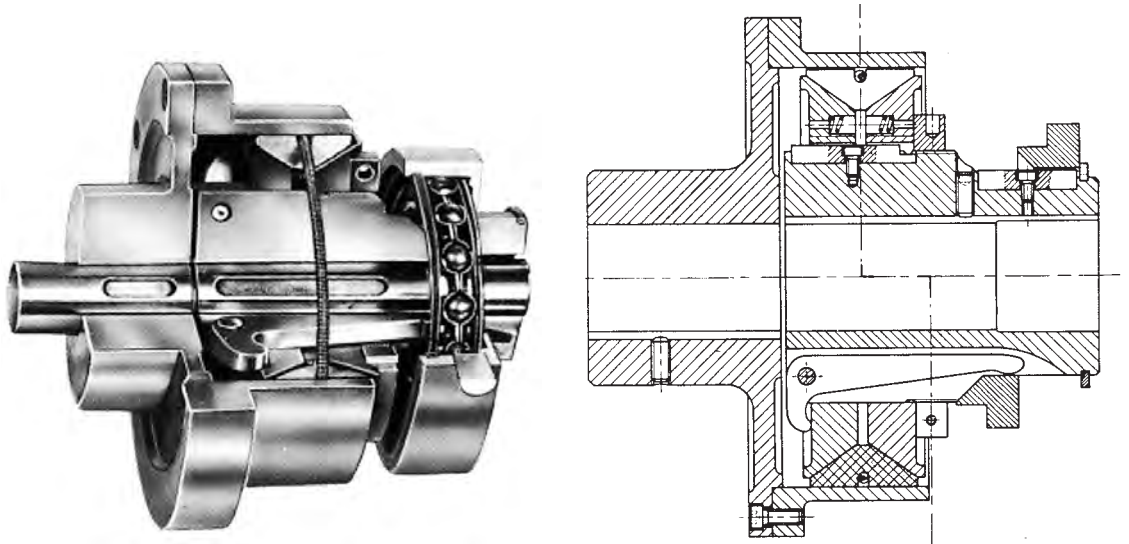
## 2.7.2 Wrijvingskoppelingen

Bij wrijvingskoppelingen wordt het draaimoment overgebracht door wrijving. Deze wrijving kunnen we opwekken tussen een ring en trommel of tussen lamellen (koppelingsplaten) onderling.

### Conax-koppeling

Een Conax-koppeling heeft een cilindrische trommel, twee conische drukschijven en een wrijvingsring van zes segmenten. De twee drukschijven drukken de wrijvingsring tegen de binnenkant van de trommel. Zie figuur 2.10.

Eén drukschijf kun je nastellen met een stelring. Drie hefboomen drukken de andere drukschijf gelijkmatig aan. Een cilindrische trekveer houdt de segmenten bij elkaar. Deze veer zorgt er ook voor dat de segmenten vrij komen te liggen van de trommel als je de koppeling uitschakelt. De hefboomen zorgen voor de inschakelkracht.



Figuur 2.10 Conax-koppeling

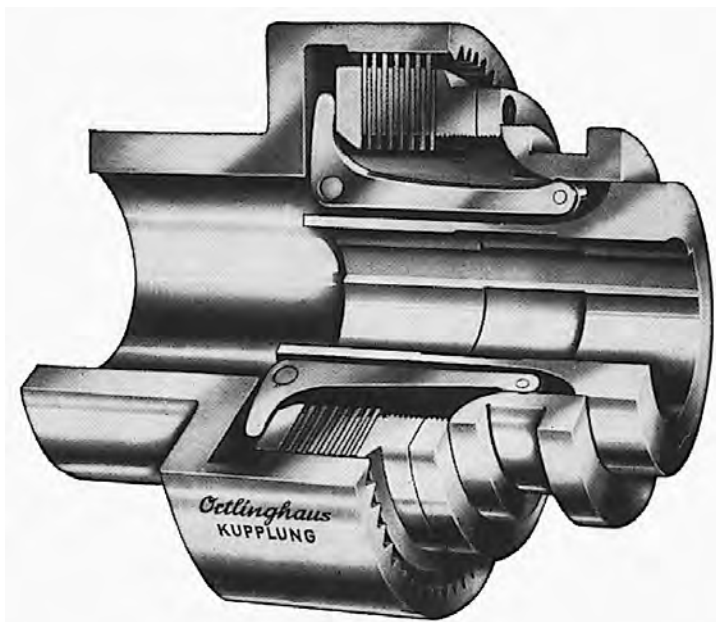
De koppeling is zo geconstrueerd dat er tussen de trommel en de buitenomtrek van de drukschijven slip kan optreden.

### Platenkoppeling

Bij een platen- of lamellenkoppeling wordt het moment overgebracht door wrijving tussen een aantal lamellen of koppelingsplaten. De onderlinge wrijving wordt opgewekt door een normaalkracht op de platen uit te oefenen.

De normaalkracht wordt via een *drukgroep* overgebracht door veerdruk, maar kan ook pneumatisch of hydraulisch tot stand komen.

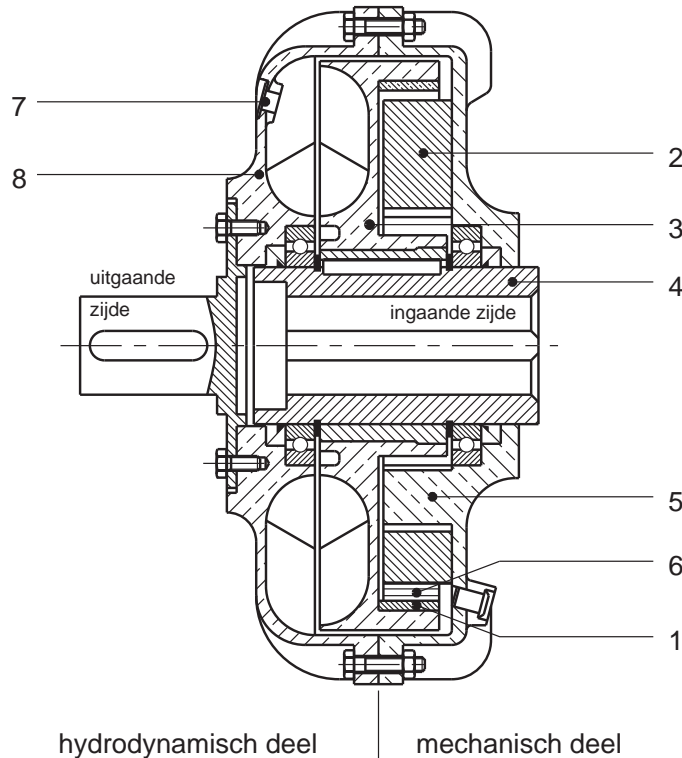
Dit type koppeling wordt veel gebruikt als het aangedreven wiel rustig moet aanlopen. De koppeling van een auto of brommer is een wrijvingskoppeling. Zie figuur 2.11.



Figuur 2.11 Platenkoppeling

### 2.7.3 Vloeistofkoppeling

Een vloeistofkoppeling werkt volgens het hydrodynamische principe.  
Zie figuur 16.12.



Figuur 2.12 Vloeistofkoppeling

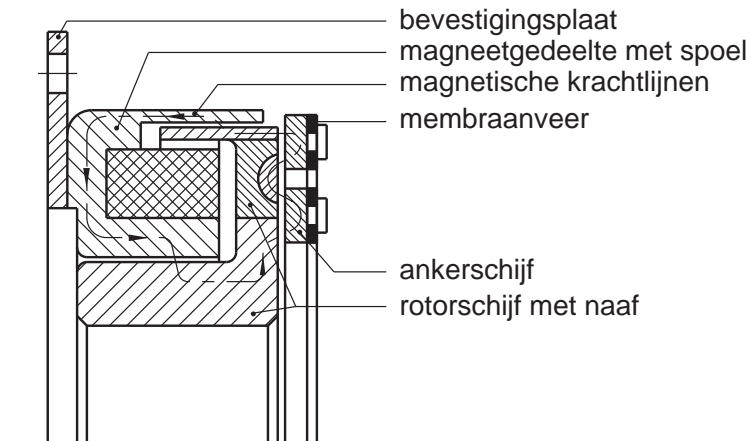
Als de aandrijving start drukt de centrifugaalkracht de rollen (6) via de vlieggewichten (2) in de holtes van de loopring (1). Het pompwiel (3) wordt meegenomen en de vloeistof wordt via de schoepen naar de omtrek geduwd. Bij voldoende drukopbouw verplaatst de vloeistof zich via de schoepen van het turbinewiel (8) naar het hart van de koppeling. Het turbinewiel gaat hierdoor draaien. Omdat de uitgaande as is verbonden met dit turbinedeel gaat deze ook draaien. Bij de uitlaat van de turbineschoepen wordt de vloeistof weer meegenomen in de inlaat van de schoepen van het pompwiel. Als de gedreven as blokkeert (door een oorzaak van buitenaf) zet dat alle mechanische energie in de vloeistofkoppeling om in warmte. De temperatuur van de vloeistof stijgt hierdoor, zodat de smeltplug (7) smelt. De vloeistof kan dan wegvloeien, wat de verbinding verbreekt. De smeltplug dient dus als beveiliging tegen overbelasting van de koppeling.

De vloeistofkoppeling is alleen elastisch (niet flexibel) en de elasticiteit kan 100 % zijn. Dit houdt in dat we het uitgaande moment kunnen laten aanlopen vanuit nul. Omdat een vloeistofkoppeling niet flexibel is, bouw je haar altijd in met een koppeling die wel flexibel of flexibel-elastisch is.

De meeste vloeistofkoppelingen worden gecombineerd met een zelfschakelend deel. We spreken dan van een hydro-mechanische koppeling.

### 2.7.4 Elektromagnetische koppelingen

Elektromagnetische koppelingen maken gebruik van een magnetisch veld. Bij het bekrachtigen van de magneten schakelt je de koppeling in of uit. Zie figuur 2.13.



Figuur 2.13 Sleefringloze elektromagnetische koppeling

### 2.7.5 Zelfschakelende koppelingen

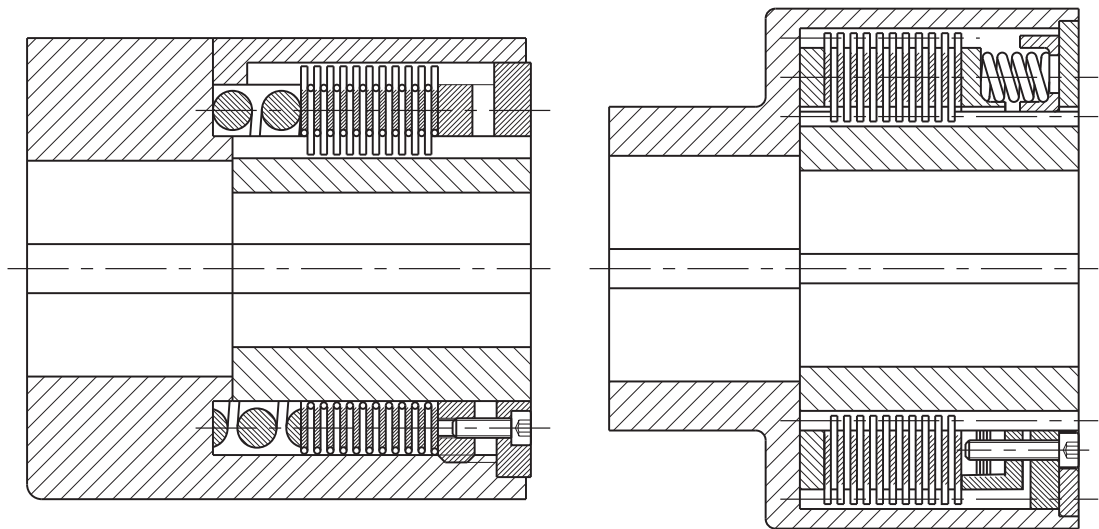
Zelfschakelende koppelingen kunnen inschakelen wanneer een vooraf ingestelde kracht of ingesteld toerental wordt bereikt.

#### Maximaalkoppelingen

Een elektromotor heeft meestal een groter vermogen dan noodzakelijk is voor het aandrijven van een machine. Het nadeel daarvan is, dat het aanloopkoppel ongeveer tweemaal zo groot is als het nominaal over te brengen koppel.

Daardoor kan de aan te drijven machine beschadigen.

Om dat te voorkomen, kun je in de aandrijving een *maximaal-* of *slipkoppeling* opnemen. De meeste maximaalkoppelingen zijn *lamellenkoppelingen*. Eén of meer kleine drukveren leveren de aandrukkracht. Het draaimoment begrenst je door de voorspanning van de veer in te stellen. Dat gebeurt met stelbouten die de drukring verplaatsen. Zie figuur 2.14.



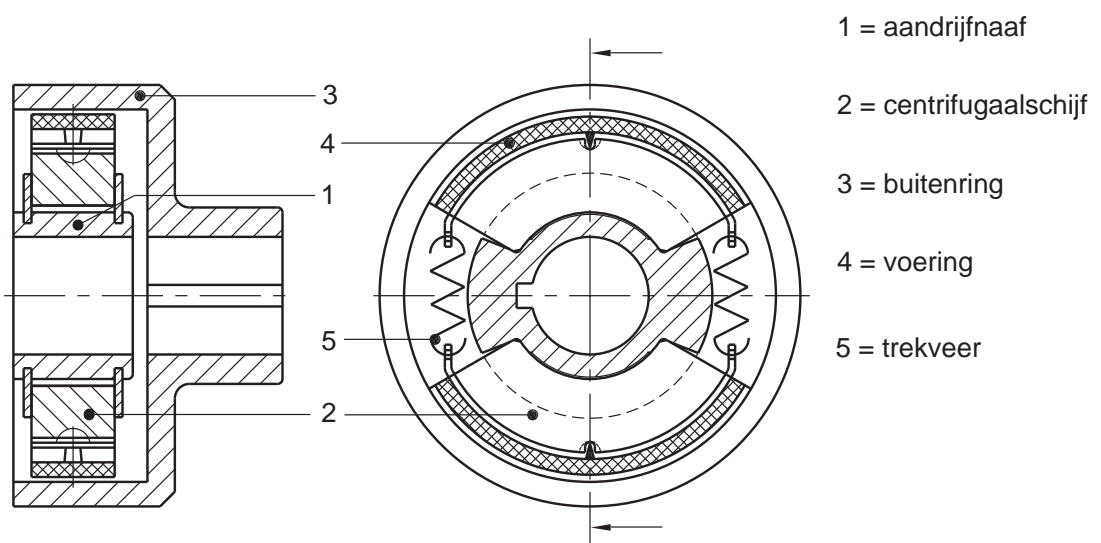
a met één drukveer

b met een aantal drukveren

Figuur 2.14 Slipkoppeling

### Toerentalgestuurde koppeling

Bij een centrifugaalkoppeling worden op de aandrijfzijde twee of meer beweegbare schalen geplaatst. Zie figuur 2.15.



Figuur 2.15 Centrifugaalkoppeling

Als de aandrijfnaaf (1) gaat draaien bewegen de schalen (2) door de centrifugaalkracht naar buiten. Ze oefenen daarbij een normaalkracht uit op de buitenring (1) van de andere koppelingshelft. Doordat de platen aan de omtrek voorzien zijn van een voering (4) met een hoog wrijvingscoëfficiënt, ontstaat er een grote wrijvingskracht. Als deze voldoende groot is zal de tweede koppelingshelft gaan meedraaien. Bij een laag toerental trekken veren (5) de schalen vrij van de ring. De wrijvingskracht is dus direct afhankelijk van het toerental van de drijvende machine of motor.

Deze koppelingen worden toegepast in machines waarbij een hoog startkoppel nodig is om op te starten. Ze worden daarom toegepast bij aandrijvingen van centrifuges, cementmolens en lange zware transportbanden.

## 2.8 Veiligheidskoppelingen

Er zijn grote verschillen in werking en doel van veiligheidskoppelingen. Soms dienen ze om te voorkomen dat een overbrenging in beide richtingen kan worden overgebracht. Ze blokkeren dan een draairichting. Andere koppelingen gaan slippen als een bepaald maximaal vermogen wordt bereikt. Ook zijn er koppelingen die door een kleine verdraaiing een signaalgever in werking stellen die de aandrijving uitschakelt. De meest simpele uitvoering is een flenskoppeling met bouten waarin een veiligheidskerf is aangebracht. De bouten breken zodra het een maximaal over te brengen moment wordt overschreden. Daarna kan de koppeling zonder schade nog lang onbelast doorlopen. Deze veiligheidskoppelingen beschermen een overbrenging tegen overbelasting.

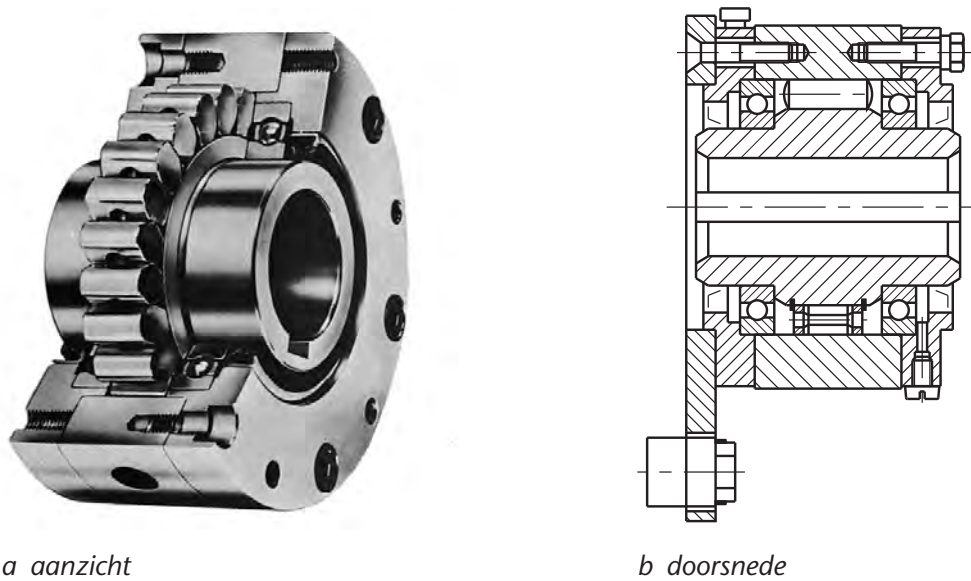
### 2.8.1 Vrijlooppoppelingen

Vrijlooppoppelingen zijn koppelingen die het over te brengen draaimoment slechts in één draairichting overdragen. Je gebruikt ze vooral als je producten op een lastwerktuig stapsgewijs moet verplaatsen. Een vrijlooppoppeling bestaat uit:

- een binnenring;
- een buitenring;
- rol-, klem- of kantelementen tussen de beide ringen;
- een bevestigingsplaat.

Bij een vrijlooppoppeling met kantelementen ordent een spiraalveer de elementen over de omtrek. Zie figuur 2.16.



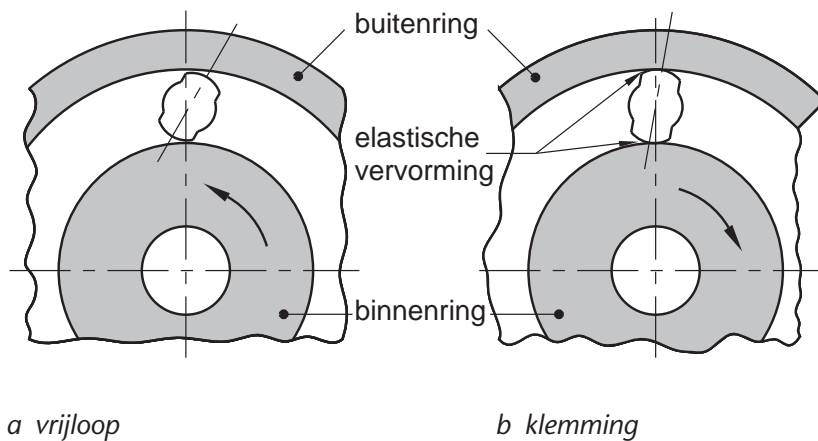


a aanzicht

b doorsnede

Figuur 2.16 Vrijloopp koppeling met kantelementen

Als de relatieve draairichting van de binnenring ten opzichte van de buitenring *linksom* is, kantelen de kantelementen. Er wordt dan geen draaimoment overgebracht. Zie figuur 2.17.



a vrijloop

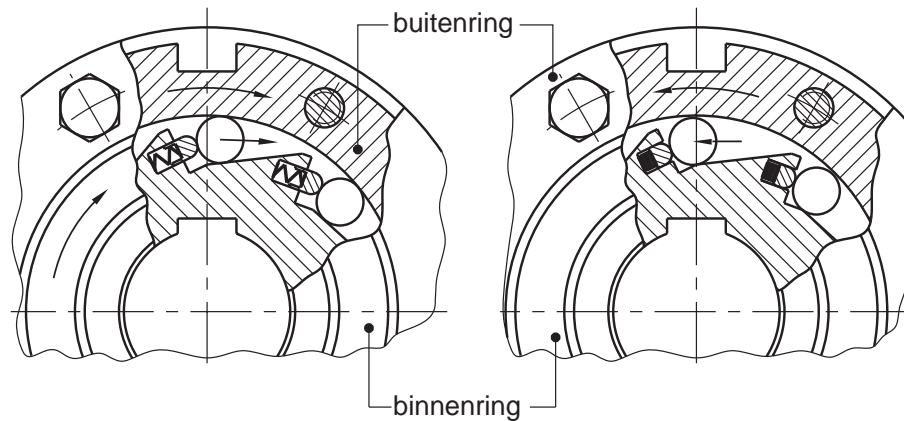
b klemming

Figuur 2.17 Principe vrijloopp koppeling met kantelementen

Is de relatieve draairichting *rechtsom*, dan komen de kantelementen klem te zitten tussen de binnen- en buitenring. Op dat moment kan de koppeling het vereiste draaimoment overbrengen.

Er zijn ook vrijloopp koppelingen met rollen. Een veer belast de rollen met een kleine aandrukkracht. Zie figuur 2.18.





a klemming

b vrijloop

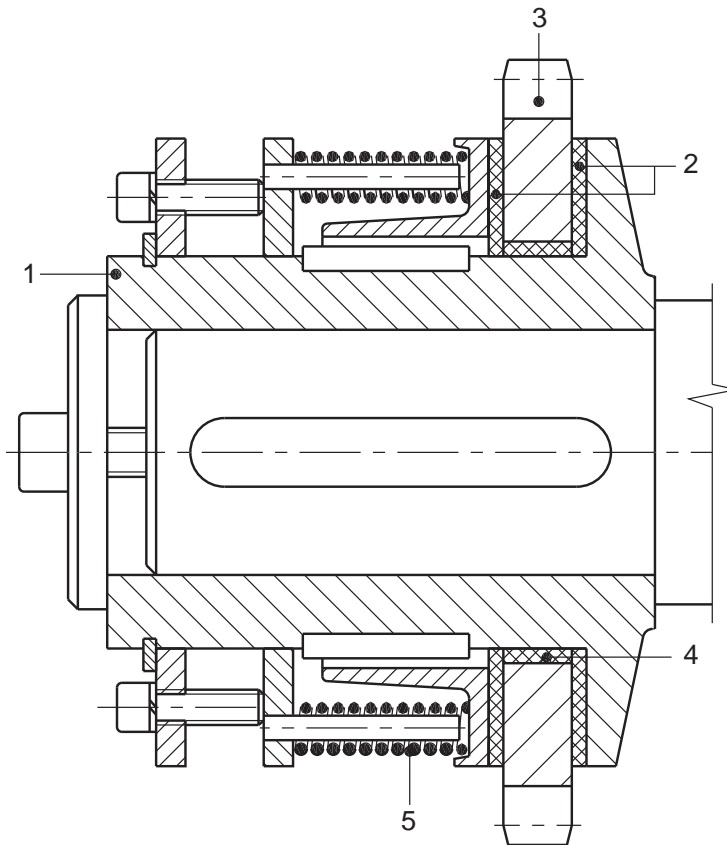
Figuur 2.18 Principe vrijlooppkoppeling met rolelementen

Als de binnenring draait (zoals in figuur 2.18) wordt de rol in de wigvormige ruimte gedreven. Doordat de rollen tussen de binnen- en buitenring worden geklemd, ontstaat er een over te dragen draaimoment. De binnenring draait in dezelfde richting als de buitenring. Als de buitenring door omschakeling in een andere richting gaat draaien, gaan de kogels uit de wigvorm naar een grotere ruimte. Dan kan de binnenring vrij van de buitenring in een andere richting draaien.

### 2.8.2 Tweevlaks veiligheidskoppeling

In figuur 2.19 zie je dat bij deze koppeling het aandrijfelement (3) (een kettingwiel of riemschijf) tussen twee wrijvingsplaten (2) direct op de naaf (1) is gemonteerd. De naaf is met een spiebaan op de aandrijfas gemonteerd.

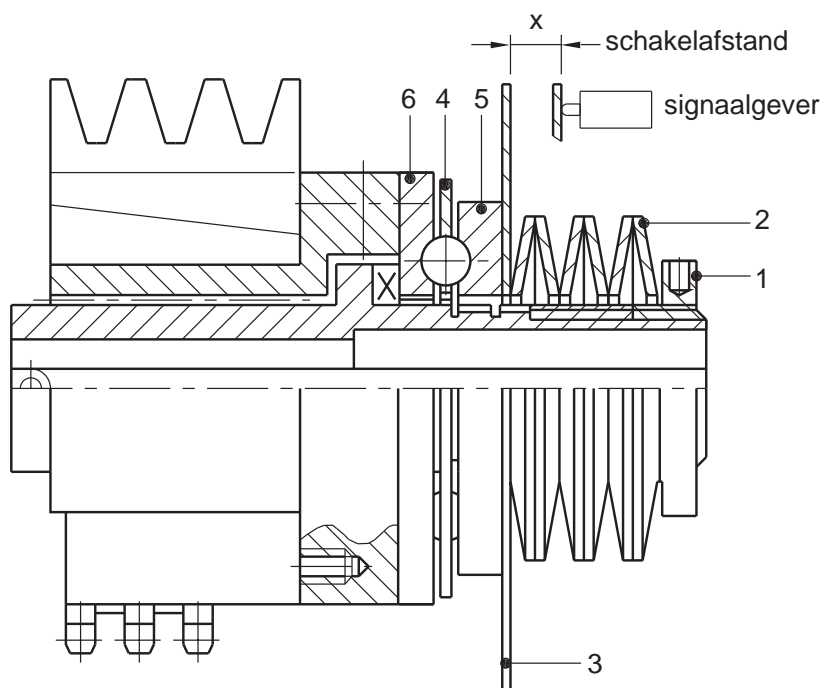
De veren worden met een aantal bouten via een ring op spanning gezet. Via een drukschijf wordt een normaalkracht op de wrijvingsplaten uitgeoefend. Als het moment op het aandrijfelement van de overbrenging te groot wordt, gaat deze slippen tussen de wrijvingsplaten. Als de warmte die hierbij ontstaat te groot wordt moeten er maatregelen genomen worden. Deze koppeling kan zonder slip aanlopen.



Figuur 2.19 Tweevlaks veiligheidskoppeling

### 2.8.3 Blokkeer-veiligheidskoppeling

Bij deze krachtgesloten koppeling werken kogels of pennen als blokkeerlichaam. Zie figuur 2.20.



Figuur 2.20 Blokkeer-veiligheidskoppeling

In de flenzen (5) en (6) zitten uitsparingen waarin een aantal blokkeerlichamen (meestal kogels) zijn opgesloten. De kogels worden over een vaste afstand over de omtrek verdeeld door een schijf (4). Als we de moer (1) aandraaien zetten we de veer (2) op spanning. Deze spanning zorgt ervoor dat een moment kan worden overgebracht. Als het moment op de overbrenging te groot wordt verdraaien de flenzen één kogelafstand ten opzichte van elkaar. De schijf (3) verdraait en bedient een signaalgever, die de motor stopt.

## 2.9 Kernpunten

Askoppelingen brengen een draaimoment over van de ene as op een andere. Er zijn:

- vaste koppelingen;
- flexibele koppelingen;
- elastische koppelingen;
- schakelbare koppelingen;
- veiligheidskoppelingen.

Als je een vaste koppeling wilt gebruiken moet de uitlijning van de assen optimaal zijn. Je kunt kiezen voor klembussen, krimpbussen en flens-koppelingen.

Met een flexibele koppeling kun je zowel radiale uitlijnfouten als hoekafwijkingen opvangen. Je kunt kiezen voor tandkoppelingen, kettingkoppelingen, verenkoppelingen, lamellenkoppelingen en balgkoppelingen.

We gebruiken een elastische koppeling als we trillingen, stotende belastingen, aanloopieken of torsie willen compenseren. Elastische koppelingen zijn ook flexibel. Voorbeelden van elastische koppelingen zijn:

- Rotex klauwkoppeling;
- Revolex penkoppeling;
- Poly-koppeling;
- Monolastic flens-koppeling.

Een hoogelastische koppeling gebruik je als een koppeling erg veel torsie moet kunnen opvangen. Bekende hoogelastische koppelingen zijn de bandkoppeling en de elastische flens-koppeling.

Een schakelbare koppeling gebruik je als je de aandrijving wilt kunnen in- of uitschakelen zonder de motor uit te schakelen.

Bij mechanisch passende koppelingen is inschakelen alleen mogelijk als de assen hetzelfde toerental hebben of stilstaan. Hierbij is een extern schakelmechanisme nodig.

Als je een aandrijving tijdens bedrijf wilt inschakelen gebruik je:

- wrijvingskoppelingen;
- vloeistofkoppelingen;
- elektromagnetische koppelingen.

Zelfschakelende koppelingen schakelen in bij een bepaald toerental.

Een maximaalkoppeling schakelt in als een vooraf ingesteld koppel is bereikt.

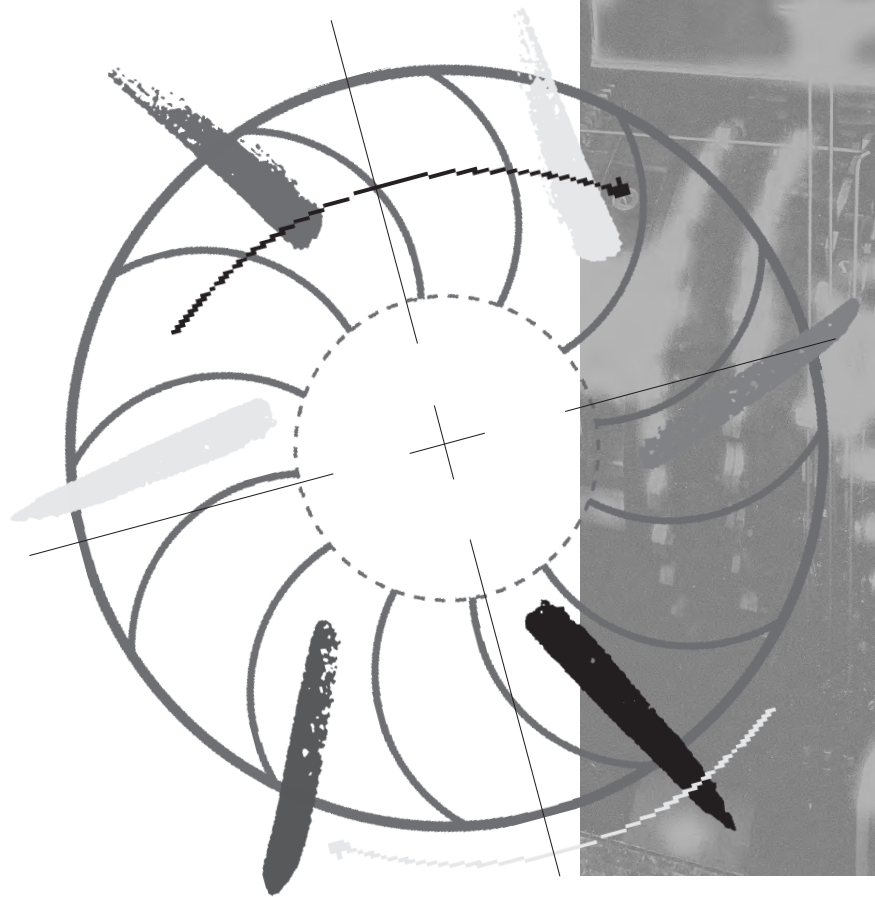
Een vrijloopkoppeling is een veiligheidskoppeling met één draairichting.

Bij een tweevlaks veiligheidskoppeling gaat een aangedreven kettingwiel of V-riem slippen als een vooringesteld moment wordt overschreden.

Een blokkerende veiligheidskoppeling schakelt de aandrijving uit als een vooringesteld moment wordt bereikt.

# Assen

3



### 3.1 Inleiding

Er zijn assen in verschillende maten en uitvoeringen. De as van een transportkarretje heeft natuurlijk andere kenmerken dan de as van een treinstel. Zie figuur 3.1.

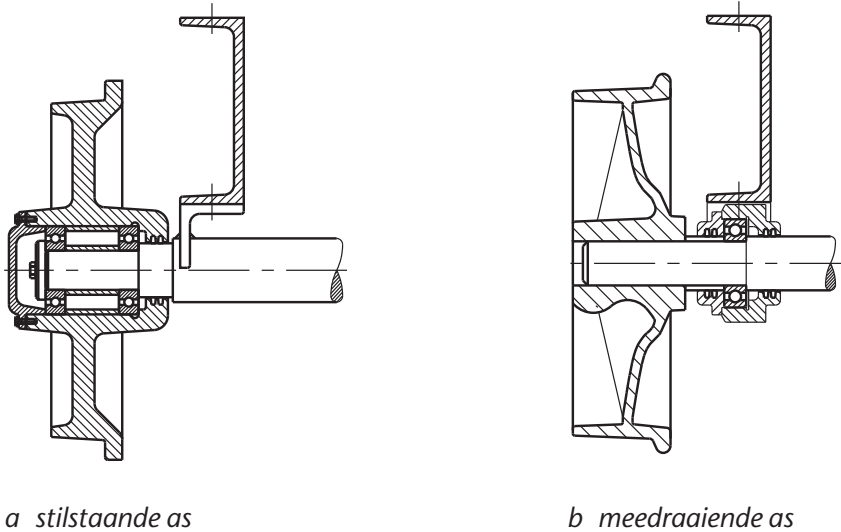


Figuur 3.1 Verschillende assen

De afmetingen en de vorm van een as worden bepaald door de belasting op en de beweging van de as. Moet de as alleen een constructie dragen, of wil je er ook een beweging mee overbrengen? Misschien zijn beide functies belangrijk? Verder speelt ook de veiligheid een grote rol bij het ontwerpen van een as. In dit hoofdstuk gaan we in op de verschillende vormen en toepassingen van assen.

### 3.2 Draagassen

Draagassen worden gebruikt voor de ondersteuning en lagering van stilstaande of ronddraaiende machinedelen. Ze worden ook veel gebruikt voor het dragen van constructies. Zie figuur 3.2.



a stilstaande as

b meedraaiende as

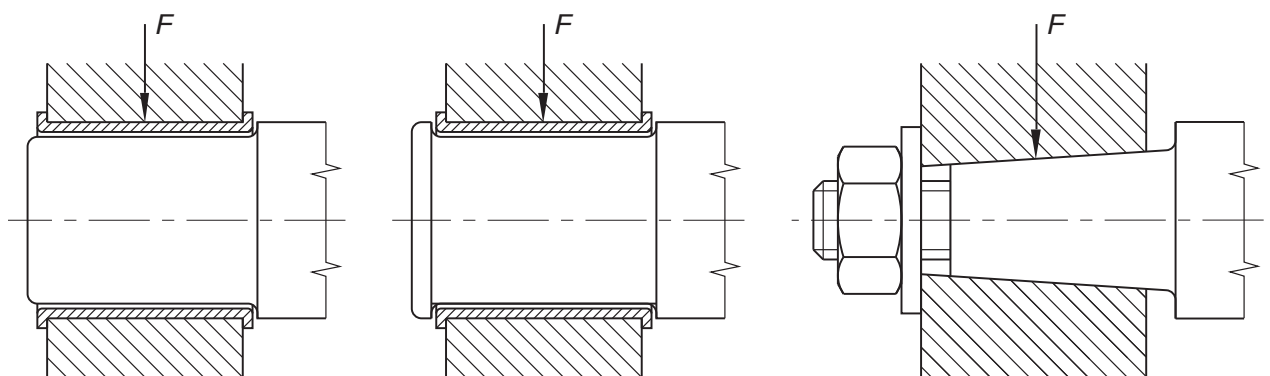
Figuur 3.2 Draagassen

Er zijn twee soorten draagassen:

- stilstaande draagassen;
- meedraaiende of roterende draagassen.

Een stilstaande draagas wordt vast bevestigd aan de constructie. De machinedelen (bijvoorbeeld loopwielen of kabelschijven) worden gelagerd op de as bevestigd. De machinedelen draaien dus om de stilstaande as. Zie figuur 3.2a.

Bij een meedraaiende draagas worden de machinedelen vast op de as gemonteerd. De as bevestig je gelagerd op de constructie. De machinedelen draaien dus samen met de as rond in de asondersteuning. Zie figuur 3.2b. De aseinden van de draagas zijn voorzien van astappen, waarmee de as in de ondersteuning wordt bevestigd. Zie figuur 3.3 en figuur 3.4.

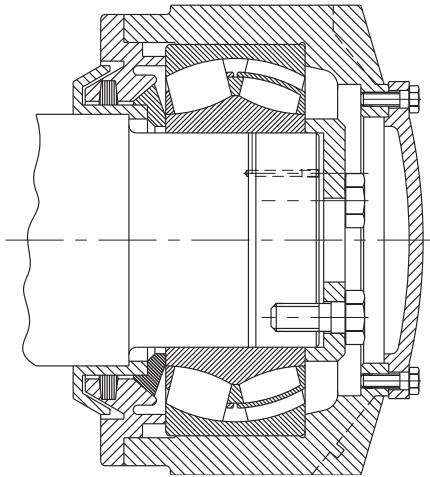


a cilindrische astap

b cilindrische ashals

c conische astap

Figuur 3.3 Astappen



Figuur 3.4 Astap met lager

### 3.3 Overbrengingsassen

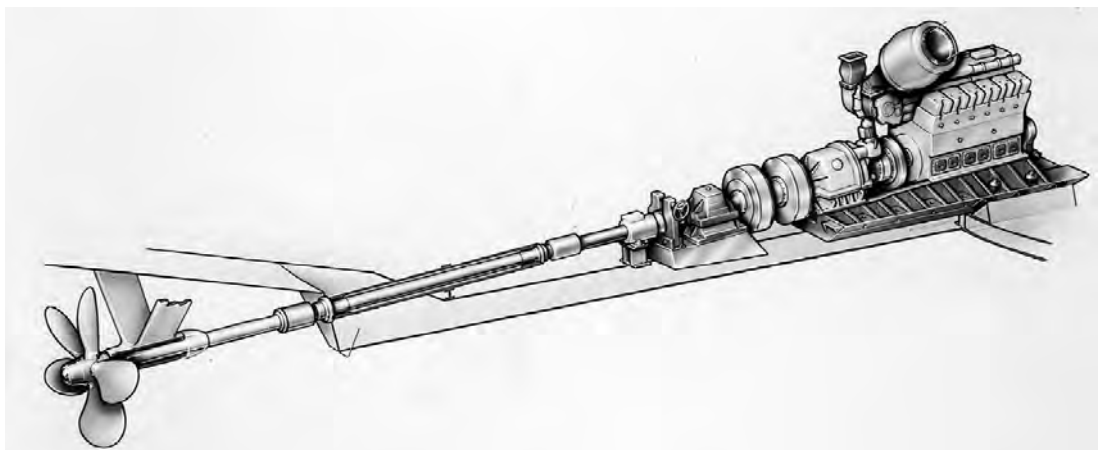
Overbrengingsassen brengen het draaimoment over tussen verschillende werktuigen of delen van werktuigen. We noemen overbrengingsassen daarom ook wel *transmissie-* of *aandrijfassen*.

In de praktijk kom je de volgende overbrengingsassen tegen:

- aandrijfassen;
- tussenassen;
- flexibele assen;
- buigzame assen.

#### 3.3.1 Aandrijfassen

Aandrijfassen drijven meestal direct vanaf de motor een apparaat of toestel aan. Denk bijvoorbeeld aan pompen, compressoren en schroefassen van schepen. De as ligt in één lijn met het hart van de motor en het hart van het toestel. Zie figuur 3.5.

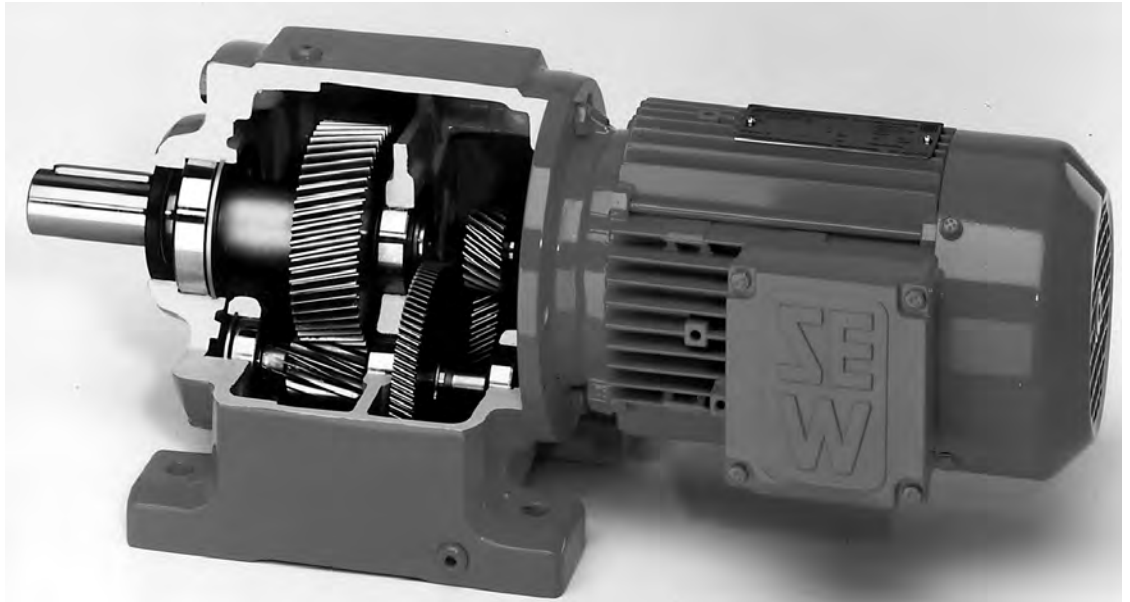


Figuur 3.5 Schroefas



### 3.3.2 Tussenassen

Tussenassen worden gebruikt als het aandrijfkoppel en het toerental van de motor moeten worden aangepast aan het apparaat dat aangedreven wordt. Tussenassen zien we vooral in tandwielkasten van motoren. Zie figuur 3.6.



Figuur 3.6 Overbrengingsassen in de tandwielkast van een motorreductor

Ook in versnellingsbakken en gereedschapswerktuigen vinden we tussenassen. De assen liggen meestal parallel aan elkaar. Bij een wormwieloverbrenging staan de tussenassen onder een hoek van  $90^\circ$ .

### 3.3.3 Flexibele assen

Flexibele of scharnierende assen noemen we ook wel *cardanassen*. Ze worden gebruikt als de assen van een aandrijving niet in een lijn liggen. Een flexibele as heeft aan beide zijden een koppeling. De as is uitschuifbaar en heeft een spievertanding, zodat je de lengte kunt variëren. Zie figuur 3.7.



a kogelkoppelingen

Figuur 3.7 Flexibele of scharnierende assen



*b kruiskoppelingen*

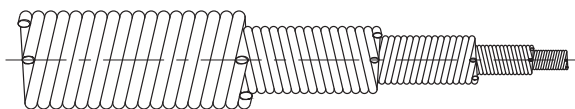


*c cardankoppelingen*

*Figuur 3.7 Flexibele of scharnierende assen (vervolg)*

### 3.3.4 Buigzame assen

Buigzame assen bestaan uit schroefvormig gewonden staaldraden. De draden zijn in verschillende lagen met tegengestelde slagrichting over elkaar gewikkeld. De as draait in een beschermende metalen flexibele huls. Zie figuur 3.8.



*Figuur 3.8 Opbouw van een buigzame as*

Buigzame assen kunnen kleine vermogens overdragen. Je gebruikt ze bijvoorbeeld om roterende apparatuur op moeilijk bereikbare plaatsen aan te drijven. Zie figuur 3.9.



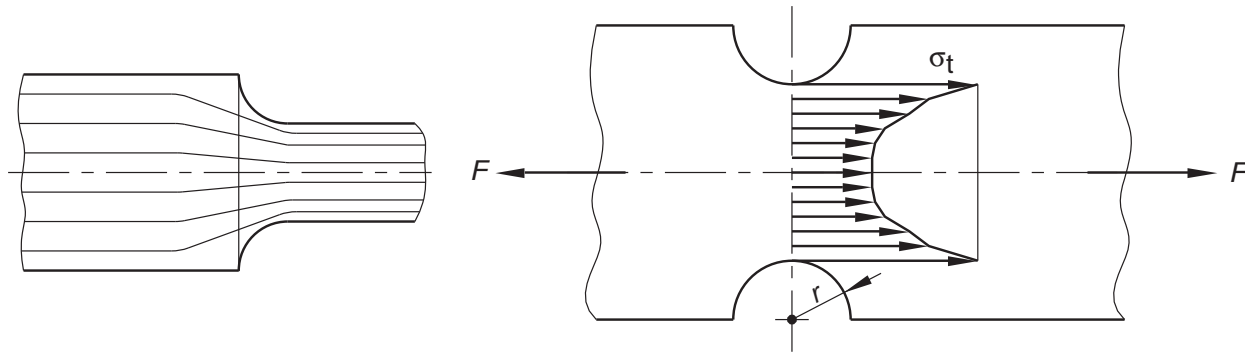
*Figuur 3.9 Buigzame as*

In de catalogus van de leverancier vind je informatie over het over te dragen vermogen, het toelaatbaar wringend moment, het hoogste toerental en de kleinste krommingradius.

### **3.4 Invloed van vormverandering bij assen**

Als je een as met astappen construeert, moet je proberen de middellijn van de as overal gelijk te houden. Dat is echter niet altijd mogelijk. Op de plaats van de asondersteuning wordt de as meestal dunner.

Ook bij het aanbrengen van spiegleuven, groeven of inkepingen (bijvoorbeeld in een as-naafverbinding) verander je de vorm van de as. Zo'n vormverandering veroorzaakt ter plekke een spanningsverhoging in het materiaal van de as (spanningsconcentraties). Daardoor wordt de as zwakker. Zie figuur 3.10.

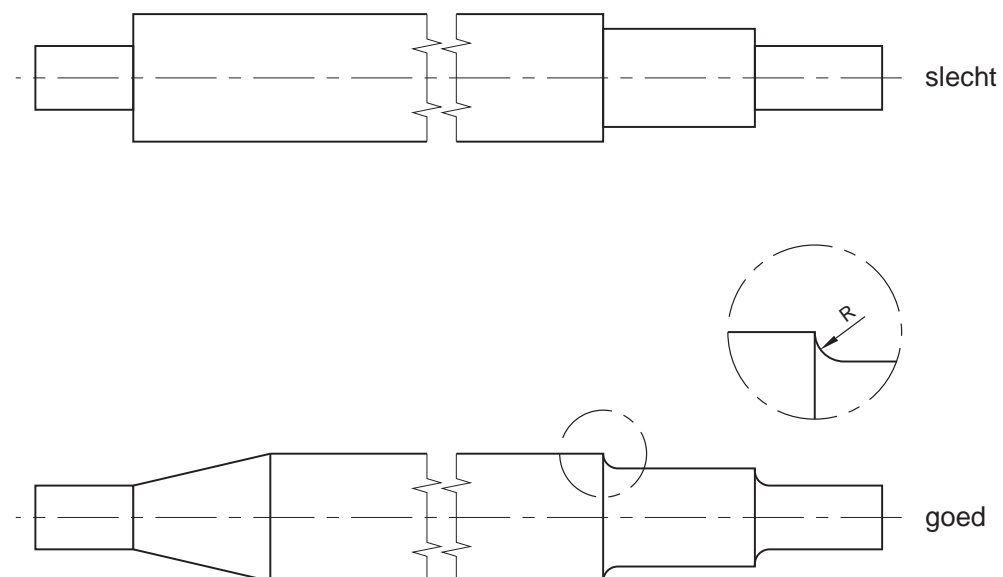


Figuur 3.10 Spanningsconcentraties

Spanningsverhoging door afrondingen, verdikkingen, groeven, inkepingen (kerfen) noemen we *kerfwerking*. Vooral wisselend belaste onderdelen gaan minder lang mee door kerfwerking. De kerf wordt een scheur die uiteindelijk een breuk veroorzaakt.

Staalsoorten met een hoge treksterkte zijn gevoeliger voor kerfwerking dan staalsoorten met een lage treksterkte. Om kerfwerking bij een as zoveel mogelijk te beperken moet je:

- de omtrek van de assen zo glad mogelijk draaien;
- alle scherpe overgangen en hoeken afronden met een zo groot mogelijke straal. Zie figuur 3.11.



Figuur 3.11 Asovergangen

### 3.5 Kernpunten

Er zijn draagassen en overbrengingsassen (of transmissie- of aandrijfassen).

Je kunt draagassen vast aan de constructie bevestigen of draaibaar.

Als je een draagas draaiend aan de constructie bevestigt, monteer je het machinedeel vast op de as.

Je monteert een draaiende as met astappen in de lagers van asondersteuning.

Aandrijfassen worden gebruikt als de motor en het toestel in elkaars verlengde liggen.

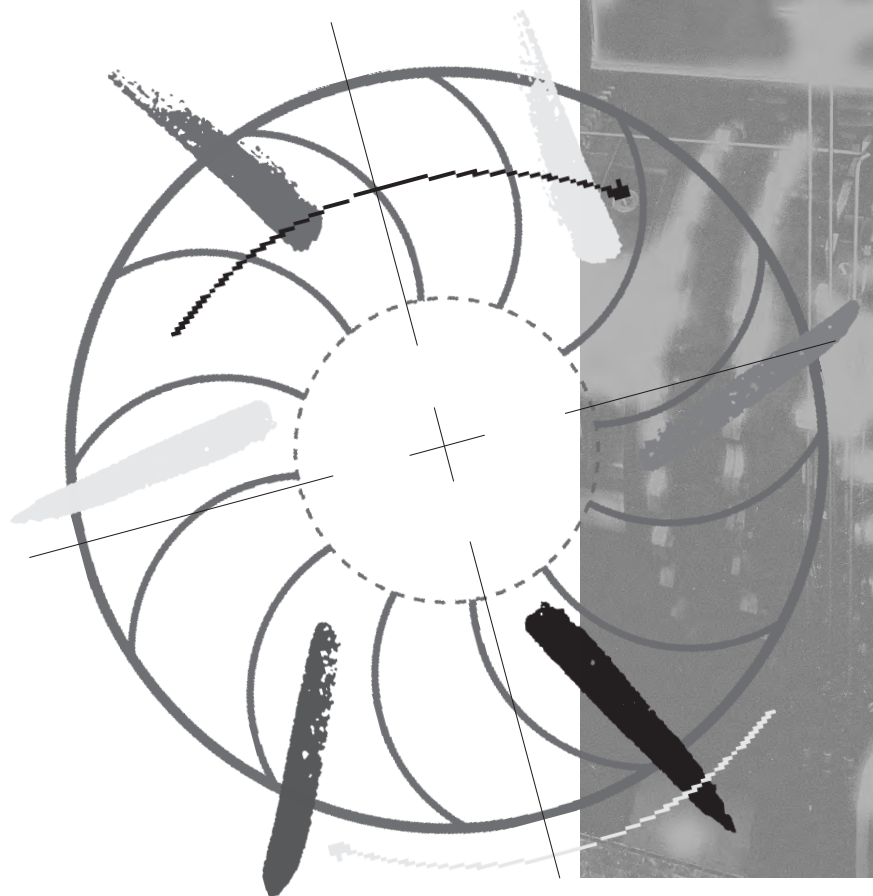
Tussenassen worden gebruikt in tandwielkasten en bij gereedschapswerktuigen.

Flexibele assen noem je ook wel scharnierende assen of cardanassen. Flexibele assen bestaan uit een uitschuifbare as met een spievertanding en aan elk eind een koppeling.



# Glijlagers

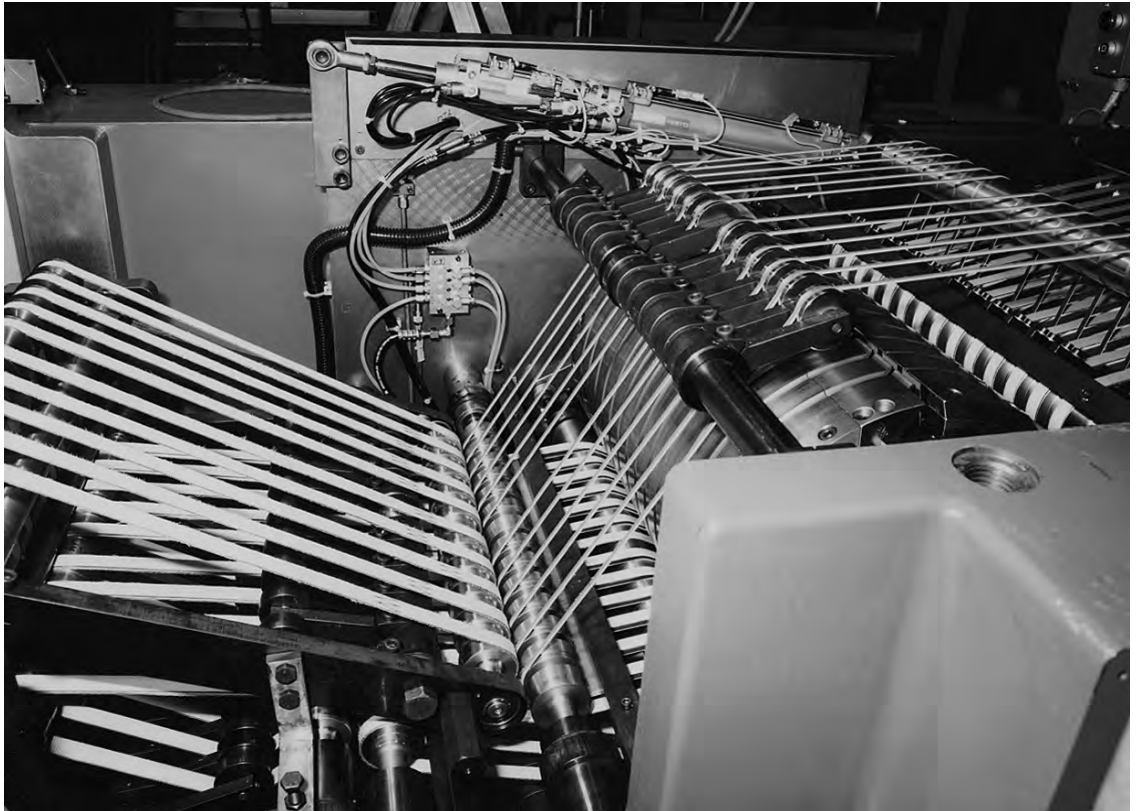
4





## 4.1 Inleiding

Bij het woord *lagers* denken veel mensen aan kogellagers. Glijlagers ken je misschien helemaal niet. Toch kom je glijlagers veel in de praktijk tegen. Kijk maar eens naar de papiergeleiding van een printer of kopieerapparaat.



*Figuur 4.1 Papiergeleiding van een kopieerapparaat*

In dit hoofdstuk leer je waar je glijlagers toepast en waar je op moet letten als je een bepaald type glijlager kiest.

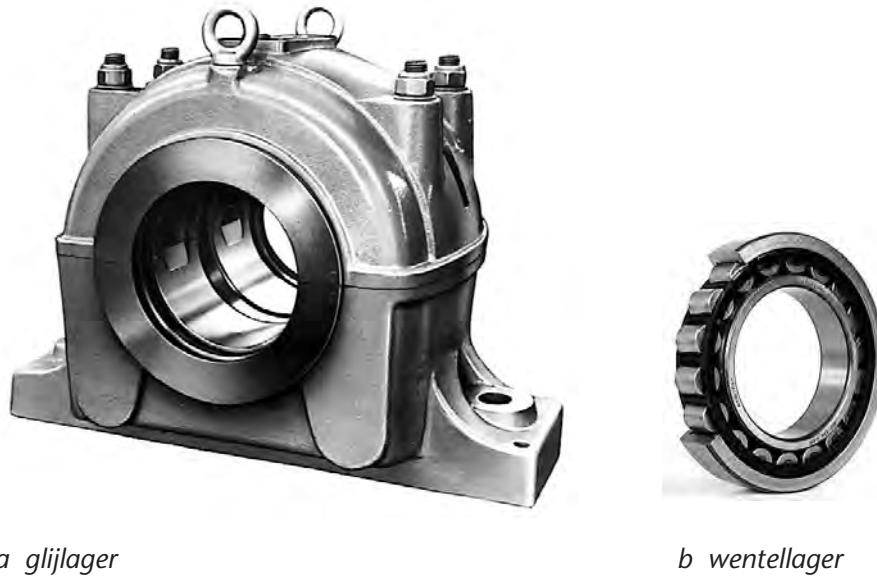
## 4.2 Asondersteuning met glijlagers

Lagers (of asondersteuning) zijn bedoeld om draaiende onderdelen te dragen. Ze zijn verdeeld in twee groepen:

- glijlagers;
- wentellagers.

Zie figuur 4.2.





a glijlager

b wentellager

Figuur 4.2 Lagers

Een glijlager bestaat uit een lagerbus of twee lagerschalen. De astap draait in de lagerbus of in de lagerschalen. De lagerbussen of lagerschalen passen in een kussen- of lagerblok. Zie figuur 4.2a.

Het belangrijkste kenmerk van glijlagers is dat de astap en de lagerbus langs elkaar glijden. Door hun relatief grote draagvlak, de samenstelling van het lagermateriaal en de smering, zijn glijlagers stoot- en trillingdempend. Een nadeel van glijlagers is dat de aanloopweerstand en de wrijving in het lager groot zijn.

Glijlagers gebruik je bij zware dynamische belastingen en op plaatsen waar wentellagers moeilijk of niet verwisseld kunnen worden. Bijvoorbeeld bij:

- krukassen;
- schroefassen van schepen;
- zuigerpennen;
- zware drijfwerkassen.

Glijlagers gebruik je ook vanwege hun eenvoudige, goedkope constructie en kleine radiale afmetingen.

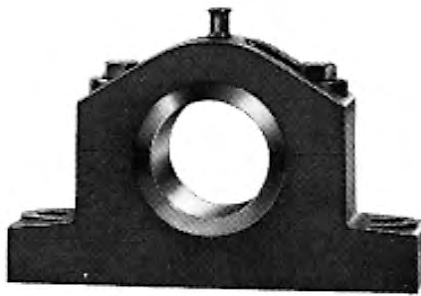
### 4.3 Constructies van glijlagers

De lagerbussen of lagerschalen van glijlagers zijn gemaakt van brons, witmetaal of kunststof. Het lagerblok is van gietijzer of gietstaal. Je hebt ook gietijzeren schalen met een laagje witmetaal. Er zijn vier verschillende glijlagerconstructies:

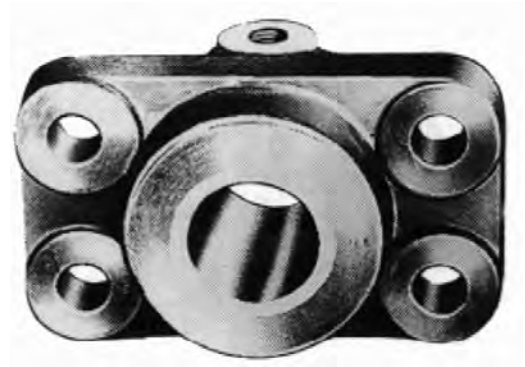
- ongedeeld glijlagerblok;
- gedeeld glijlagerblok;
- zelfinstellend glijlager;
- axiaal glijlager.

### 4.3.1 Ongedeeld glijlagerblok

De eenvoudigste en goedkoopste glijlagerconstructie is het ongedeeld glijlagerblok. De lagerbus wordt bij deze constructie aangebracht in een oog- of flensblok. Zie figuur 4.3.



*a oogblok*

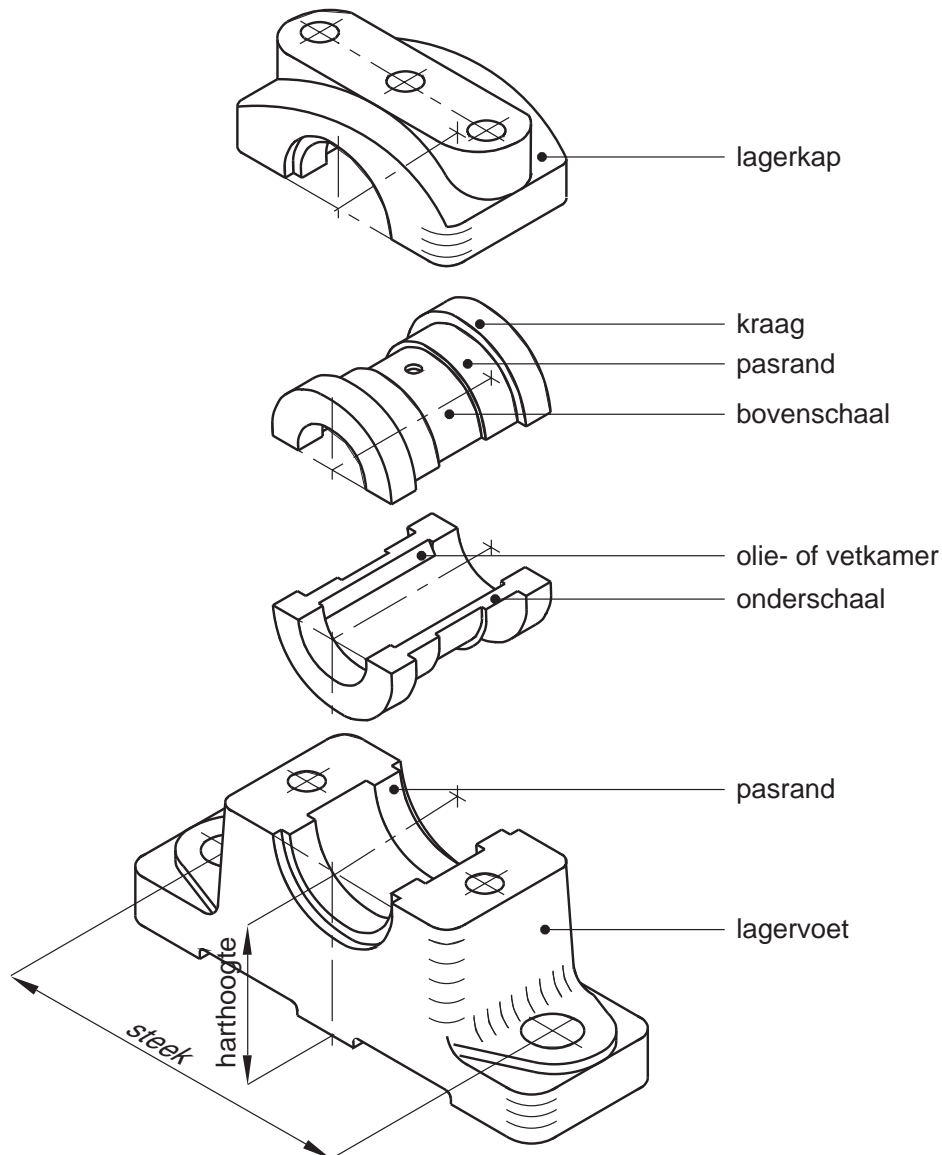


*b flensblok*

*Figuur 4.3 Glijlagerblokken*

### 4.3.2 Gedeeld glijlagerblok

Een lagerschaal is eigenlijk een gedeelde lagerbus. Het gedeeld glijlager bestaat uit een onder- en een bovenschaal. De onderschaal rust in de lagervoet. De bovenschaal wordt afgesloten door de lagerkap. Zie figuur 4.4.



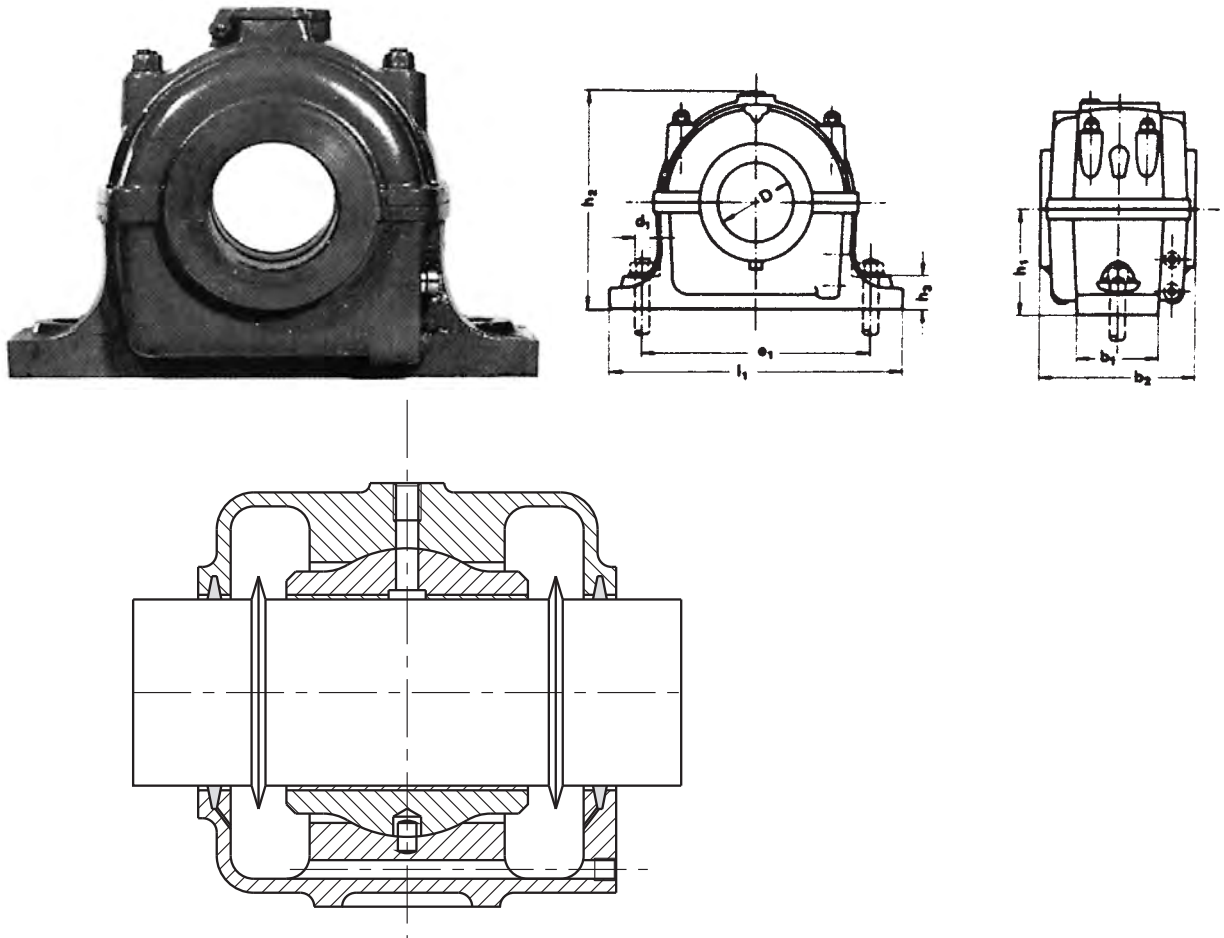
Figuur 4.4 Gedeeld glijlagerblok

De uiteinden van de lagerschalen hebben een kraag. Die zorgt ervoor dat de schalen niet gaan schuiven in het lagerblok. Aan de binnenkant van de lagerschalen zitten *smeergroeven* om het smeermiddel (olie of vet) gelijkmatig te verdelen.

Het voordeel van een tweedelig lagerblok is dat je het op elke gewenste plaats kunt monteren. Je hoeft daarbij geen obstakels op de as weg te halen.

### 4.3.3 Zelfinstellend glijlager

Een zelfinstellend glijlager gebruik je bij lange assen die door kunnen buigen. Zie figuur 4.5.

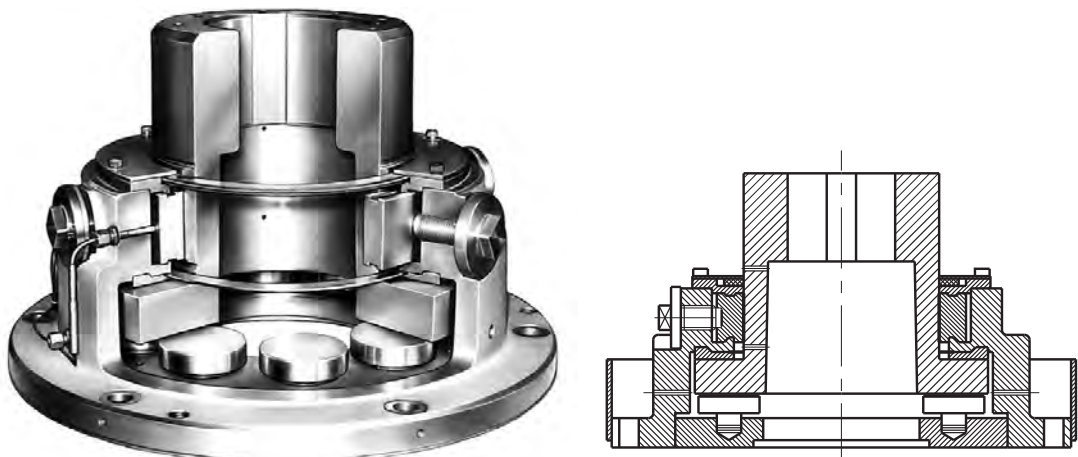


Figuur 4.5 Zelfinstellend glijlagerblok

Het oppervlak van de buitenzijde van de schaal is bolvormig. Hierdoor vangt het lager kleine doorbuigingen van de as op. Het lager kan zich ook in het blok verstellen en vangt daardoor kleine uitlijnfouten van as en lager op.

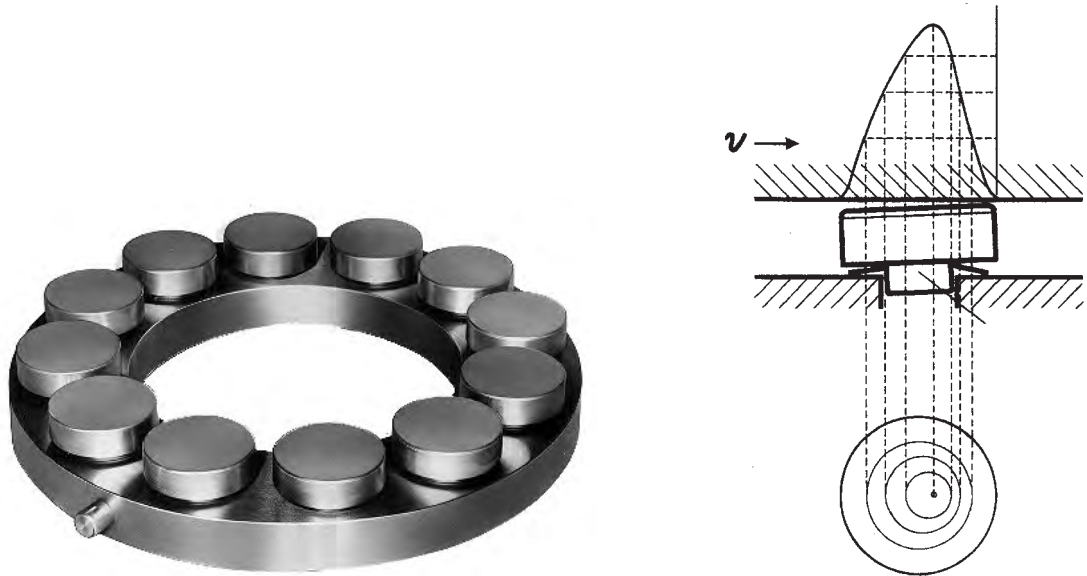
#### 4.3.4 Axiaal glijlager

Axiale lagers nemen de axiale kracht van een draaiende as op. Dat is de kracht die in de lengterichting van de as werkt. Zie figuur 4.6.



Figuur 4.6 Axiaal glijlager

Axiale glijlagers worden gebruikt bij turbines, pompen en compressoren met een verticale bouwvorm. Ze kunnen belastingen opnemen van 50 kN tot 1300 kN. De astapmiddellijn kan variëren van 80 mm tot 560 mm. De lagerbus draagt de belasting via (radiaal instelbare) kipsegmenten over op de glij schoenen. Zie figuur 4.7.



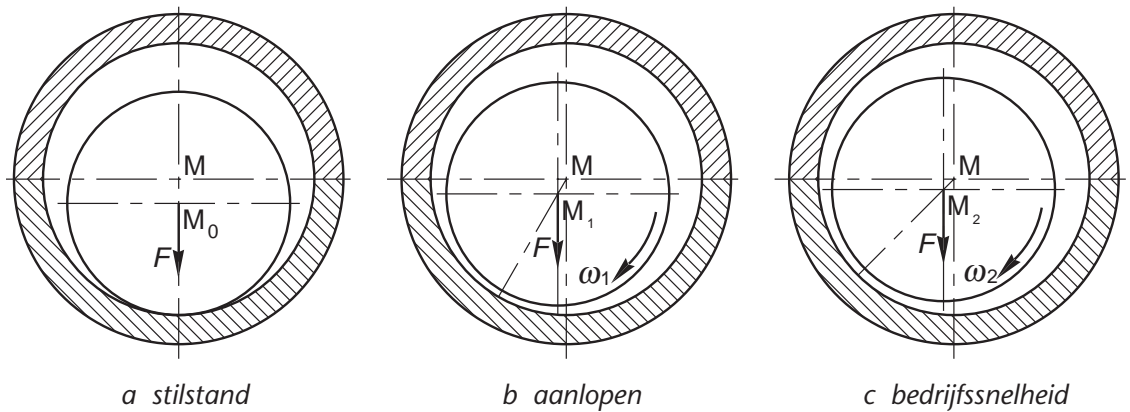
Figuur 4.7 Glij schoenen

## 4.4 Smering van glijlagers

Bij gebruik van de juiste smeermiddelen slijten glijlagers weinig en gaan ze lang mee. Glijlagers worden meestal gesmeerd met vet of olie. Kunststoflagers smeer je meestal gewoon met water.

### 4.4.1 Volledige smering

Als een as stilstaat rust hij in de onderste lagerschaal. Zie figuur 4.8a. Als de as gaat draaien is er even geen smering. Door adhesiekracht en wrijving in de olielaag neemt de as de olie mee in de ruimte tussen as en lager. Zie figuur 4.8b. Bij voldoende olieaanvoer van buitenaf draagt de oliefilm de as, zodat er geen contact meer is tussen as en lagerschaal. Er vindt volledige smering plaats. Zie figuur 4.8c.

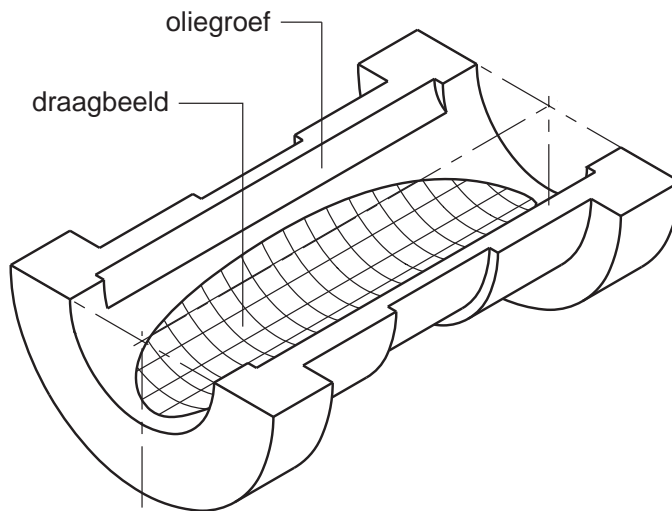


Figuur 4.8 Opbouw van een oliefilm

In deze ideale situatie zorgt de volledige smering voor een *hydrodynamische* drukopbouw. Dat wil zeggen: er is geen materiaalcontact tussen de as en het lager. Om de oliefilm in stand te houden, moet je op twee dingen letten:

- 1 De as en het lager moeten de juiste radiale speling hebben. Deze speling komt voor in verschillende passingcombinaties. Zie tabel 4.1.
- 2 Om de olie gelijkmatig te verdelen, moeten de lagerschalen of -bussen in de lengterichting een oliegroef hebben. Zie figuur 4.9.

TABEL 4.1 PASSINGEN GLIJLAGERS			
gat	as	soort passing	toepassing
H7	f7	lopende passing	drijfwerk-assen
F7	h6	lopende passing	
E8	h6	ruim lopende passing	snellopende assen pompen
H7	e8	ruim lopende passing	algemene machinebouw elektromotoren

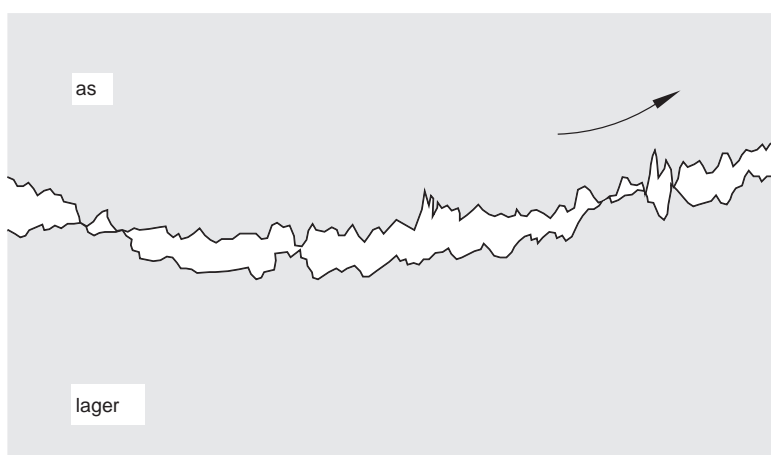


Figuur 4.9 Oliegroef in een lagerschaal

Meestal zitten de oliegroeven en de olietoevoer op een plaats waar de druk het laagst is, zodat de olie weinig weerstand ondervindt. Dat is bijvoorbeeld het geval op het scheidingsvlak van de lagerschalen. De scherpe kanten van de oliegroeven worden afgerond om te voorkomen dat er metaaldeeltjes afbreken.

#### 4.4.2 Beperkte smering

Als er te weinig smeermiddel is veroorzaakt dat beperkte- of grenssmering. De oliefilm is dan te dun om de contactvlakken van elkaar te scheiden. Zie figuur 4.10.



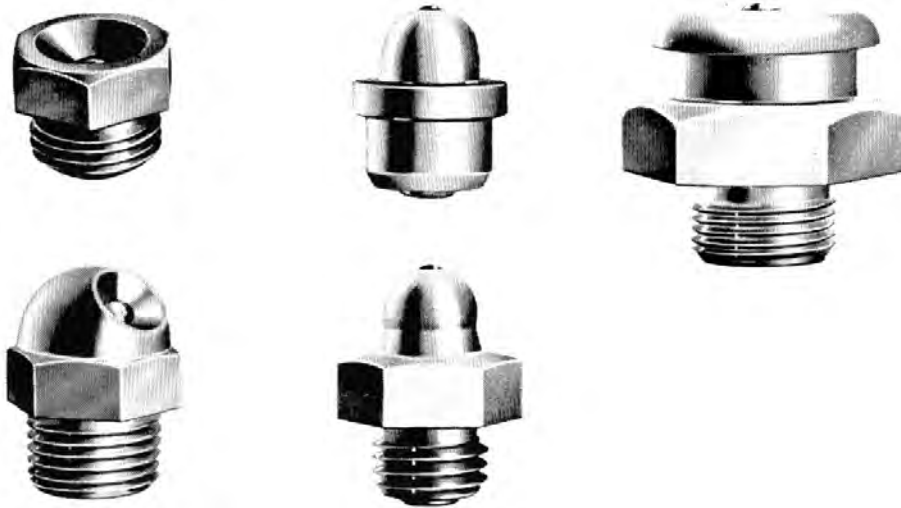
Figuur 4.10 Materiaalcontact door beperkte smering

Grenssmering kan ontstaan:

- op plaatsen waar je te weinig smeermiddel aanvoert;
- op plaatsen waar de viscositeit van de olie te laag is (dikkere olie zorgt voor een sterkere smeerfilm);
- als de rotatiefrequentie van de as te laag is voor de opbouw van een oliefilm;
- bij machines die telkens in- en uitgeschakeld worden.

#### 4.5 Smeersystemen

Je kunt een lager op verschillende manieren voorzien van olie of vet. Als het aantal te smeren lagers klein is, kun je bijvoorbeeld een vetnippel op de lagerhuizen monteren. Zie figuur 4.11.

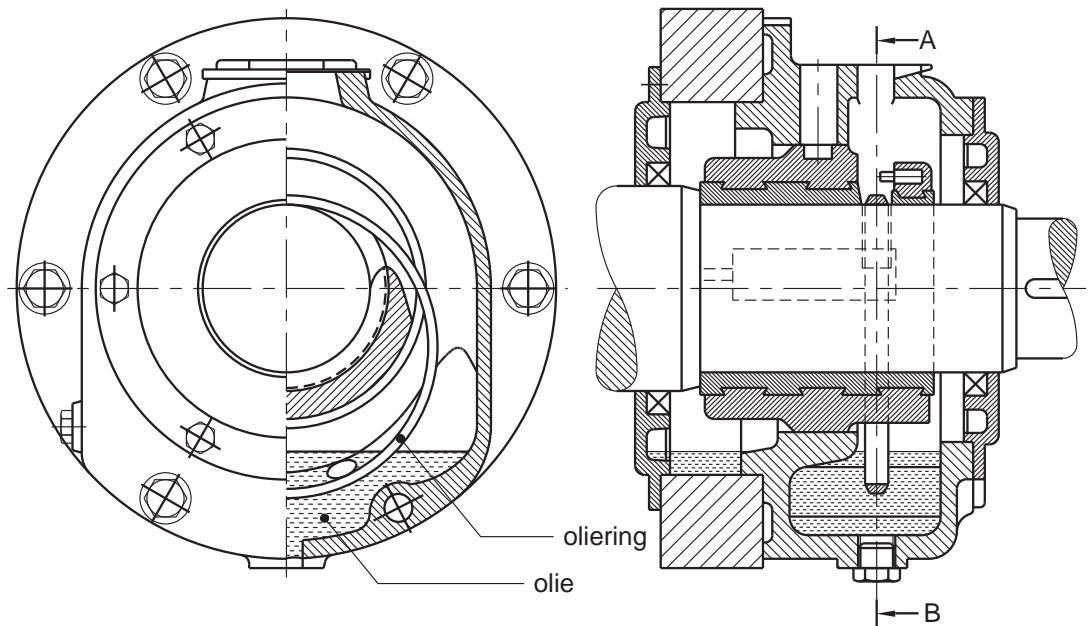


Figuur 4.11 Vetnippels

Het (genormaliseerde) vetnippel staat in verbinding met een smeerkanaal. Het smeerkanaal staat in verbinding met het lager. Je sluit een vetpomp aan op de nippel en je pompt het vet via het smeerkanaal in het lager.

Bij glijlagers wordt ook veel gebruik gemaakt van ringsmering. Het onderblok van het lagerhuis is dan gevuld met olie. Om de as zit een oliering, die vanwege de montage uit twee delen bestaat. Door het draaien van de as wordt de olie door de ring meegevoerd en op de as gesmeerd. Zie figuur 4.12.





Figuur 4.12 Glijlager met ringsmering

## 4.6 Keuze glijlagermaterialen

Je moet het materiaal van een glijlager afstemmen op het materiaal van de as. Het lagermateriaal moet zachter en elastischer zijn dan het materiaal van de as. Daardoor blijft de as onbeschadigd bij slijtage of schade (bijvoorbeeld door overbelasting of uitvallen van de smering). Je hoeft in dat geval alleen de lagerbussen of -schalen te vernieuwen. Let bij het kiezen van materiaal voor glijlagers op de volgende punten.

### Toelaatbare vlaktedruk

Het lagermateriaal mag onder belasting niet vervormen. Het moet maatvast zijn voor een bepaalde looptijd. Er mag ook geen sprake zijn van ‘vreten’, waardoor de omtrek van de as ruw wordt. Het verschil in hardheid tussen lager- en asmateriaal moet dus groot genoeg zijn.

### Warmtegeleidingsvermogen

Het lager (en/of smeermiddel) moet de warmte kunnen afvoeren die door wrijvingsweerstand in het lager ontstaat. Met andere woorden: het lagermateriaal moet een grote warmtegeleidingcoëfficiënt hebben.

### Glij-eigenschappen

Om de warmteontwikkeling zo klein mogelijk te houden, moet het lagermateriaal goede glij-eigenschappen hebben. Dat betekent dat je een materiaal moet kiezen dat een lage wrijvingscoëfficiënt heeft.

### Uitzettingscoëfficiënt

Voor een goede smering en lage wrijving moet de juiste speling tussen lager en as aanwezig blijven. Het lager moet dus maatvast zijn: het materiaal moet een lage uitzettingscoëfficiënt hebben. Houd bij het vaststellen van de lagerspeling ook rekening met de bedrijfstemperatuur.

### Inbeddend vermogen

Tijdens het draaien kunnen er kleine, harde slijtagedeeltjes van as of lager vrijkomen. Het lagermateriaal moet deze deeltjes kunnen opnemen (inbedden).

## 4.7 Indeling van glijlagermaterialen

Als je een glijlagermateriaal kiest moet je ook rekening houden met de smering.

Er zijn glijlagermaterialen:

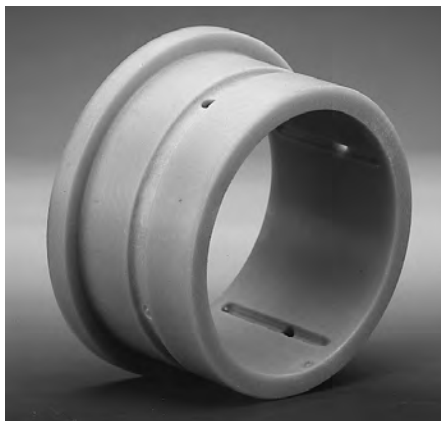
- voor droogloop;
- voor lagers met beperkte smering;
- voor lagers met volledige smering.

### 4.7.1 Glijlagermaterialen voor droogloop

Drooglooplagers worden gebruikt als een smeermiddel de omgeving kan beschadigen of verontreinigen. Bijvoorbeeld:

- in de voeding- en levensmiddelenindustrie;
- in medische apparaten en uitrusting;
- in kantoormachines;
- in huishoudelijke apparaten.

Bij droogloop zijn niet-metalen over het algemeen beter bestand tegen vreten en slijtage dan metalen. Zie figuur 4.13.



Figuur 4.13 Glijlager van nylon 6

Door hun lage wrijvingscoëfficiënt en goede mechanische eigenschappen zijn deze materialen bijzonder geschikt voor lagers.

Kunststoffen als polymeren voldoen het beste bij lagere temperaturen.

Grafietsoorten als grafietbrons en keramische materialen voldoen goed bij hoge temperaturen.

Bij drooglooplagers zijn de toelaatbare vlaktedruk, de bedrijfstemperatuur en de omtreksnelheid (of glijnsnelheid) bepalend voor de materiaalkeuze. Zie tabel 4.2.

**TABEL 4.2 G LIJLAGERMATERIALEN VOOR DROOGLOOP**

materiaal	toelaatbare vlaktedruk	toelaatbare bedrijfstemperatuur	toelaatbare omtreksnelheid	wrijvingscoëfficiënt
	$\sigma_0$ in N/mm <sup>2</sup>	$\bar{T}$ in °C	$v$ in m/s	$f$
polyamide (nylon)	10	100	0,1	0,1 – 0,40
polyacetaat	10	100	0,1	0,1 – 0,40
met PTFE* geïmpregneerd poreus metaal	100	250	2,0	0,05 – 0,20
gevuld PTFE	7	250	1,0	0,05 – 0,30
polyamiden	40	300	1,0	–
PTFE-vezelweefsel	200	250	0,05	0,03 – 0,30
grafietsoorten	1 – 4	350 – 500	–	0,10 – 0,30
met grafiet geïmpregneerd metaal	70	350 – 600	–	0,10 – 0,20

\* polytetrafluorethyleen

Onder de toelaatbare bedrijfstemperatuur  $\bar{T}$  verstaan we de omgevingstemperatuur plus de temperatuurstijging van het lager, waarbij de warmte wordt afgevoerd.

#### 4.7.2 Glijlagermaterialen voor beperkte smering

Bij beperkt gesmeerde lagers ontstaat grenssmering en dus slijtage. Daarom worden als lagermaterialen gebruikt:

- brons (Cu-Sn-legeringen);
- gietijzer;
- polymeren;
- poreuze lagermetalen;
- gehard staal.

**Brons**

Verschillende bronssoorten zijn geschikt als lagermateriaal bij beperkte smering. Door lood als legeringelement toe te voegen en/of grafiet te impregneren worden de loopeigenschappen verbeterd.

**Gietijzer**

Voor lagers met grote afmetingen en bij lage toerentallen gebruiken we soms gietijzer in plaats van brons (vanwege de kostprijs). Perlitisch lamellair gietijzer is het meest geschikt. De grafietlamellen functioneren als smerend element.

**Polymeren**

Polymeren hebben niet alleen bij droogloop goede glij-eigenschappen, maar ook bij beperkte smering. Aan PTFE (polytetrafluorethyleen) worden soms vulstoffen toegevoegd (bijvoorbeeld glas en droge smeermiddelen). Daardoor krijgt PTFE een grotere slijtvastheid. Een nadeel van polymeren is dat bij vochtopname de thermische uitzetting toeneemt.

**Poreuze lagermetalen**

Lagermetalen als staal en koper zijn door sintering een beetje poreus geworden. Je kunt de poriën impregneren met een vloeibaar smeermiddel. De lagerschalen geven dan (door vlaktedruk en warmteontwikkeling) een klein beetje smeermiddel af aan het contactvlak. Zo lopen de lagerschalen bijna niet droog. Een voordeel van metalen lagers is dat de loopvlaktemperatuur laag blijft.

Zij voeren de warmte namelijk beter af dan kunststoflagers.

Voor poreuze lagermaterialen geldt dat bij hogere vlaktedrukken de viscositeit van het geïmpregneerde smeermiddel toeneemt. De toelaatbare glij snelheid neemt daardoor af. In deze gevallen kun je het beste een lagermetaal met een lagere porositeit kiezen. Zie tabel 4.3.

**Gehard staal**

Bij zeer hoge statische en dynamische draagvermogens wordt soms gehard staal gebruikt. Gehard staal heeft zeer matige loopeigenschappen bij glij snelheden kleiner dan 0,05 m/s.

**TABEL 4.3** O VERZICHT POREUZE LAGERMETALEN

chemische samenstelling in gewichtsprocenten	poreusheid in volume- procenten	toelaatbare vlaktedruk $\sigma_0$ in N/mm <sup>2</sup>	asmateriaal
90% Fe    10% Cu	15 – 20	100	} geharde as vereist
98% Fe    2% Cu	20 – 25	70	
75% Fe    25% Cu	16 – 18	60	
98% Fe    2% Cu	17 – 20	50	
88% Fe    10% Cu 2% grafiet	20 – 22	40	
89% Cu    10% Sn 1% grafiet	15 – 22	20 – 40	bij voorkeur geharde as
85% Cu    10% Sn 5% grafiet	18 – 27	7 – 20	verdraagt onge- harde as, of smeermiddel- tekort

### 4.7.3 Glijlagermaterialen voor volledige smering

Als lagermaterialen bij volledige smering worden het meest toegepast:

- witmetaal;
- gietbrons;
- sinterbrons;
- gietijzer (perlitisch lamellair).

Voor glijlagers met hoge glij snelheden kies je metalen die de warmte goed geleiden. Bijvoorbeeld witmetaal, omdat dat niet zo hard is.

Bij hoogbelaste lagers is de toelaatbare vlaktedruk een belangrijke factor.

Witmetaal is dan een minder geschikt lagermateriaal. Je kunt dan het beste kiezen voor een materiaal met een hogere toelaatbare vlaktedruk zoals brons.

Bron is in verschillende hardheden in de handel verkrijgbaar. Zie ook tabel 4.4.

**TABEL 4.4 LAGERMETALEN BIJ VOLLEDIGE SMERING**

materiaalcombinatie		toelaatbare vlaktedruk $\sigma_0$ in N/mm <sup>2</sup>	toelaatbare omtreksnelheid $v$ in m/s	toepassing
astap	glijlager			
ongehard staal	gietijzer	2,5	0,5	voor grote lagers met lage glij snelheden, alternatief voor duurder brons ongehard
ongehard staal	zachtbrons	60	12	vrij zacht brons geschikt voor middelzware belastingen; matig bestand tegen stoten en slijtage
gehard staal	middelhard brons	120	5	voor zware belastingen slijtvast, toegepast voor zuigerpenen, gereedschapswerktuigen, schroefassen, enz.
gehard staal	hardbrons	150	3	harde bronssoort voor zware belastingen en meer slijtvast
gehard staal	sinterbrons	50	5	voor droge smering en middelmatige belastingen
gehard staal	witmetaal	25	>20	voor middelzware belastingen en grote glij snelheden

## 4.8 Kernpunten

Glijlagers pas je toe op plaatsen waar zware dynamische belastingen optreden.

Axiale glijlagers pas je toe als er een kracht in de lengterichting van de as werkt.

Een zelfinstellend lager kan de doorbuiging van de as opnemen. Ook kun je daarmee kleine uitlijnfouten opvangen.

Bij volledige smering is er geen contact tussen lager en as. De kans op slijtage is dan minimaal. Bij beperkte smering is er een grotere kans op slijtage.

Bij een glijlagerconstructie mag de lagerbus slijten, maar de as niet.

Bij de keuze van het glijlagermateriaal houd je vooral rekening met:

- de toelaatbare vlaktedruk;
- de glij-eigenschappen;

Afhankelijk van de smering kies je voor glijmaterialen voor droogloop, volledige smering of beperkte smering.

Bij droge smering worden vaak niet-metalen gebruikt als glijlagermateriaal. Ook met grafiet geïmpregneerd metaal wordt toegepast.

Bij hogere vlaktedruk en beperkte smering kies je voor een lagermetaal met een lagere poreusheid.

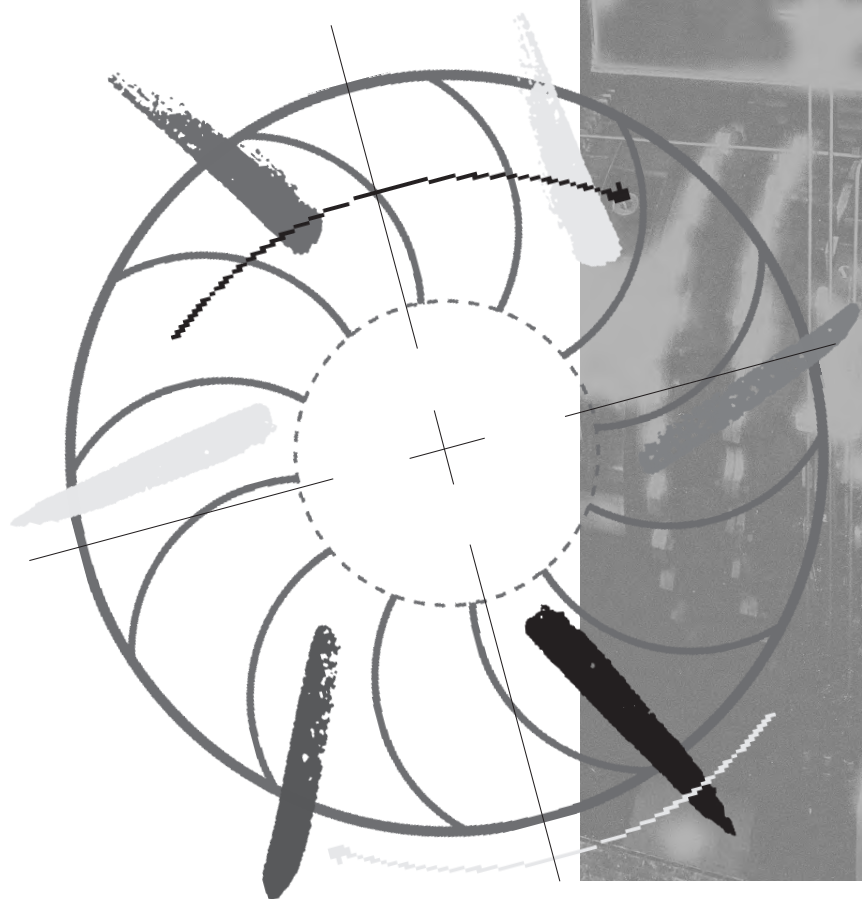
Bij lagermetaal voor volledige smering is de vlaktedruk een belangrijke factor. Bij een hoge glijsnelheid (dus een hoog toerental) kies je voor witmetaal, mits de vlaktedruk toereikend is.





# Riem- en kettingaandrijvingen

5



## 5.1 Inleiding

Bij de eerste fietsen zaten de trappers rechtstreeks op het aandrijf wiel. De wielen waren erg groot, zodat je door langzaam te trappen toch snel kon fietsen. Je kunt je voorstellen dat het erg zwaar was om op gang te komen. Toen de tandwieloverbrenging werd uitgevonden, was dat een hele verbetering. Je kon voortaan met kleinere wielen toch snel fietsen, zonder zwaar te hoeven trappen.

De ronddraaiende beweging van de trapas moest wel worden overgebracht op het achterwiel. Daarvoor wordt nog altijd een kettingoverbrenging gebruikt.

Zie figuur 5.1.



*Figuur 5.1 Kettingoverbrenging*

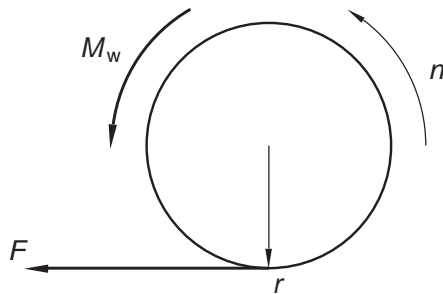
Bij een fiets wil je de ronddraaiende beweging zo comfortabel mogelijk overbrengen. Bij machines en apparaten moet je ook vaak een beweging (en dus vermogen) overbrengen naar een andere plaats. Soms moet je ook de rotatiesnelheid aanpassen of de beweging omkeren. Dat is allemaal mogelijk met riem- en kettingaandrijvingen. In dit hoofdstuk lees je welke mogelijkheden er zijn.

## 5.2 Vermogen en overbrengingsverhouding

Als je een overbrenging kiest is het belangrijk om te weten welk moment (koppel) je moet overbrengen. Als het vermogen van de aandrijving en het toerental bekend zijn, kun je het moment berekenen. Met dit moment kun je de trekkracht in de overbrenging berekenen. De trekkracht is belangrijk bij het kiezen van de juiste kettingen, riemen of tandwielen.

### 5.2.1 Vermogen en moment

Aan de omtrek van een wiel werkt een kracht  $F$  met een toerental of rotatiefrequentie  $n$ . Zie figuur 5.2.



Figuur 5.2 Vermogen en moment

Het vermogen bereken je volgens:

$$P = F \times r \times 2\pi \times n$$

Omdat:

$$M_w = F \times r \text{ geldt: } P = M_w \times 2\pi \times n$$

Waarin:

- $P$  = over te brengen vermogen in watt;
- $n$  = rotatiefrequentie in  $\text{sec}^{-1}$ ;
- $M_w$  = moment in  $\text{N} \cdot \text{m}$ .

#### Voorbeeld

Gegeven

Een motor heeft een vermogen van 3 kW. Dit vermogen wordt via een schijf van 200 mm met een rotatiefrequentie van  $4 \text{ sec}^{-1}$  overgebracht.

Gevraagd

- a Bereken het over te brengen moment.
- b Bereken de over te brengen kracht.

Oplossing

- a Het over te brengen moment:

$$P = M_w \times 2\pi \times n$$

$$3000 = M_w \times 2\pi \times 4$$

$$M_w = \frac{3000}{2\pi \times 4} = 119 \text{ N} \cdot \text{m}$$

b De over te brengen kracht:

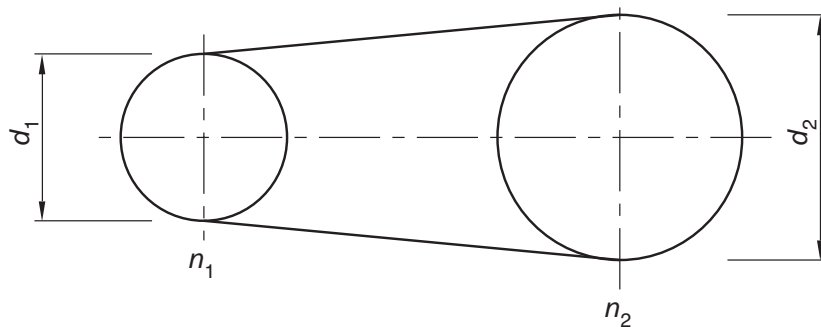
$$M_w = F \times r$$

$$119 = F \times 0,1$$

$$F = \frac{119}{0,1} = 1190 \text{ N}$$

### 5.2.2 Overbrengingsverhouding

De overbrengingsverhouding ( $i$ ) geeft het verband weer tussen de afmetingen van de wielen en de rotatiefrequenties. Zie figuur 5.3.



Figuur 5.3 Overbrenging

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

waarin:

- $n$  = rotatiefrequentie;
- $d$  = middellijn in mm;
- $z$  = aantal tanden.

**Voorbeeld**

Gegeven

Het drijvende wiel op een motoras heeft een middellijn van 100 mm.

Het aangedreven wiel heeft een middellijn 300 mm. Het toerental is 1440 omw/min.

Gevraagd

- De rotatiefrequentie van het gedreven wiel  $n_2$ .
- De overbrengingsverhouding  $i$ .

Oplossing

- Voor de rotatiefrequentie geldt:

$$n_1 = 1440/60 = 24 \text{ sec}^{-1}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \Rightarrow$$

$$\frac{24}{n_2} = \frac{300}{100} \Rightarrow$$

$$n_2 = \frac{2400}{300} = 8 \text{ omw/sec}$$

- Voor de overbrengingsverhouding geldt:

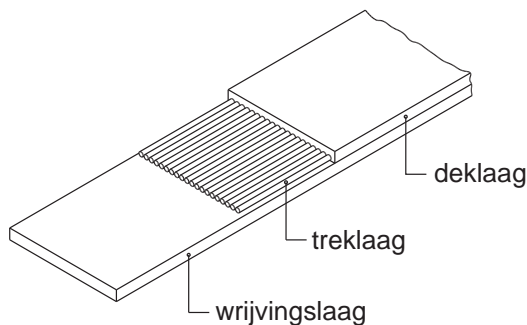
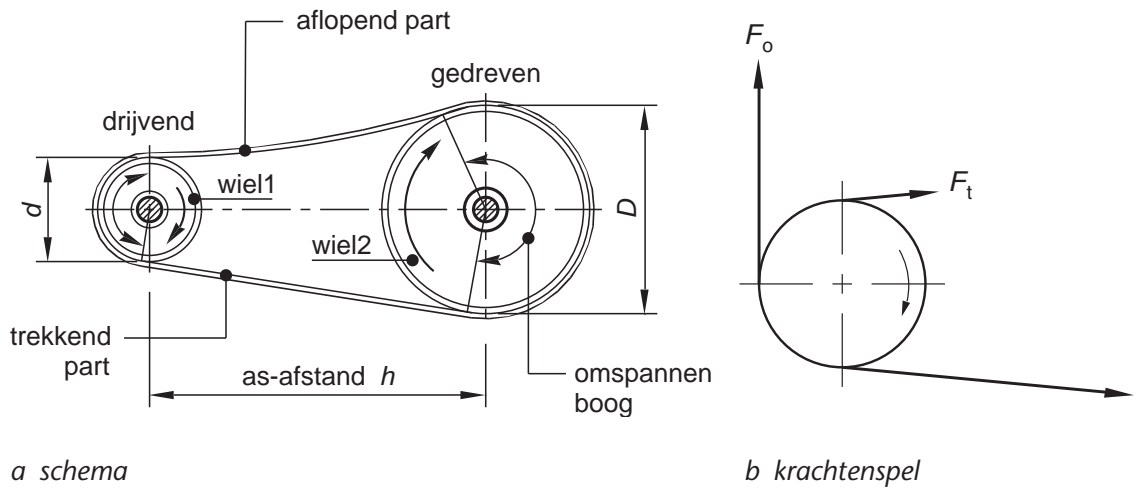
$$i = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow$$

$$\frac{24}{8} = 3 \Rightarrow$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{300}{100} = 3$$

### 5.3 Vlakke riemaandrijving

V-riemaandrijvingen en vlakke riemaandrijvingen worden gebruikt bij aandrijvingen waarbij geen constante overbrengingsverhouding nodig is. Bij deze aandrijving is geen vaste hartafstand nodig tussen de drijvende en de gedreven riemschijf. Zie figuur 5.4.

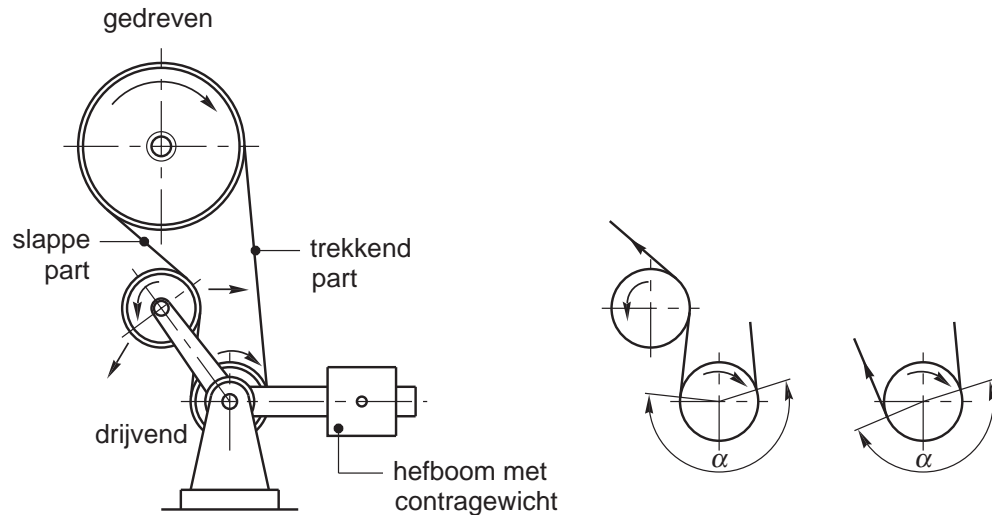


Figuur 5.4 Vlakke-riemaandrijving

In het trekkende part ontstaat een grotere kracht dan in het aflopende part. Het verschil tussen deze krachten  $F_0 = F_T - F_t$  is de *nuttige omtrekkraft*. Zie figuur 5.4b. Deze nuttige omtrekkraft is afhankelijk van de wrijvingscoëfficiënt tussen riem en riemschijf en de grootte van de omspannen boog.

Het omlooplichaam is een vlakke riem (of *band*) met een rechthoekige doorsnede. Door zijn beperkte dikte is de vlakke riem erg soepel. De loopvlakken van de riemschijven zijn glad en licht bolvormig gemaakt. Zie figuur 5.4c.

De overbrenging vindt plaats door wrijving. Bij een vlakke riemaandrijving wordt vaak een *spanrol* gebruikt. Daardoor krijgt de riem een min of meer constante spanning en wordt de *omspannen boog* groter. Er ontstaat meer wrijving waardoor de krachten beter worden overgebracht. Als de spanrol wordt bevestigd op een hefboom met een contragewicht of veer, kan deze een constante kracht uitoefenen op het slappe deel van de riem. Zie figuur 5.5.



Figuur 5.5 Vlakke riemaandrijving met spanrol

Door de krachten in de riem ontstaat er een grote radiale kracht op de riemschijf. Daardoor worden de as en de lagers relatief zwaar belast.

Vlakke riemen (en in mindere mate V-riemen) worden gebruikt voor het overbrengen van draaimomenten, maar ook als transportmiddel. Bijvoorbeeld bij geautomatiseerde productiesystemen voor transport van halffabricaten of producten. Er worden dan een aantal vlakke riemen naast elkaar geplaatst.

Voorbeelden zijn:

- papiertransport in een kopieermachine;
- sorteermachines voor briefpost;
- vouwmachines voor enveloppen.

#### Voordelen en nadelen vlakke riemaandrijving

Voordelen van een aandrijving met vlakke riemen zijn:

- de constructie is eenvoudig en daardoor goedkoop;
- bij overbelasting ontstaat slip;
- de aandrijving absorbeert schokken en trillingen.

Nadelen van een aandrijving met vlakke riemen zijn:

- de lagerbelasting is hoog;
- het over te brengen vermogen is beperkt;
- de aandrijving moet regelmatig gecontroleerd worden.

Je kunt de omlooptengete van een vlakke riem berekenen met de formule:

$$l = 2 \times b + 1,57 \times (D + d) + \frac{(D + d)^2}{4 \times b} \quad (15.1)$$

Met:

- $l$  = omlooptengete in mm;
- $b$  = asafstand van de wielen in mm;
- $D$  = middellijn van het grootste wiel in mm;
- $d$  = middellijn van het kleinste wiel in mm.

## 5.4 V-riemaandrijving

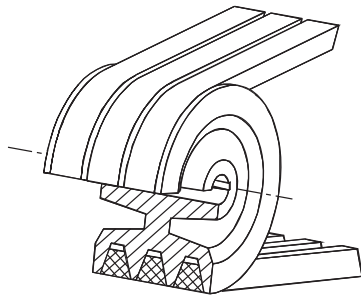
V-riemaandrijvingen worden in de machinebouw vaker gebruikt dan aandrijvingen met vlakke riemen. V-riemaandrijvingen zijn eenvoudiger en meer betrouwbaar. Ze zijn vooral geschikt voor overbrengingen zonder constante overbrengingsverhouding waarbij gemiddelde vermogens worden gebruikt. Zie figuur 5.6.



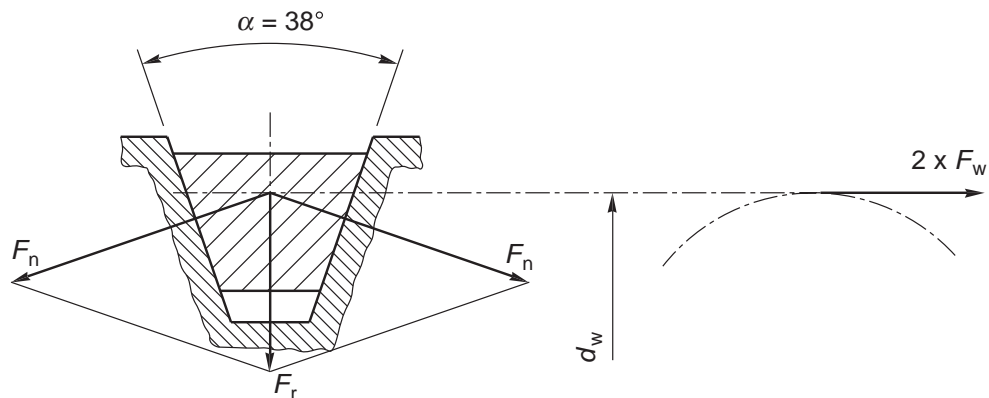
Figuur 5.6 V-riemaandrijving

Bij een V-riemaandrijving wordt een riem met een V-vormige doorsnede gebruikt als omlooplichaam. Het loopvlak van de V-riemschijf is voorzien van groeven, waardoor de V-riem in de schijven loopt. Zie figuur 5.7a.





a schema



b krachtenspel

c draaimoment door wrijving

Figuur 5.7 V-riemaandrijving

Net als bij vlakke riemen wordt bij V-riemen (of *V-snaren*) het draaimoment overgebracht door wrijving. Er ontstaat wrijving tussen de flanken van het V-profiel en de groef in de V-riemschijf. Zie figuur 5.7b.

De radiale kracht  $F_r$  is vrij klein. Door de afschuining in de groef ontstaat er een grote normaalkracht  $F_n$  naar twee kanten. Er kan dus een grote wrijvingskracht  $F_w$  ontstaan. Door de kleine radiale kracht  $F_r$  is de lagerbelasting gering.

Daardoor kan bij een V-riem bij gelijke lagerbelasting de *nuttige omtrekkracht* drie keer zo groot zijn als bij een vlakke riem.

### Voordelen en nadelen V-riemaandrijving

De voordelen van een V-riemaandrijving zijn:

- lichte loop;
- goede demping van stoten in het draaimoment;
- bestand tegen stof;
- ten opzichte van een aandrijving met vlakke riemen is de lagerbelasting bij gelijk vermogen kleiner.

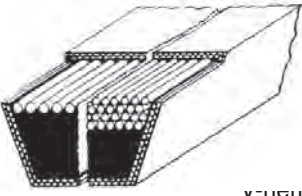

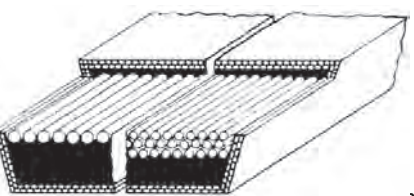
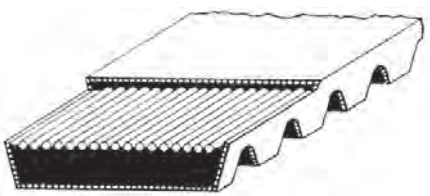
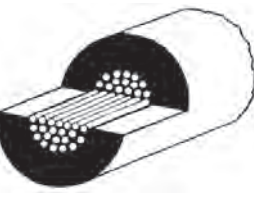
Een nadeel is dat de kleinste middellijn van de V-riemschijf vrij groot is. De toelaatbare *buigingskromme* van de V-riem is namelijk groter dan bij een vlakke riem.

Een ander nadeel van een V-riemaandrijving is het lage rendement van de aandrijving. Door het klemmen van de V-riem in de groeven van de riemschijven verliezen we vermogen, waardoor het rendement daalt. Het rendement van een V-riemaandrijving kan ongeveer 80 % zijn.

### Soorten V-riemen

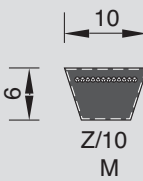
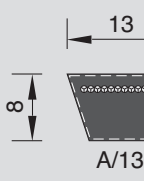
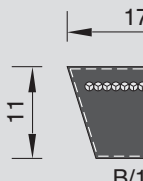
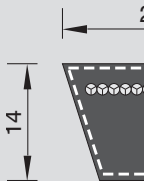
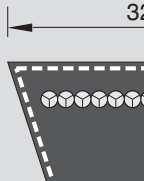
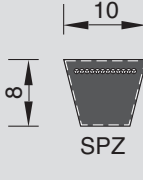
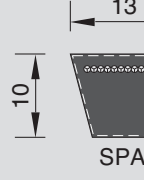
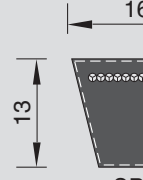
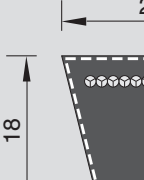
In tabel 5.1 zie je een overzicht van veel gebruikte V-riemen.

**TABEL 5.1 UITVOERINGSVORMEN V-RIEMEN**

vorm/benaming	norm	vermogen in kW per riem	max. riem- snelheid in $m \cdot s^{-1}$	max. over- brengings- verhouding
 <p>ze normale V-riem</p>	<p>Toepassingen in fijnmechanische techniek tot in zware machinbouw. Snaren zijn robuust en minder stootgevoelig dan smalle V-snaren.</p> <p>DIN 2215</p>	<p>... 65</p>	<p>30</p>	<p>10</p>
 <p>de V-riem</p>	<p>Is ongeveer 10% minder sterk dan de normale V-riem. Drijft verscheidene in één vlak liggende riemschijven met verschillende draairichting aan.</p> <p>DIN 7722</p>	<p>... 20</p>	<p>40</p>	<p>5</p>
 <p>brede V-riem</p>	<p>Deze riem is speciaal ontwikkeld voor traploos verstelbare aandrijvingen.</p> <p>geen</p>	<p>... 70</p>	<p>30</p>	<p>3</p>
 <p>V-riem</p>	<p>Zoals brede V-riem, maar door kleine buigingsstraal is een groter verstelbereik mogelijk.</p> <p>geen</p>	<p>... 70</p>	<p>30</p>	<p>3</p>
 <p>nde riem (n V-groef met hoek 60°)</p>	<p>Is geschikt voor een ruimtelijk gebouwde aandrijving. Zonder trek-inlage geschikt voor precisie-instrumenten, printers en kopieerapparaten.</p> <p>middellijn tot 20 mm</p>	<p>... 12</p>	<p>40</p>	<p>5</p>

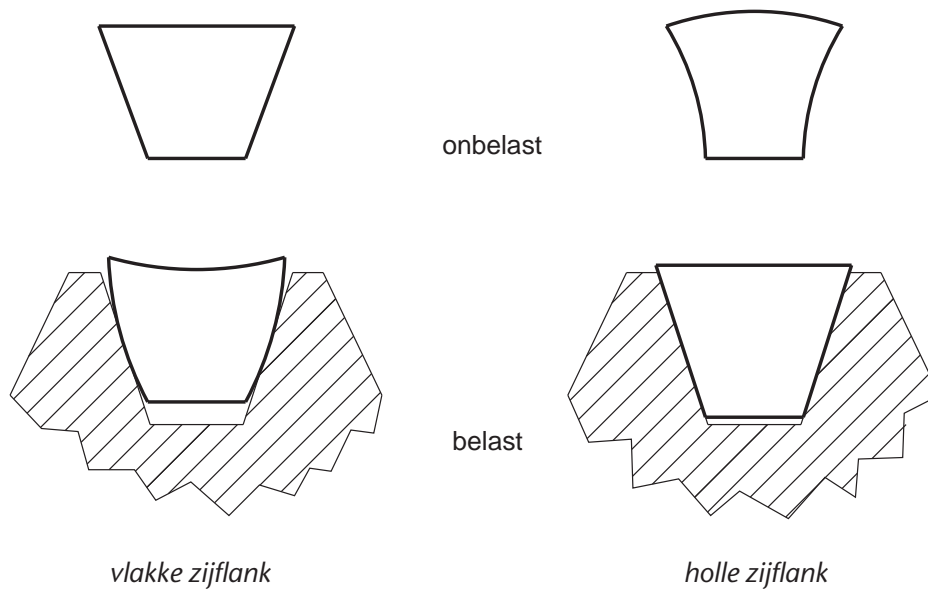
De eindeloze normale V-riemen worden het meest gebruikt. Ze zijn verkrijgbaar met een normaal profiel en een smal profiel. V-riemen met een normaalprofiel (volgens DIN 2215) hebben een hoogte-breedteverhouding van 1 : 1,6. Zie tabel 15.2.

**TABEL 5.2 AFMETINGEN VAN V-RIEMEN**

Normaal profiel					
					
Type	Z	A	B	C	D
Breedte (mm)	10.0	13	17	22	32
Wapening (mm)	8.5	11	14	19	27
Hoogte (mm)	6.0	8	11	14	19
Smal profiel					
					
Type	SPZ	SPA	SPB	SPC	
Breedte (mm)	10	13	16	22	
Wapening (mm)	8.5	11	14	19	
Hoogte (mm)	8	10	13	18	

V-riemen met een smal profiel (volgens DIN 7753/1) hebben een hoogte-breedteverhouding van 1 : 1,2. Deze riemen kunnen een groter vermogen overbrengen dan normale V-riemen. Ze zijn er met de profielen SPZ – SPA – SPB en SPC. De V-riemen worden door de fabrikant in standaardlengten geleverd. Zie tabel 5.2.

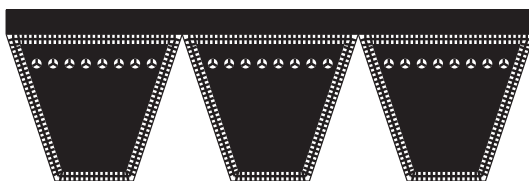
De gewone riem heeft een vlakke zijflank. Deze riemen vervormen enigszins bij belasting. Er zijn tegenwoordig ook V-riemen met een holle zijflank. Deze riemen vervormen niet. Zie figuur 5.8.



Figuur 5.8 Zijflanken V-riemen

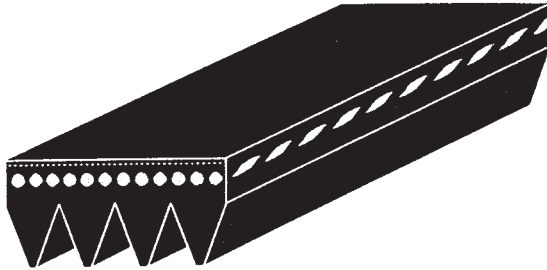
Getande V-riemen met open flanken worden gebruikt als gewone V-riemen het vermogen niet meer kunnen overbrengen. Door de open flanken wordt de buiging van de riem minder gehinderd. Zie tabel 5.1.

V-riemen worden tegenwoordig vaak aan de bovenzijde met elkaar verbonden door een deklaag. Dit heet een *krachtband*. Zie figuur 5.9.



Figuur 5.9 Krachtband

Een goed alternatief voor V-riemen zijn *ribbenbanden*. Deze hebben de flexibiliteit van vlakke riemen en de hoge prestaties van V-riemen. Het zijn gevulkaniseerde banden met trekkoorden. Zie figuur 5.10.



Figuur 5.10 Ribbenband



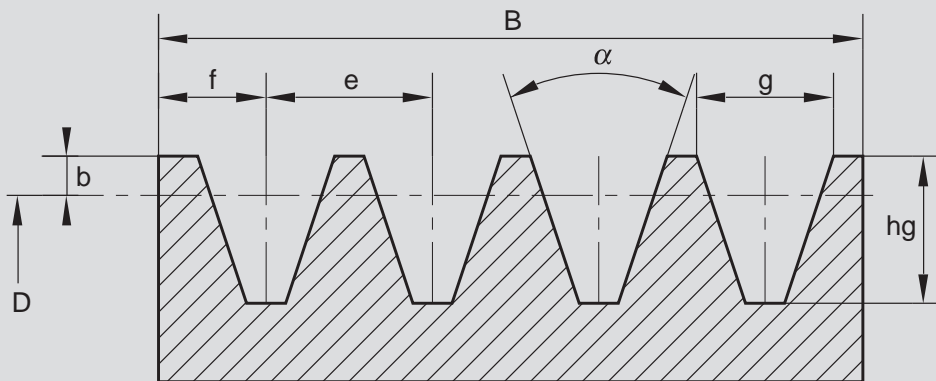
Figuur 5.11 Ribbenband op schijven

De drijvende schijf is gegroefd volgens het profiel van de ribbenband. De gedreven schijf kan ook met een vlakke velg worden uitgevoerd, omdat de ribbenband aan de profielzijde is afgevlakt. Vooral de overbrenging van een zeer kleine naar een grote middellijn is hiermee mogelijk. Zie figuur 5.11. Ribbenbanden zijn volgens DIN 7867 genormaliseerd in verschillende uitvoeringen. Een ribbenband is zeer geschikt voor grote overbrengingsverhoudingen (tot 1 : 40).

### V-riemschijven

De afmetingen van de V-riemschijven zijn genormaliseerd in DIN 2217 voor standaardprofielen en in DIN 2211 voor smalle profielen. In tabel 5.3 zie je een overzicht van normen en afmetingen.

**TABEL 5.3 FABRICAGEGEGEVENS VOOR V-RIEMSCHIJVEN VOLGENS DIN 2211**

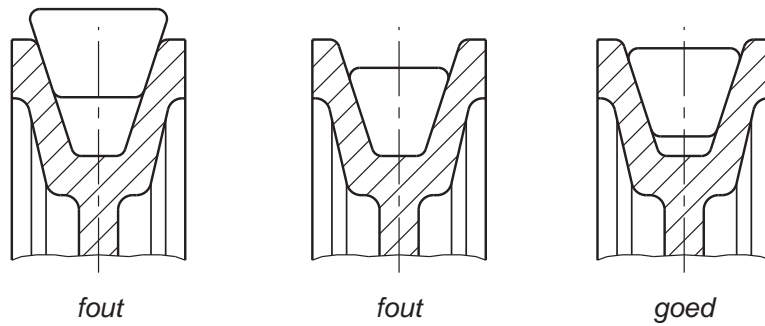


$$B = (n - 1) \times e + 2f$$

$n$  = aantal groeven

snaartype	D	$\alpha$	e	f	b	g	hg	B		
								1	2	3
Z	50-80 $\geq 80$	340 380	12,0	8,0	2,0	9,7	9,0	16	28	40
A	63-118 $\geq 118$	340 380	15,0	10,0	2,75	12,7	11,45	20	35	50
B	90-190 $\geq 190$	340 380	19,0	12,5	3,5	16,1	14,3	25	44	63
C	180-315 $\geq 315$	340 380	25,5	17,5	4,8	21,9	19,1	35	60,5	86
D	355-500 $\geq 500$	360 380	37,0	24,0	8,1	32,6	28,0	48	85	122
E	500-630 $\geq 630$	360 380	44,0	29,0	12,0	40	33,0	58	102	146

Bij V-riemschijven zijn de maten van de groeven nauwkeurig aangegeven. De V-riem moet namelijk over de gehele lengte van de flanken dragen, maar hij mag niet onder in de groef liggen of erboven uitsteken. Zie figuur 5.12.



Figuur 5.12 Ligging V-riem in de groef

V-riemschijven worden gemaakt van gietijzer GG 20 (voor omtreksnelheden tot  $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) of van aluminium (voor omtreksnelheden tot ongeveer  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Er is ook een lichtgewicht V-riemschijf ontwikkeld die bestaat uit een lichtmetalen schijf gegoten om een gietijzeren naaf.

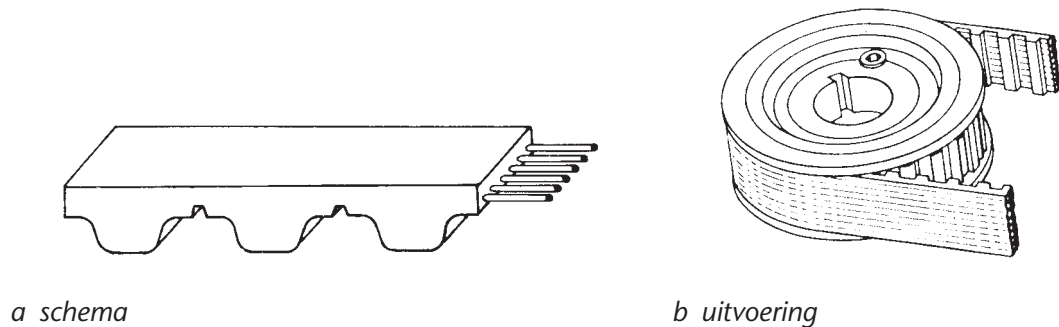
Bij de montage van V-riemschijven op een as wordt tegenwoordig vaak spanbussen gebruikt. Met spanbussen kunnen we riemschijven nauwkeurig uitlijnen en is het verwisselen van riemschijven eenvoudiger. De riemschijven zijn inclusief spanbussen verkrijgbaar. Zie figuur 5.13.



Figuur 5.13 V-riemschijf met spanbus

## 5.5 Tandriemaandrijving

Bij een tandriemaandrijving wordt een vlakke riem met tanden als omlooplichaam gebruikt. De krachten worden door de tanden van de riem overgebracht op een tandwiel. Op het loopvlak van de riemschijf zitten tandholten die overeenkomen met de vorm van de tanden van de tandriem. In de riem zijn staaldraden aangebracht ter versteviging. Zie figuur 5.14.



Figuur 5.14 Tandriem met staaldraden

Tandriemen brengen een draaimoment zonder slip over. Ze worden gebruikt als er een slipvrije overbrenging nodig is, bijvoorbeeld als distributieriem in een motor. Met tandriemen kunnen vermogens tot 100 kW over worden gebracht. Riemsnelheden tot  $80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  zijn toelaatbaar.

### Voordelen en nadelen tandriemen

De voordelen van tandriemen zijn:

- constante, slipvrije overbrengingsverhouding;
- kleine voorspanning, dus kleine lagerbelasting;
- weinig controle en onderhoud nodig;
- bestand tegen vette omgeving, omdat het draaimoment niet door wrijving wordt overgebracht.

De nadelen van tandriemen zijn:

- niet bestand tegen overbelasting;
- veel geluid bij hoge toerentallen;
- temperatuurgevoelig;
- niet geschikt voor chemisch agressieve omgevingen.

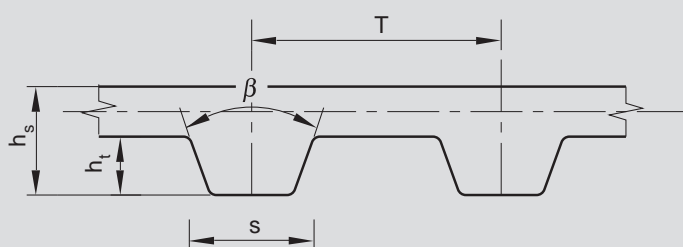
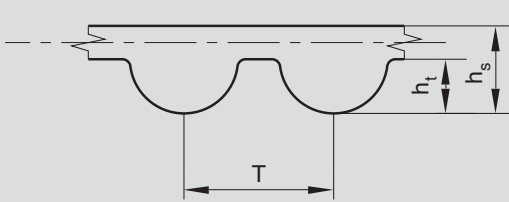
### Uitvoeringen

Tandriemen zijn leverbaar in een groot aantal uitvoeringen. De meest voorkomende zijn:

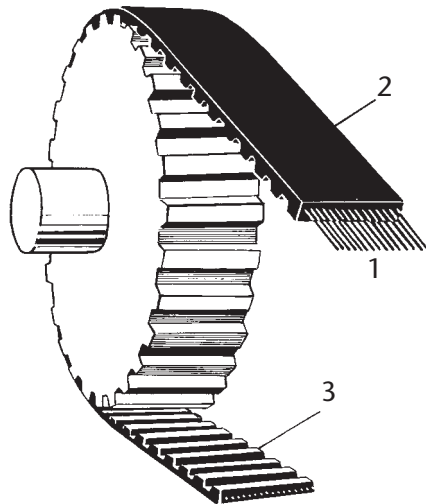


- Tandriemen waarvan de tanden een trapeziumvorm hebben (volgens DIN 7721). De codering is gebaseerd op de steek van de tanden die een T-profiel hebben. De voorkomende codes zijn T2,5 – T5 – T10 en T20. Zie tabel 5.4
- Tandriemen van het HTD-type hebben afgeronde tanden. De codering is gebaseerd op de steek van de tanden die een M profiel hebben. Ze worden gefabriceerd volgens ISO 13050. Veel voorkomende codes zijn 3 – 5 – 8 – 14M en 20M. Zie tabel 5.4.

TABEL 5.4 T ANDRIEMPROFIELEN

T-profiel						M-profiel			
									
type	T	$h_s$	$h_t$	s	$\beta$	type	T	$h_s$	$h_t$
T 2,5	2,5	1,3	0,7	1,50	$40^0$	3M	3	2,4	1,2
T5	5	2,2	1,2	2,65	$40^0$	5M	5	3,6	2,1
T10	10	4,5	2,5	5,30	$40^0$	8M	8	5,6	3,38
T20	20	9,1	5,0	10,6	$40^0$	14M	14	10,0	6,1
						20M	20	13,2	8,4

Tandriemen met T-profielen worden vooral gebruikt als er hoge(re) eisen aan het synchroon draaien van de assen worden gesteld. De HTD-typen (*high torque drive*) hebben een afgerond tandprofiel. We gebruiken ze vooral voor zwaarbelaste, slipvrije aandrijvingen. De tandriemen zijn opgebouwd uit drie elementen. Zie figuur 5.15.



Figuur 5.15 Tandriemaandrijving

De *trekdraden* (1) nemen de totale trekbelasting op en vallen samen met de werkende lengte van de tandriem. Ze bestaan uit meervoudig gewikkelde glasfiberdraden. De trekdraden hebben:

- een hoge treksterkte;
- een lage rek;
- een grote soepelheid.

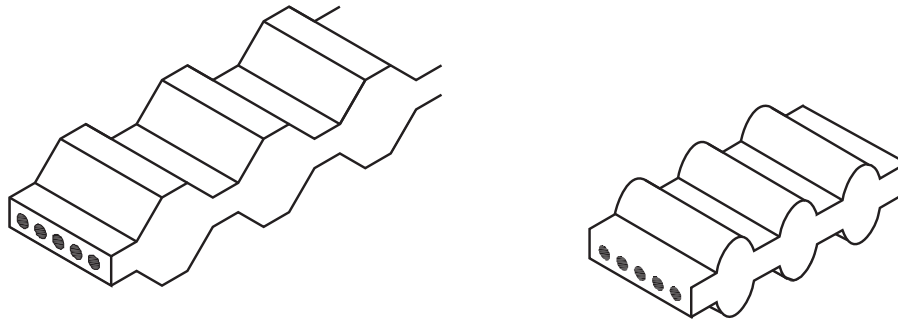
Het *riemlichaam* (2) bestaat uit polychloropreen-rubber of uit neopreen waarin de trekdraden geïmpregneerd zijn. Het riemlichaam moet bestand zijn tegen:

- vermoeiing;
- hitte;
- invloeden vanuit de omgeving door agressieve stoffen.

Het is vooral belangrijk dat het riemlichaam vormvast en voldoende hard is.

De *tandbekleding* (3) bestaat daarom uit speciaal geïmpregneerd nylonweefsel. Dit weefsel dient als contact tussen de tanden van de tandriem en de tanden van het tandwiel. Het weefsel heeft zelfsmerende eigenschappen en is zeer slijtvast. Hierdoor ontstaat er weinig wrijving.

Er worden ook tandriemen gemaakt met tanden aan weerszijden van de riem. Daarmee kun je een meervoudige tandriemaandrijving met omkering van de draairichting realiseren. Doordat de tanden tegenover elkaar geplaatst zijn vermindert de soepelheid van de riem niet. We spreken dan van een *dubbele tandriem*. Zie figuur 5.16.



Figuur 5.16 Dubbele tandriemen

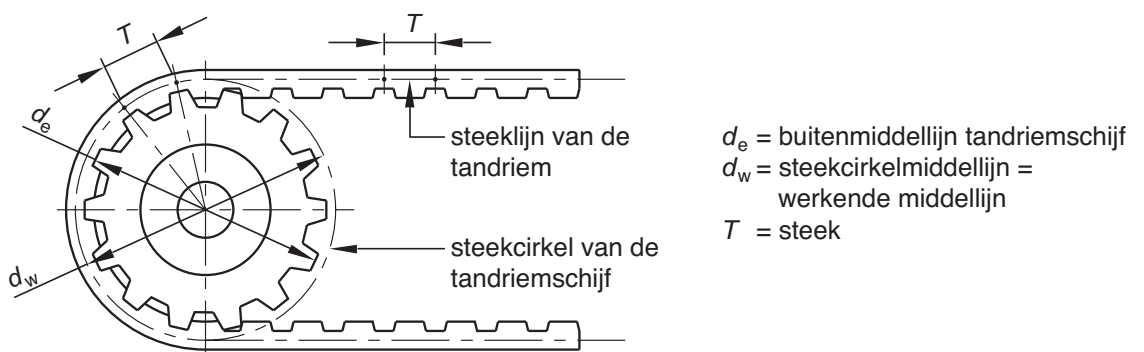
### Typen tandriemen

Er zijn verschillende typen tandriemen. Ze worden ingedeeld naar de steek, het profiel en de riemopbouw. Omdat de verschillen in afmetingen van sommige tandriemen erg klein zijn, is een fout snel gemaakt. Let dus goed op of je wel de juiste riem hebt als je een tandriem vervangt.

De meeste tandriemen zijn niet genormaliseerd. Toch is de codering van tandriemen bij bijna alle fabrikanten hetzelfde. De codering 300 5M 25 wil zeggen:

- de riemlengte van de tandriem is 300 mm;
- het getal 5 geeft de tandsteek aan. De letter M staat voor het type tandriem;
- het laatste getal geeft de tandriembreedte aan. Veel voorkomende breedtes zijn 10-16-25-32 en 50.

In bedrijfsdocumentatie wordt in plaats van de term *riemlengte* ook de term *steeklengte* gebruikt. Zie figuur 5.17.



Figuur 5.17 Belangrijke gegevens tandriemschijf

Zoals je ziet is de *werkende middellijn*  $d_w$  groter dan de middellijn van het tandwiel (gemeten over de kop van de tanden). Je kunt de omtrek van de werkende middellijn van het tandwiel op de volgende manieren berekenen:

$$\text{omtrek} = \pi \times d_w \quad (15.2)$$

Of:

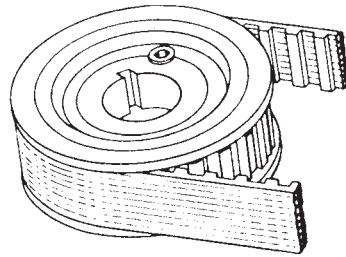
$$\text{omtrek} = z \times \pi \quad (15.3)$$

Tandriemen worden ook nog veel gecodeerd op basis van de sterkte. De gebruikte maten zijn omgerekende inch-maten. Elk type heeft zijn eigen toepassingsgebied. Zie tabel 5.5.

TABEL 5.5 MEESTGEBRUIKTE TANDRIEMTYPEN			
type	steek	zwaarte	toepassingsvoorbeelden
XL	1/5" (5,080 mm)	zeer licht	laboratorium-instrumenten, naaimachines, kleine filmapparatuur, schrijfmachines, enz.
L	3/8" (9,525 mm)	licht	kleine pompen, mixers, stuurmachines, kleine werktuigmachines, wasmachines, enz.
H	1/2" (12,7 mm)	middel-zwaar	werktuigmachines, compressoren, textielmachines, generatoren, overige middelzware aandrijvingen
XH	7/8" (22,225 mm)	zwaar	dieselaggregaten, ventilatoren, zuigercompressoren, mixers en overige middelzware aandrijvingen
XXH	1 1/4" (31,750 mm)	extra zwaar	persen, transporteurs, steenbrekers, walsen en overige zware aandrijvingen

### Constructie tandriemaandrijving

Kleine tandriemschijven worden gemaakt van lichtmetaal of staal. Grote tandriemschijven worden gemaakt van gietijzer. De kleinste schijf krijgt aan de zijkanten een kraag om het aflopen van de tandriem te voorkomen. Zie figuur 5.18.

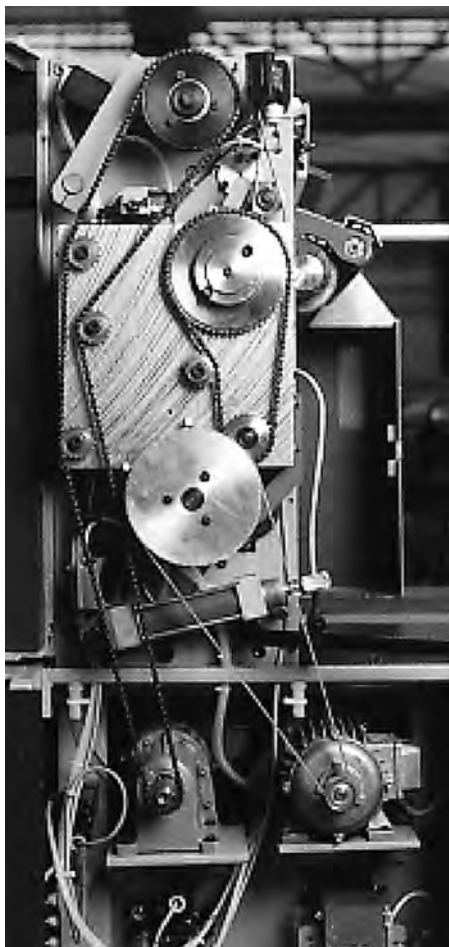


Figuur 5.18 Tandriemschijf met kraag

Tandriemschijven voor grotere maten (vanaf type L) worden meestal compleet met spanbussen geleverd. De afmetingen zijn afhankelijk van de steek, het aantal tanden en de riembreedte.

## 5.6 Kettingaandrijvingen

Bij een *kettingaandrijving* wordt een ketting als omlooplichaam gebruikt. De ketting bestaat uit pennen en schalmen. De kettingwielen zijn op het loopvlak voorzien van tanden. De tanden grijpen aan in de ruimte tussen de pennen van de ketting. Zie figuur 5.19.

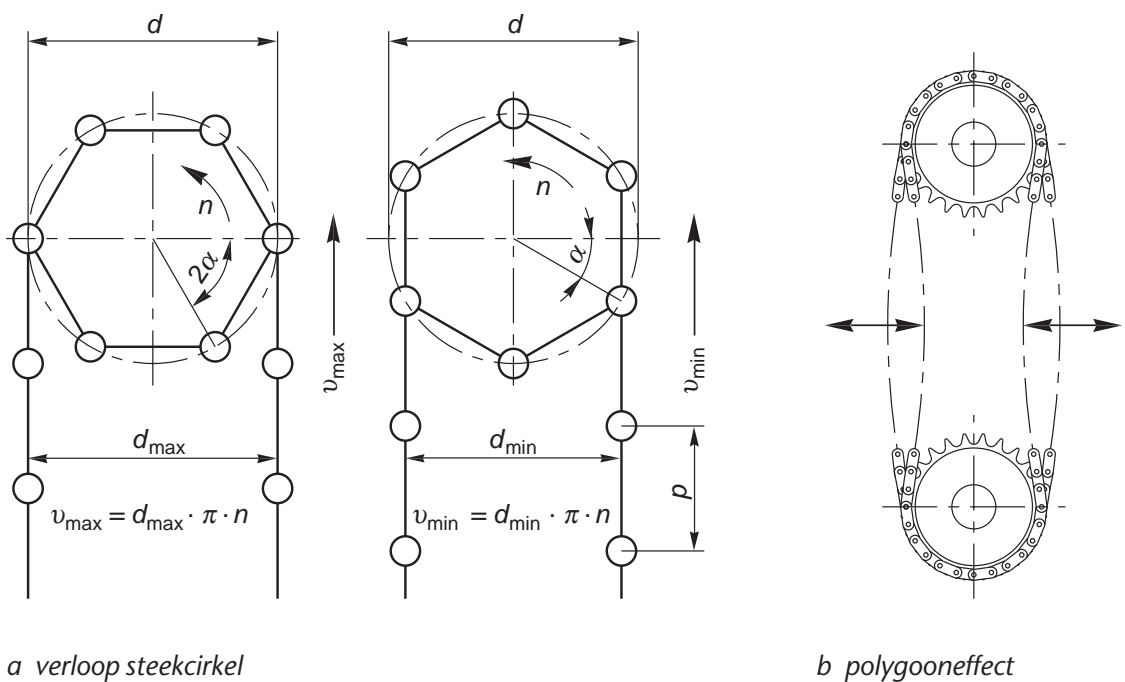


Figuur 5.19 Kettingaandrijving

Kettingaandrijvingen zijn (net als tandriemaandrijvingen) vormvast en zorgen voor een constante slipvrije overbrenging. De kettingaandrijving heeft een kleine as- en lagerbelasting, omdat er weinig of geen voorspanning van de ketting nodig is. Als de aandrijving normale afmetingen heeft en de smering is optimaal, is het rendement van een kettingaandrijving ongeveer 98 %.

Bij het construeren van een kettingaandrijving moet je met de volgende dingen rekening houden. De kettingsnelheid is meestal ongeveer  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en mag zeker niet groter zijn dan  $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Het gunstigst zijn snelheden tot  $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . De beperking van de kettingsnelheid wordt mede veroorzaakt door de centripetale kracht. Deze kracht is groot door de grote massa van de ketting per meter kettinglengte.

De kettingsnelheid en kettingkracht zijn niet gelijkmatig, omdat de ketting op het kettingwiel een veelhoek vormt. Hierdoor verandert de hefboomarm van de kettingkracht: het *polygooneffect*. Dit effect veroorzaakt het klapperen van de ketting, vooral bij hoge kettingsnelheden. Zie figuur 5.20.

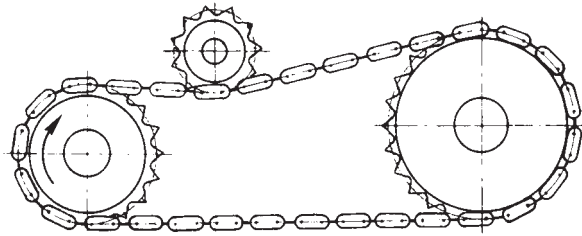


Figuur 5.20 Polygooneffect bij kettingwielen

Het polygooneffect wordt kleiner als het aantal tanden van het kettingwiel groter wordt. Dit komt doordat het verschil tussen  $d_{\max}$  en  $d_{\min}$  kleiner wordt.

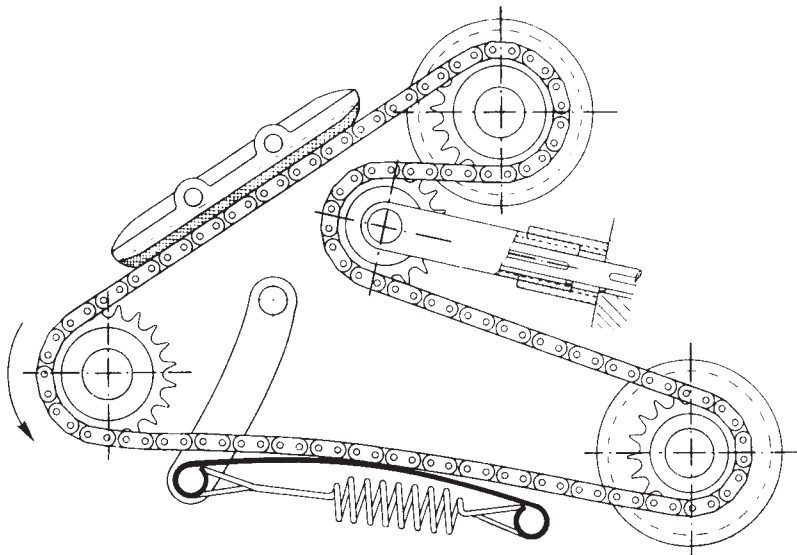
Als de kettingwielen in hetzelfde vlak liggen kun je met één ketting verschillende assen aandrijven. Zie figuur 5.19.

Omdat de ketting nauwkeurig in één vlak werkt, is het belangrijk dat de kettingwielen goed ten opzichte van elkaar worden geplaatst. Bij ongunstige plaatsing moeten we een *steunwiel* in het aflopende part van de ketting plaatsen. Deze stuurt de ketting als het ware. Zie figuur 5.21.



Figuur 5.21 Steunwiel

In plaats van steunwielen kiezen we vaak voor de goedkopere en minder ruimte vergende *glijplaten*. Zie figuur 5.22.



Figuur 5.22 Kettingaandrijving met spanrol en glijplaten

Glijplaten kunnen de leden of de rollen van een ketting ondersteunen. Om de rollen te ondersteunen moeten ze geprofileerd zijn. Geprofileerde glijplaten hebben door de wrijving een hogere weerstand. Ze maken ook meer geluid en de slijtage van de ketting is hoger. Glijplaten van slijtvaste kunststof veroorzaken minder geluid en slijtage.

### Spanwielen

Spanwielen worden na de montage gebruikt om de overtollige lengte uit een ketting te halen. Je kunt ze ook gebruiken om de rek uit een ketting te halen (dit heet *naspannen*). Een ketting rekt tijdens zijn levensduur ongeveer 3% van de

totale kettinglengte. Ondanks deze verlenging brengt een ketting het draaimoment probleemloos over, mits de ketting regelmatig wordt nagespannen. Zonder nagespannen loopt de ketting niet meer zuiver in de vertanding van het rondsel. Dit leidt tot een onrustige loop en bevordert de slijtage van de ketting en de kettingwielen.

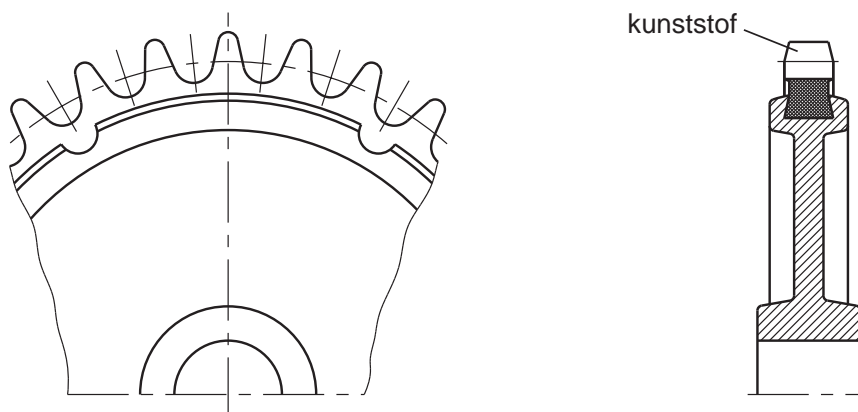
Er zijn spanelementen die door een verende werking automatisch nagespannen. Deze spanelementen hebben ook een dempende werking. Ze zorgen voor een langere levensduur van de ketting en de kettingwielen. Zie figuur 5.23.



Figuur 5.23 Rosta-kettingspanner

### Beperking van geruis

Kettingoverbrengingen hebben als nadeel dat de overbrenging veel geluid maakt (vooral bij hoge snelheden). Je kunt de hoeveelheid geluid beperken door kunststof kettingwielen en spanwielen te gebruiken. Een bijkomend voordeel van kunststof kettingwielen en spanwielen is dat er weinig kettingslijtage optreedt. Zie figuur 5.24.



Figuur 5.24 Kettingwiel met kunststof tandkrans

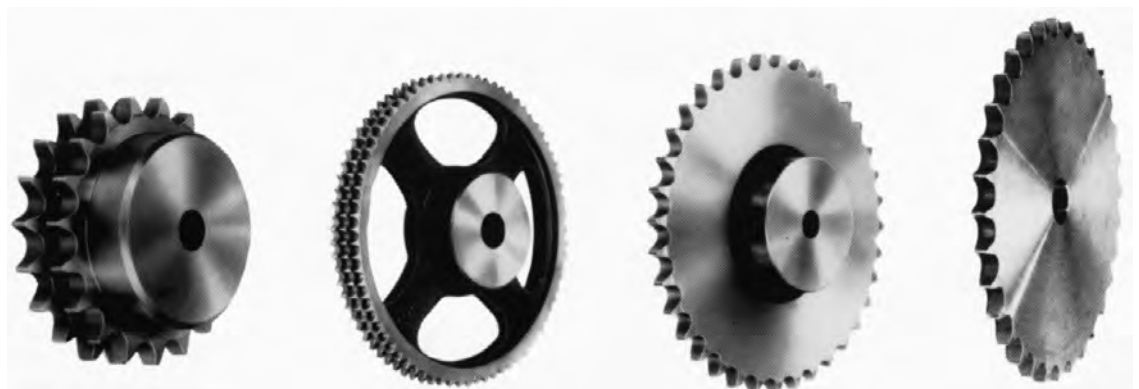
### Overbrengingsverhouding

Overbrengingsverhoudingen tot  $i = 5$  zijn voor een kettingaandrijving gunstig. Tot  $i = 7$  is er sprake van een normale overbrengingsverhouding. Voor  $i > 10$  moeten we echter zoeken naar een andere constructie.



Een klein kettingwiel (*rondsel*) geeft meer slijtage aan de ketting. Om het polygooneffect te verkleinen is het verstandig om een kettingwiel met een oneven aantal tanden te gebruiken. Voor een goede aandrijving moet de som van de aantallen tanden van rondsel en wiel groter dan of gelijk zijn aan 50. Voor  $i = 1$  nemen we dus voor rondsel en wiel elk minstens 25 tanden.

De kwaliteit van het kettingwiel is net zo belangrijk als de kwaliteit van de ketting. Kettingwielen worden geleverd met voorgeboorde gaten of compleet met klembus. Een goede hartafstand tussen de kettingwielen is 30 tot 40 maal de kettingsteek. Hartafstanden groter dan 80 maal de kettingsteek moeten we vermijden. Zie figuur 5.25.



*a duplex rondsel*

*b triplex gegoten  
kettingwiel*

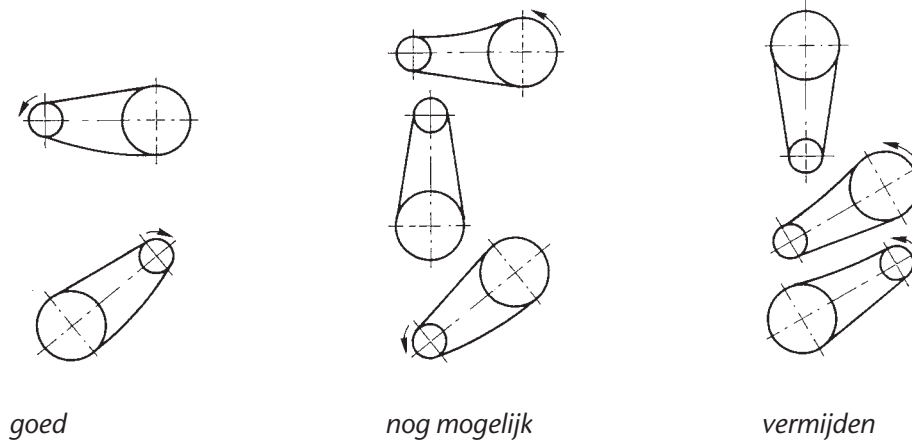
*c opgebouwd stalen  
kettingwiel met  
ongelakte naaf*

*d plaatwiel*

*Figuur 5.25 Kettingwielen*

### **Stand van de assen**

Voor het goed functioneren van de aandrijving is de stand van de assen belangrijk. Bij een sterk hellende ketting wordt de kans op trillingen door het polygooneffect groter. Op het rondsel kan de ketting over de kop van de tanden gaan lopen (mits de kettinglengte dit toelaat). Dit gebeurt vooral bij min of meer verticaal geplaatste kettingwielen, waarbij het drijvende wiel zich onderaan bevindt. Je kunt dit voorkomen door rekening te houden met de stand van de assen en door de ketting regelmatig na te spannen. Zie figuur 5.26.



Figuur 5.26 Afstanden voor kettingaandrijving

### Voordelen en nadelen kettingaandrijving

Voordelen van een kettingaandrijving zijn:

- grote asafstanden mogelijk, eventueel met gebruik van steunwielen of glijplaten;
- bedrijfszeker, ook bij hoge temperaturen zoals in een doorloopoven;
- makkelijke montage, het omleggen van de ketting en het verbinden van de uiteinden is eenvoudig.

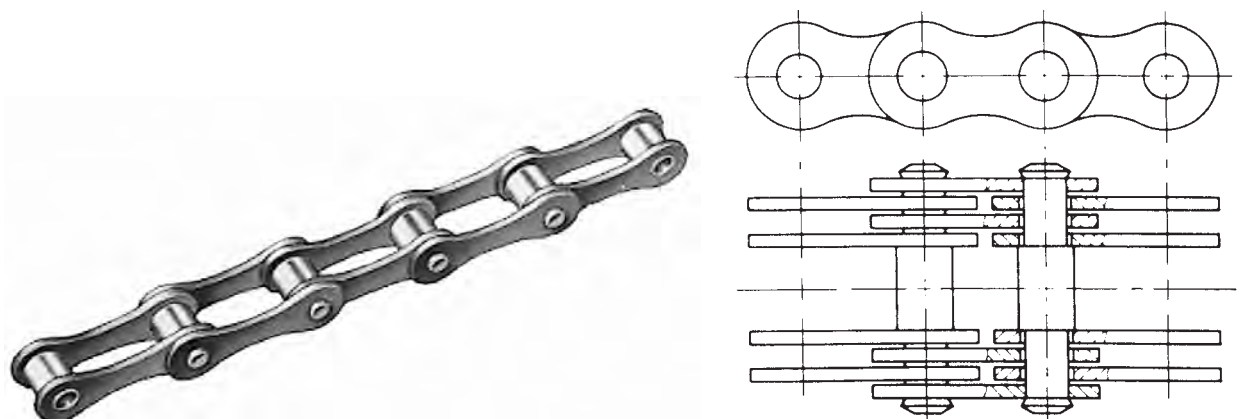
Nadelen van een kettingaandrijving zijn:

- door slijtage van de scharnieren van de ketting verandert de steek;
- het eigen gewicht van de aandrijving is groot;
- de kettingsnelheid is beperkt door de centripetale krachten die op de ketting werken.

### Uitvoeringen aandrijfkettingen

Er zijn de volgende soorten aandrijfkettingen:

- langzaam lopende kettingen, zoals de Gallse ketting en de rollenketting met grote steek. Zie figuur 5.27;

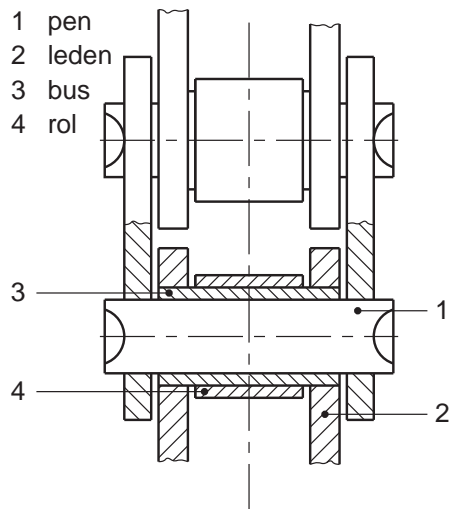


Figuur 5.27 Gallse ketting en rollenketting

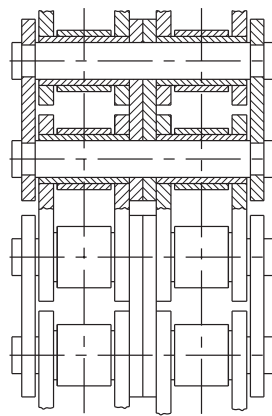
- snellopende kettingen, zoals een rollenketting (simplex, duplex of triplex) of een tandketting. Zie figuur 5.28;



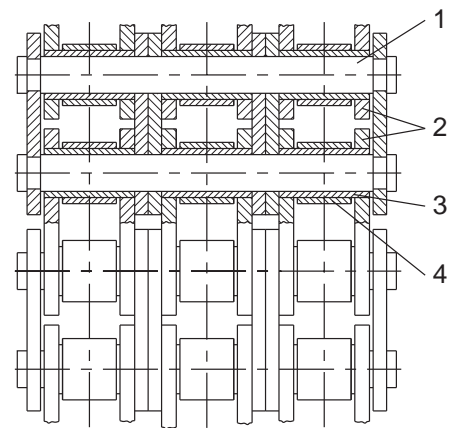
a rollenketting



b uitvoeringsvorm enkel



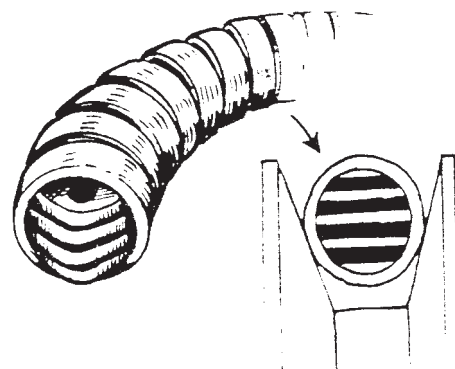
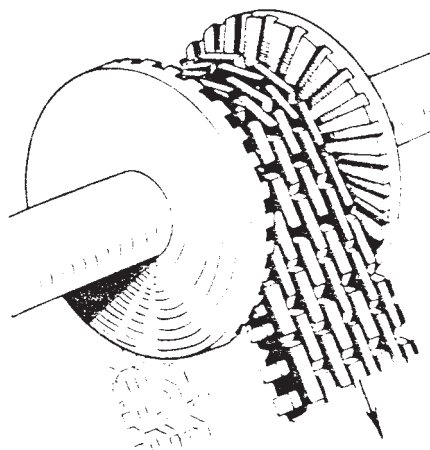
c uitvoeringsvorm duplex



d uitvoeringsvorm triplex

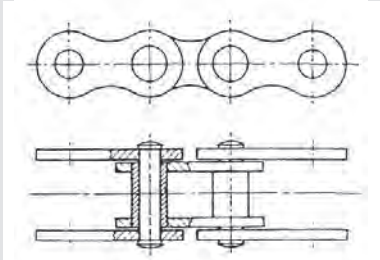
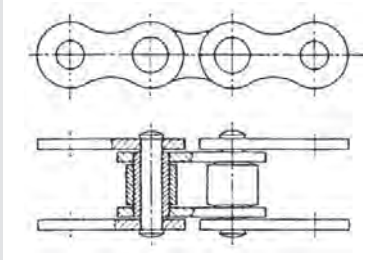
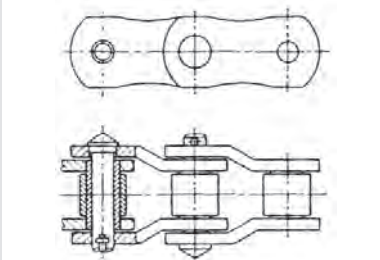
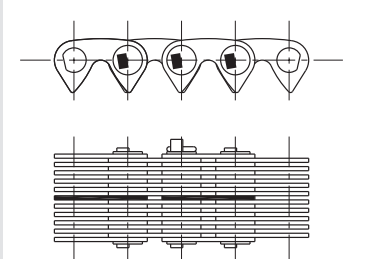
Figuur 5.28 Triplex en duplex rollenketting

- kettingen voor variatoren, zoals een lamellenketting of een ringketting. Zie figuur 5.29.



Figuur 5.29 Lamellenketting en ringketting

In tabel 5.6 zie je een overzicht van verschillende soorten aandrijfkettingen.

TABEL 5.6 A ANDRIJFKETTINGEN		
vorm/benaming	beschrijving	toepassingsgebied
 <p>hulzenketting DIN 8164</p>	<p>Bussen en pennen zijn niet geborgd tegen verdraaien. Bussen uit staalband gebogen. Laag gewicht en goede smering.</p>	<p>Voor bedrijfszeker gebruik, met goede mogelijkheid voor smering (veel toegepast in vrachtauto's). Geschikt voor lage kettingsnelheden.</p>
 <p>rollenketting DIN 8187</p>	<p>Bussen geperst in binnenleden; gehard stalen rol draaibaar om de bussen. Pennen en bussen zijn niet geborgd.</p>	<p>Meestgebruikte ketting voor aandrijving (fietsen, motorfietsen, auto's, enz.).</p>
 <p>rotaryketting DIN 8182</p>	<p>Leden zijn onder een hoek gezet, pennen en bussen zijn geborgd tegen verdraaien. Grote elasticiteit.</p>	<p>Zware aandrijvingen met stotende belasting (baggermachines en aardolieboormachines).</p>
 <p>tandketting</p>	<p>Het scharnier bestaat uit twee delen, namelijk de lageras en de schommel. Over het scharnier is een aantal zijplaten geschoven. De tanden van de leden vormen samen de tanden van de ketting. De kettingsteek <math>p</math> is gegeven in gebroken-inchmaten.</p>	<p>Grote vermogens mogelijk (vrachtwagens, werktuigmachines en transportkettingbedrijf). Hoge betrouwbaarheid en duurzaamheid.</p>

Je kunt normale rollenkettingen in aangepaste vorm ook voor transportbanen gebruiken. Dit is een verstandige keuze als er bij hogere temperaturen wordt gewerkt, zoals in ovens van broodfabrieken.

### Kettingafmeting

De zwaarte van een ketting wordt bepaald door de hartafstand tussen twee pennen. Deze afstand noemen we steek  $\pi$  en wordt meestal aangegeven in mm. Inchmaten moeten we eerst omrekenen in mm. In verband met de afmetingen en de overbrengingsverhouding is ook het aantal tanden  $z$  belangrijk. De middellijn van de steekcirkel kun je op de volgende manier berekenen:

$$d = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z}} \quad (15.4)$$

Met:

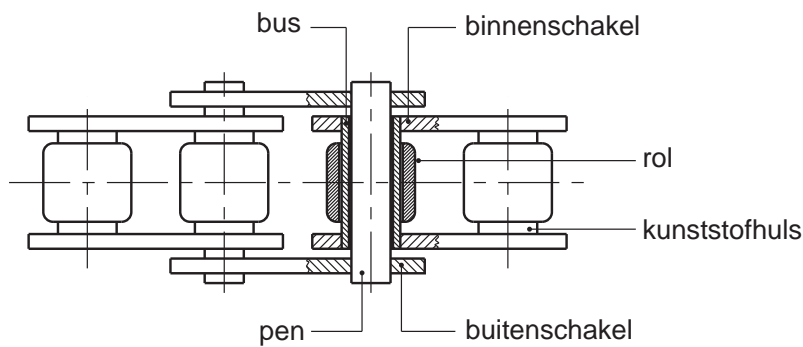
- $d$  = de middellijn van de steekcirkel in mm;
- $p$  = de steek in mm;
- $z$  = het aantal tanden van het tandwiel.

De kettinglengte kun je afleiden uit de omlooptlengte. Rond deze af op een veelvoud van de steek.

### Slijtage en smeren van kettingen

Door slijtage bij een ketting wordt de kettingsteek groter en dus ook de kettinglengte. Omdat de steek groter wordt, past de ketting niet meer precies op het kettingwiel. Dat veroorzaakt slijtage aan het kettingwiel en de rollen. Daarom moet je bij het vervangen van de ketting ook de kettingwielen vervangen. Normaalgesproken vervangen we een ketting als hij 2 % langer is geworden dan zijn oorspronkelijke lengte (afhankelijk van de toepassing). Overmatige slijtage in de draaipunten tussen bussen, pennen en rollen kun je tegengaan door te smeren.

Het is niet altijd mogelijk een ketting tijdens het bedrijf te smeren. Bijvoorbeeld als de constructie niet toegankelijk is. Ook zijn olievlekken soms onacceptabel, zoals bij textielmachines en machines in de voedingsmiddelenindustrie. In deze gevallen wordt er vaak een ketting gebruikt met kunststof glijlagers tussen de hulzen en de pennen van de kettingscharnieren. Omdat glijlagers ongevoelig zijn voor vocht hoeven we de ketting dan niet te smeren. Zie figuur 5.30a.



a kunststof-gelagerd



b sinterstalen hulzen

Figuur 5.30 Zelfsmerende kettingscharnieren

Je kunt ook een ketting gebruiken met hulzen van met olie geïmpregneerd sinterstaal. Onder belasting wordt de olie uit de poriën van het sinterstaal geperst. Onbelast wordt die olie als gevolg van de capillaire werking weer door het staal opgenomen. Zie figuur 5.30b.

## 5.7 Kernpunten

Je kunt het over te brengen moment bij riem- en kettingaandrijvingen berekenen met de formule:

$$P = M_w \times 2\pi \times n$$

Met:

- $P$  = het over te brengen vermogen in watt;
- $n$  = rotatiefrequentie in  $\text{sec}^{-1}$ ;
- $M_w$  = moment in N·m.

Het uitgaande toerental van een overbrenging bereken je met de formule:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

Met:

- $n$  = rotatiefrequentie in  $\text{sec}^{-1}$ ;
- $d$  = middellijn in mm;
- $z$  = aantal tanden.

Vlakke riemen worden gebruikt in overbrengingen en voor transport.

De omlooptlengte van een vlakke riemoverbrenging bereken je met de formule:

$$l = 2 \times b + 1,57 \times (D + d) + \frac{(D + d)^2}{4 \times b} \quad (15.1)$$

Met:

- $l$  = omlooptlengte in mm;
- $b$  = asafstand van de wielen in mm;
- $D$  = middellijn van het grootste wiel in mm;
- $d$  = middellijn van het kleinste wiel in mm.

Bij een V-riemoverbrenging is de radiale kracht vrij klein. Hierdoor is de lagerbelasting klein. Er zijn V-riemen met een normaal profiel en V-riemen met een smal profiel. V-riemen met open flanken kunnen grote vermogens overbrengen. Een brede V-riem gebruik je voor traploos verstelbare aandrijvingen. Ronde V-riemen gebruik je in precisie-instrumenten.

Overbrengingen met tandriemen zijn slipvrij. Je kunt er vermogens tot 100 kW mee overbrengen. Tandriemen hebben verschillende tandtypen. De codering 250 5M 16 van een tandriem betekent:

- De riemlengte van de tandriem is 250 mm.
- Het getal 5 geeft de tandsteek aan. De letter M staat voor het type tandriem.
- Het laatste getal geeft de tandriembreedte aan.

Het polygooneffect veroorzaakt klapperende kettingoverbrengingen. Het effect wordt kleiner als het aantal tanden van het kettingwiel groter wordt.

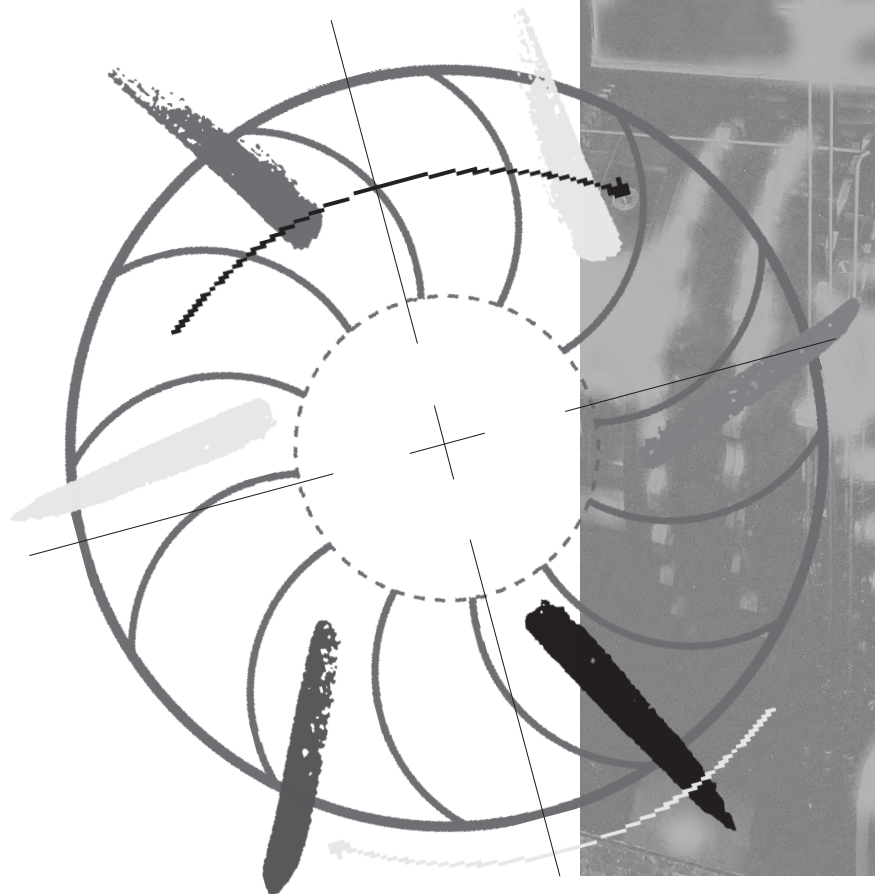
Een kettingoverbrenging moet regelmatig nagespannen worden. Kunststofwielen verminderen het lawaai bij kettingoverbrengingen. Bij een goede kettingoverbrenging is het aantal tanden van drijvend en gedreven wiel meer dan 50. De overbrengingsverhouding mag niet groter zijn dan 10. De assen moeten bij voorkeur horizontaal staan.





# Verbindungstechniken

6



## 6.1 Inleiding

Als je goed kijkt naar de producten om je heen, zie je dat bijna alle producten zijn opgebouwd uit losse onderdelen. De verbindingen tussen deze onderdelen kun je soms losmaken en soms niet, tenminste niet zonder het product te beschadigen. In de meeste constructies worden verschillende verbindingsmethodes toegepast. Zie figuur 6.1.



*Figuur 6.1* Verbindingsmethodes

Herken je in de figuur de verbindingsmethodes die zijn toegepast? In dit hoofdstuk leer je meer over bevestigingsmiddelen en verbindingsmethodes. Je leert ook waar en wanneer je deze verbindingsmethodes het best kunt toepassen en hoe je verbindingen kunt borgen.

## 6.2 Niet-losneembare verbindingen

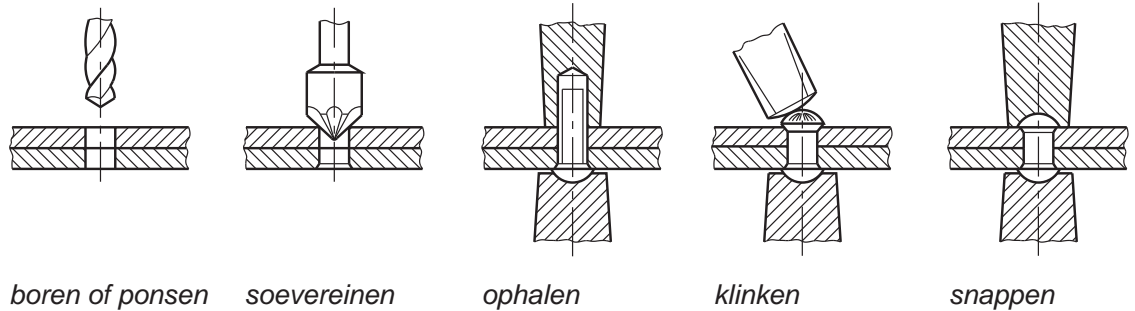
Niet-losneembare verbindingen kun je alleen verbreken door ze stuk te maken. Daarbij worden de gescheiden onderdelen meestal beschadigd, je kunt ze niet meer opnieuw gebruiken.

Niet-losneembare verbindingen zijn bijvoorbeeld:

- klinken;
- felsen;
- lassen;
- solderen;
- lijmen.

## 6.2.1 Klinken

Klinken is één van de eerste methoden voor het verbinden van verschillende constructiedelen. Het klinken werd vroeger veel toegepast in de staalbouw. Bij het klinken ontstaat een sterke, niet-losneembare verbinding. Het klinkproces wordt in een aantal stappen uitgevoerd. Zie figuur 6.2.



Figuur 6.2 Stappen bij het klinken

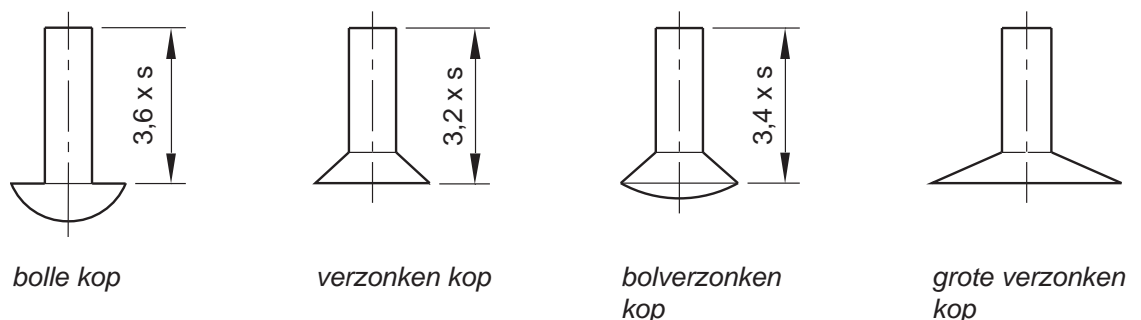
Je kunt handmatig klinken of met klinkmachines. Klinkmachines worden pneumatisch of hydraulisch aangedreven en hebben vaak een CNC-besturing. Bij het ontwerpen van een klinkverbinding moet je er rekening mee houden dat er aan beide kanten van de naad voldoende ruimte is. Als er te weinig ruimte is kan het klinkproces niet goed worden uitgevoerd.

Een nadeel van klinken is dat de constructiedelen verzwakt worden door het boren van gaten voor de klinknagels. Verder kan het maken van de verbinding tijdrovend zijn.

Afhankelijk van de naad kunnen we klinknagels in vier groepen indelen. Er zijn klinknagels met:

- bolle kop (normaal);
- verzonken kop (vlak oppervlak, goede afdichting);
- bolverzonken kop (vlak oppervlak, goede afdichting);
- extra grote verzonken kop (zacht materiaal).

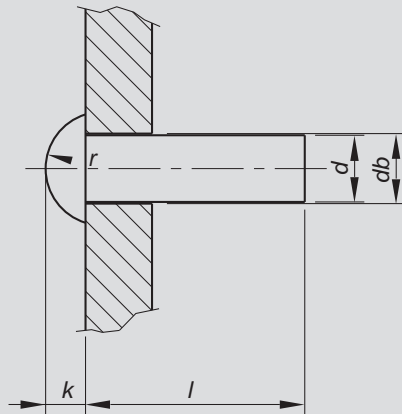
Zie figuur 6.3.



Figuur 6.3 Soorten klinknagels

Klinknagels moeten van hetzelfde materiaal zijn gemaakt als de constructiedelen die ze verbinden. Anders ontstaat er corrosie op de plaats van de verbinding. Gebruik dus geen aluminium klinknagels in koperen of stalen platen. De sterkte van de verbinding wordt bepaald door de middellijn van de klinknagel en door het aantal klinknagels dat je gebruikt voor de verbinding. De nagelmiddellijn is verder afhankelijk van de dikte van de klinkverbinding. Zie tabel 6.1.

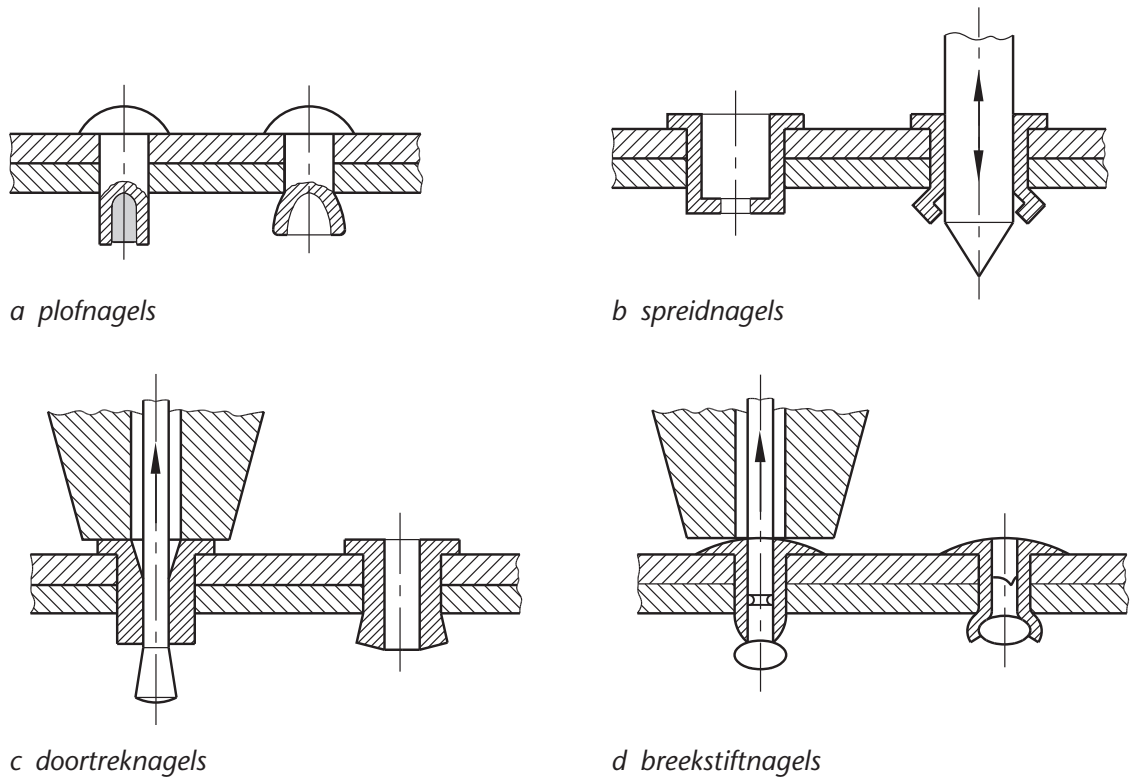
**TABEL 6.1 RICHTWAARDEN KLINKEN**



$d$	$db$	$k$	$r$	$l$	
				van	t/m
2	2,1	1,2	1,9	6	12
2,5	2,6	1,5	2,4	6	20
3	3,1	1,5	2,4	6	20
4	4,2	2,4	3,4	6	50
5	5,2	3	4,6	8	60
6	6,3	3,6	5,7	10	60
8	8,4	4,8	7,5	1	60

### Blindklinknagels

Om een klinkverbinding te maken moet het werkstuk aan beide zijden goed bereikbaar zijn. Als beide zijden niet goed bereikbaar zijn moet je andere technieken toepassen. Eén van die technieken is het gebruik van blindklinknagels. Er zijn verschillende soorten blindklinknagels. Zie figuur 6.4.

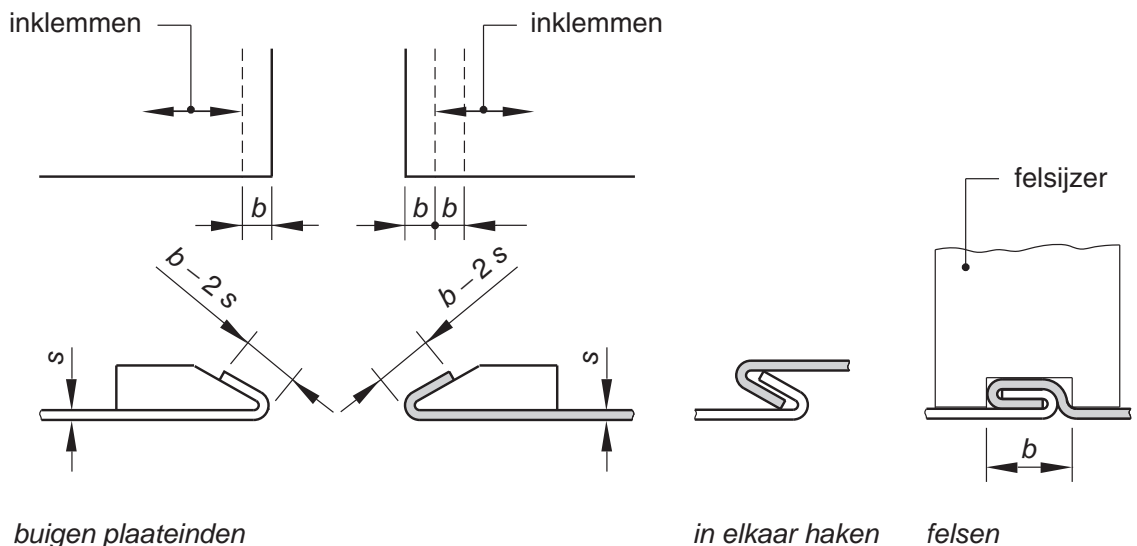


Figuur 6.4 Blindklinkmogelijkheden

De verschillende blindklinktechnieken zijn alleen geschikt voor het verbinden van materialen tot een dikte van 4 mm. Bij blindklinknagels moet je bij de materiaalkeuze ook rekening houden met het voorkomen van corrosie.

### 6.2.2 Felsen

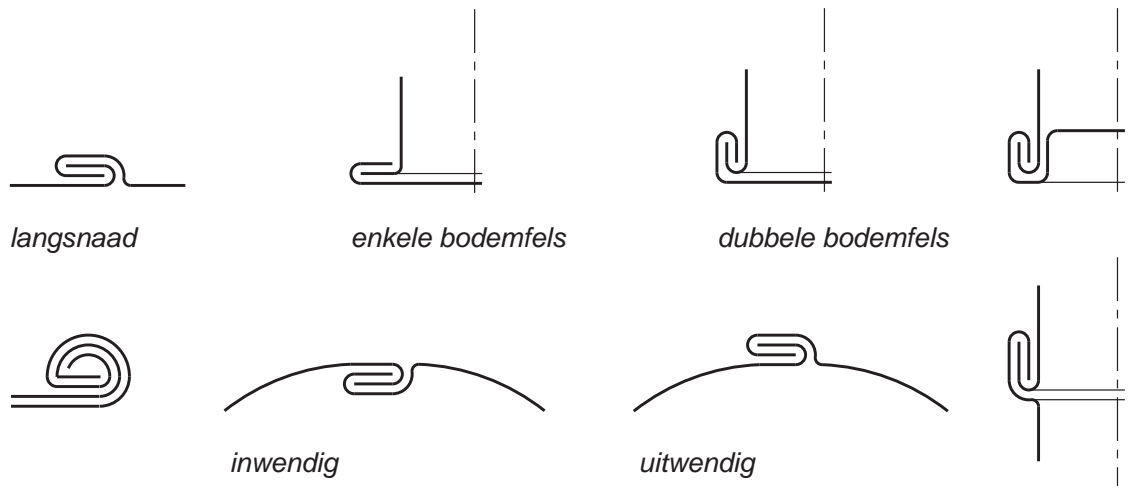
We kunnen platen ook verbinden door de plaatenden te buigen en in elkaar te haken. We noemen dat *felsen*. Zie figuur 6.5.



Figuur 6.5 Stadia bij het felsen

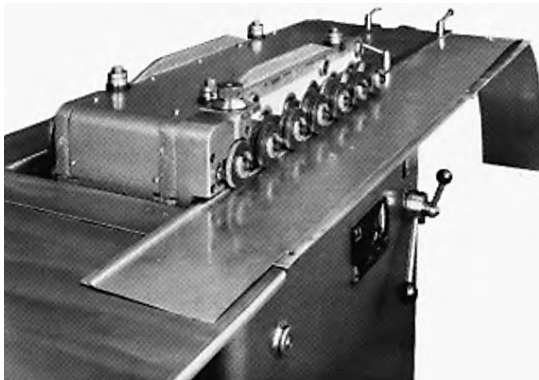
Om een felsverbinding tot stand te brengen, hebben we extra materiaal nodig. Dat extra materiaal is ongeveer gelijk aan drie keer de breedte van de felsnaad: één keer de breedte aan de ene plaatkant en twee keer de breedte aan de andere plaatkant.

Er zijn verschillende constructies om platen met felsen te verbinden. De platen kunnen daarbij in elkaars verlengde liggen of haaks op elkaar staan. Zie figuur 6.6.



Figuur 6.6 Felsconstructies

Er zijn felsmachines die felsverbindingen in één bewerking kunnen uitvoeren. Er zijn ook felsmachines waarmee rondgaande felsnaden en langsnaden voor vaten en uitlaatdempers gemaakt kunnen worden. Zie figuur 6.7.



a langsnaden

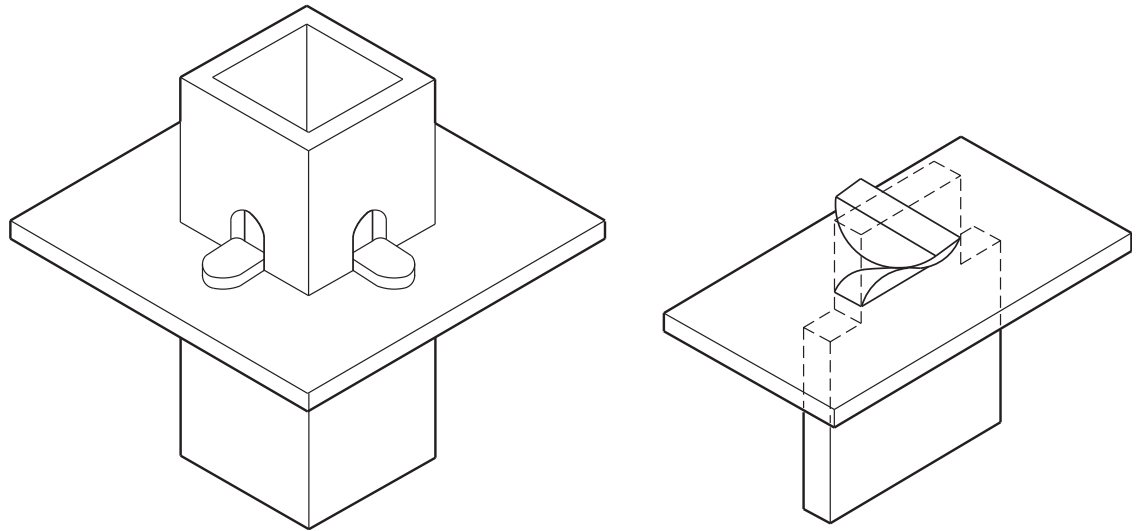


b rondgaande naden met elektrisch handgereedschap

Figuur 6.7 Felsen

### Lipjes

Losse delen van in serie gefabriceerde producten worden vaak aan elkaar gekoppeld door lipjes om te buigen of te torderen. Afhankelijk van de eisen aan de verbindingconstructie kies je voor buigen of voor torderen. Zie figuur 6.8.



*a gebogen lippen*

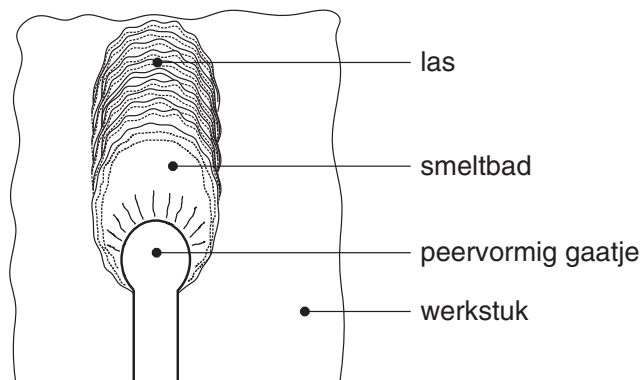
*b getordeerde lip*

*Figuur 6.8 Verbindingen door lipjes*

### 6.2.3 Lassen

Door de hoge kwaliteit van lasverbindingen is lassen een zeer belangrijke verbindingstechniek. Lasverbindingen kun je onderverdelen in *smeltlassen* en *druklassen*.

Bij smeltlassen worden de verbindingdelen in vloeibare toestand gebracht, waarna het materiaal in elkaar overvloeit. Indien nodig wordt er een extra toevoegmateriaal gebruikt dat ongeveer dezelfde samenstelling heeft als het basismateriaal. Zie figuur 6.9.



*Figuur 6.9 Lasverbinding*

Ook is het mogelijk twee delen van verschillende materialen door smeltlassen met elkaar te verbinden. Het toevoegmateriaal moet in dit geval op de materiaalcombinatie worden afgestemd.

Als tijdens het smeltlassen zuurstof en stikstof uit de lucht een verbinding aangaan met het vloeibare materiaal, ontstaat er een brosse verbinding. Om dit te voorkomen wordt er gebruik gemaakt van een beschermend gas of poeder.

Veel voorkomende lasprocessen zijn:

- booglassen met beklede elektrode (constructiestaal);
- MAG-lassen (constructiestaal);
- MIG-lassen (gelegeerd staal en non-ferro);
- TIG-lassen (gelegeerd staal en non-ferro tot 4 mm dik);
- plasmalassen (gelegeerd staal en non-ferro tot 2 mm dik);
- laserlassen (kleine plaatdiktes vanaf 0,1 mm).

Bij *druklassen* worden de verbindingdelen in een deegachtige toestand gebracht en samengeperst. Door de te verbinden delen wordt een elektrische stroom gevoerd nadat zij tegen elkaar zijn gedrukt. Door de hoge overgangsweerstand tussen de twee verbindingdelen wordt op de lasplaats zeer veel warmte ontwikkeld. Onder constante druk vloeien de twee delen vervolgens in deegachtige toestand aan elkaar vast.

Voorbeelden van druklasprocessen zijn:

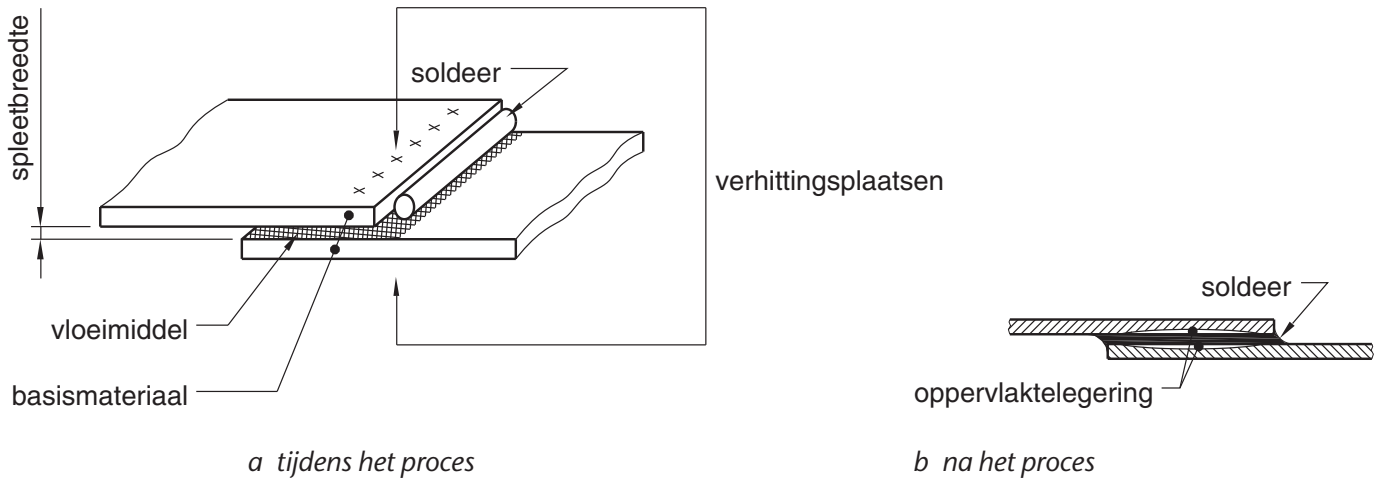
- puntlassen;
- rolnaadlassen;
- doordruklassen;
- stuiklassen;
- afbrandstuiklassen.

#### 6.2.4 Solderen

Bij het solderen bestaan de te verbinden delen uit dezelfde of verschillende metalen. De soldeerverbinding komt tot stand door indringing van gesmolten soldeermateriaal in het oppervlak van de te verbinden delen.

Bij het soldeerproces ontstaat de hechting pas tijdens het afkoelen. Het soldeermateriaal vormt dan een legering met de oppervlaktelaag van het basismateriaal. Zie figuur 6.10.





a tijdens het proces

b na het proces

Figuur 6.10 Soldeerverbinding

Soldeerprocessen zijn op basis van het soldeermateriaal globaal in twee gebieden in te delen. Zie tabel 6.2.

TABEL 6.2 INDELING VAN SOLDEERPROCESSEN			
proces	soldeermateriaal	smelttemperatuur	gebruikstemperatuur
zachtsolderen	tin-lood	90 – 450 °C	< 100 °C
hardsolderen	messing of zilver	450 – 900 °C	< 300 °C

Vooraf de mechanische sterkte en de gebruikstemperatuur bepalen de keuze voor een soldeerproces. Verder spelen ook de dikte van de te verbinden delen en het vereiste uiterlijk hierbij een rol.

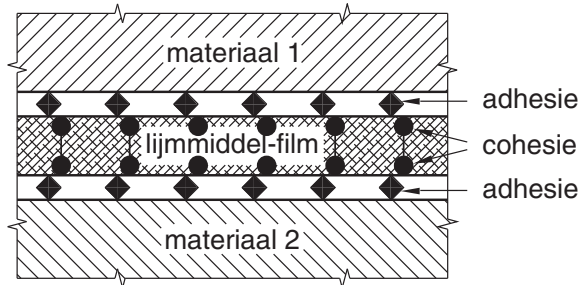
### 6.2.5 Lijmen

Synthetisch lijmen is een verbindingstechniek die men toepast voor het verbinden van metalen, glas en kunststoffen. De verbindende delen kunnen daarbij uit verschillende materialen bestaan.

Voor een goede hechting zijn de volgende factoren van belang:

- de absorptie van de lijm (hoe goed de lijm in het te lijmen materiaal wordt opgezogen);
- de adsorptie van de lijm (hoe goed de lijm zich hecht aan het oppervlak van het te lijmen materiaal).

Hardende lijmsorten hechten zich zowel door absorptie als adsorptie. Hierdoor is de sterkte en het hechtend vermogen van de lijm groot. De verbinding is na uitharding van de lijm vaak net zo sterk als het gelijmde materiaal. Zie figuur 6.11.



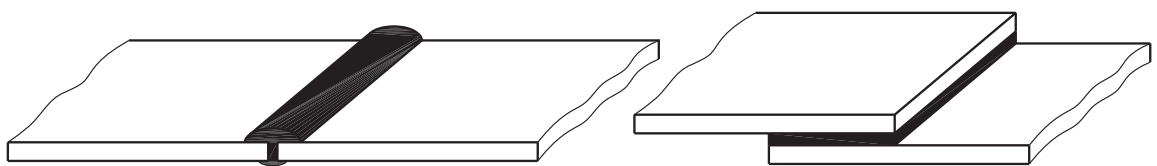
Figuur 6.11 Lijmverbinding

Contactlijmen zijn een voorbeeld van adhesielijm. Deze lijmsorten kenmerken zich door hun soepele lijmfilm.

Een lijmlaag is vooral goed bestand tegen een schuifbelasting. Daarmee moeten we rekening houden bij het ontwerp van de lijmverbinding.

### 6.3 Constructievormen

De naadvorm heeft veel invloed op de kwaliteit van een vaste verbinding. In principe zijn er twee hoofdvormen: de stompe verbinding en de overlapverbinding. Zie figuur 6.12.



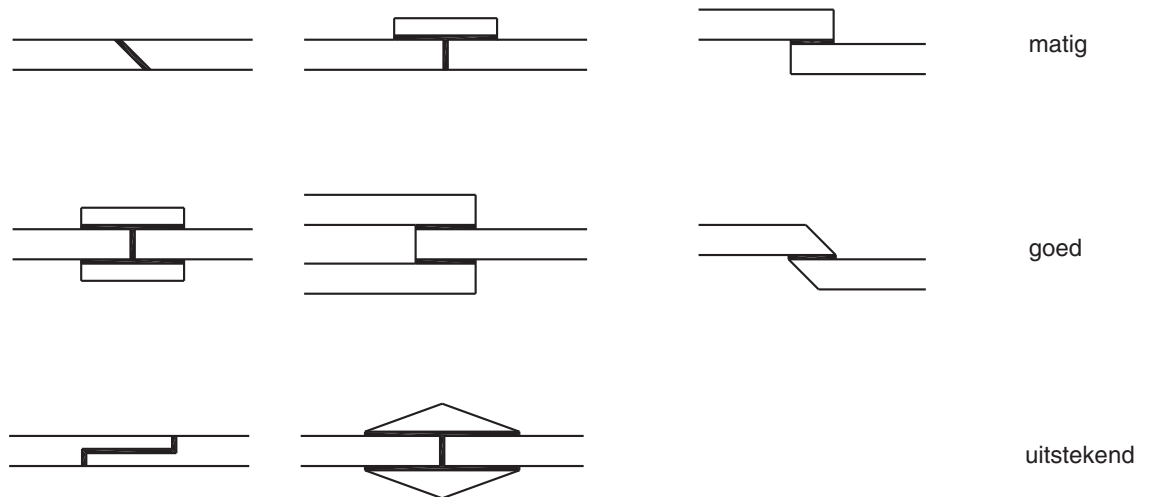
a stompe verbinding

b overlapverbinding

Figuur 6.12 Hoofdvormen vaste verbindingen

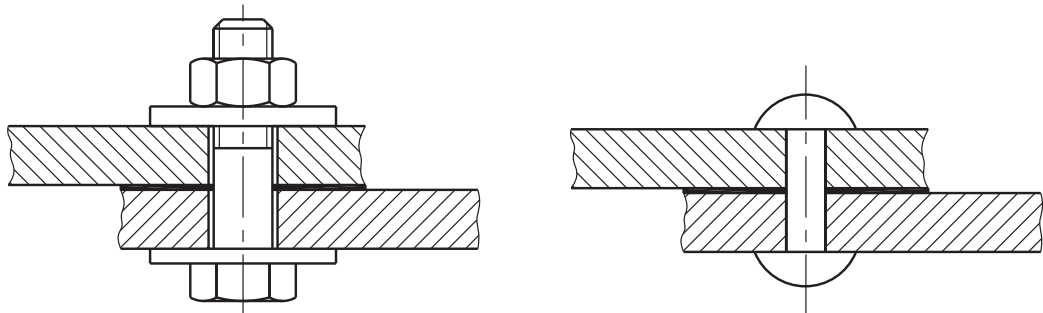
Bij de stompe verbinding zijn de te verbinden delen over de volle materiaaldikte verbonden. Bij de overlapverbinding worden de te verbinden delen in de langsrichting verbonden.

De stompe verbinding wordt vooral toegepast bij smellassen. Ook bij stuiklassen en afbrandstuiklassen ontstaat een stompe verbinding. Bij lijmverbindingen en de andere druklasverbindingen wordt meestal een overlapverbinding toegepast. De uiteindelijke sterkte van de verbinding hangt af van de manier en grootte van de overlap. Zie figuur 6.13.



Figuur 6.13 Overlapverbindingen

Bij het lijmen worden ook wel versterkte overlapverbindingen toegepast. De lijmverbinding wordt daarbij versterkt met bijvoorbeeld een bout, een puntlas of een klinknagel. Zie figuur 6.14.



a met schroefbout

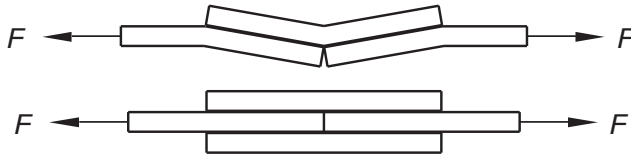
b met klinknagel

Figuur 6.14 Versterkte lijmverbinding

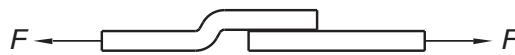
Bij een overlapverbinding van platen kan er vervorming optreden als de verbinding op trek wordt belast. Dat komt doordat de platen bij deze verbinding niet in elkaars verlengde liggen. Zie figuur 6.15a. Dit bezwaar wordt gedeeltelijk opgelost bij een enkele stripverbinding en geheel opgelost bij een dubbele stripverbinding. Zie figuur 6.15b.



a zuiver overlap



b stripverbinding

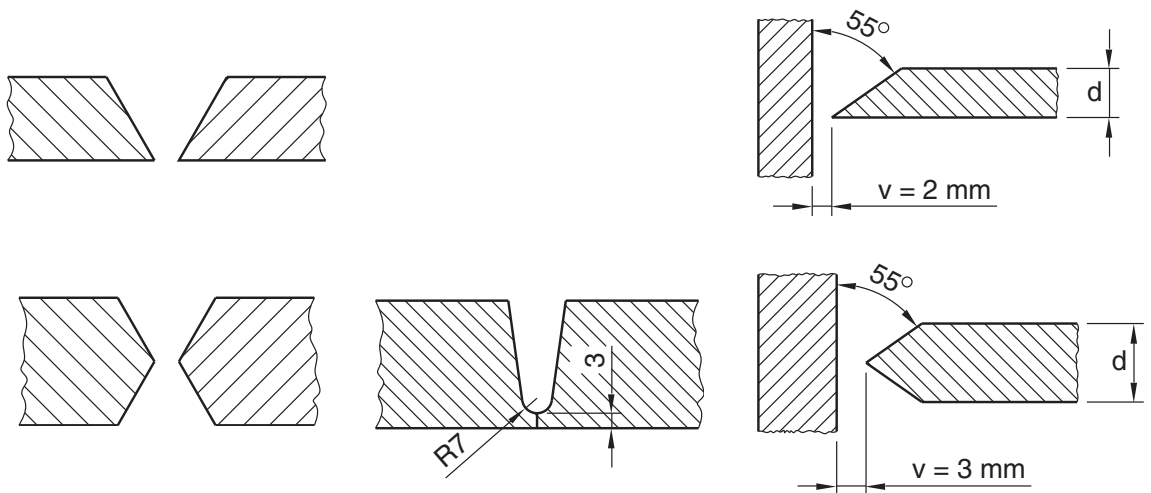


c aangepaste overlap

Figuur 6.15 Belasting in overlapverbindingen

Het nadeel van een dubbele stripverbinding is dat de constructie zwaarder wordt. De vervorming van de plaatdelen is ook op te lossen door de plaatoverlap aan te passen. Zie figuur 6.15c.

Bij dikkere materialen worden vaak lasnaadvormen met stompe verbindingen toegepast. Afhankelijk van het lasproces treedt er een bepaalde inbrandingsdiepte op. Dit is de diepte tot waar het te verbinden materiaal tijdens het lassen vloeibaar is geworden. Om bij dikkere delen een voldoende sterke stompe lasverbinding verkrijgen moet de lasnaad voorbereid worden. Enkele voorbeelden van voorbereidte stompe lasnaden zijn de V-naad, de X-naad, de K-naad en de U-naad. Zie figuur 6.16.



a V- en X-naad

b U-naad

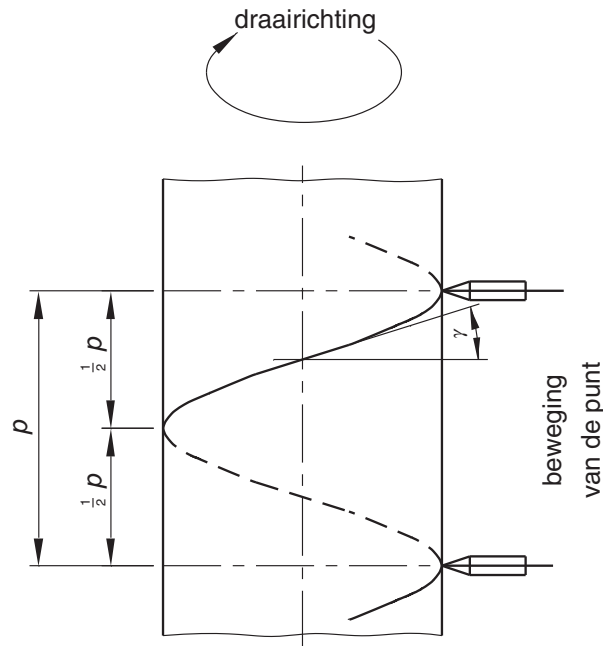
c halve en hele K-naad

Figuur 6.16 Lasnaadvormen bij stompe verbindingen

## 6.4 Schroefdraad

Het NNI (Nederlands Normalisatie Instituut) geeft allerlei normbladen uit over schroefdraadverbindingen. Behalve de NEN (Nederlandse Normen) gebruik je in Nederland vaak DIN (Deutsche Industrie Normen). Omdat sommige Nederlandse normen de Duitse normen overlappen, adviseert het NNI het gebruik van DIN. Een volledig overzicht over verbindingsoorten staat in NEN-ISO 225, een uitgave van het NNI.

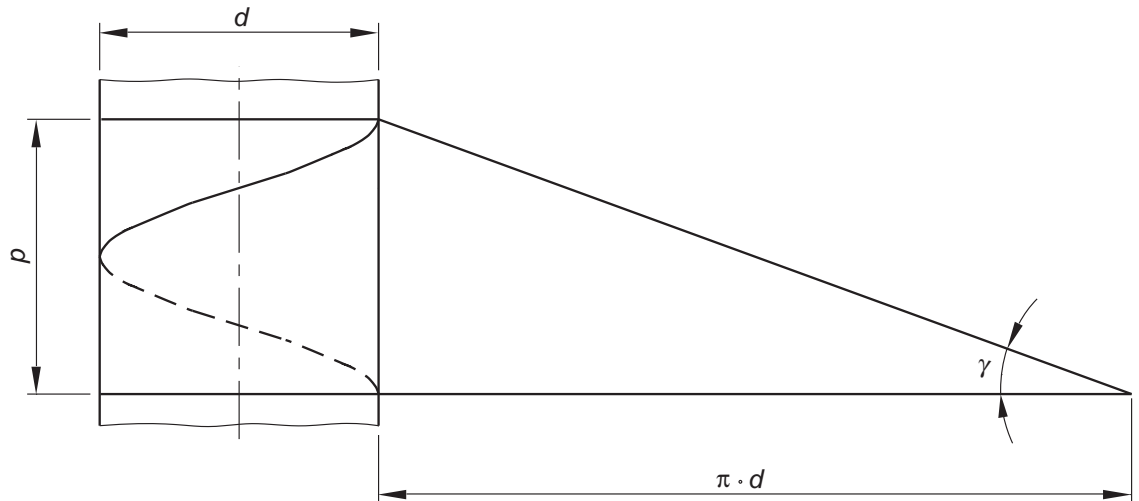
Het principe van elke schroefdraad is een schroeflijn op een cilinder. Zo'n schroeflijn ontstaat als een punt met eenparige snelheid een beschrijvende lijn over een cilindermantel maakt. De cilinder draait daarbij met eenparige snelheid om zijn as terwijl het punt zich omhoog verplaatst. Deze verplaatsing noemen we de spoed  $p$ . Zie figuur 6.17.



Figuur 6.17 Rechtse schroeflijn op een cilinder

De schroeflijn in figuur 6.17 is *rechts*, omdat hij stijgend van links onder naar rechtsboven gaat.

Als je de schroeflijn zou afwikkelen van de cilinder (met behoud van de spoed), krijg je een situatie als in figuur 6.18.



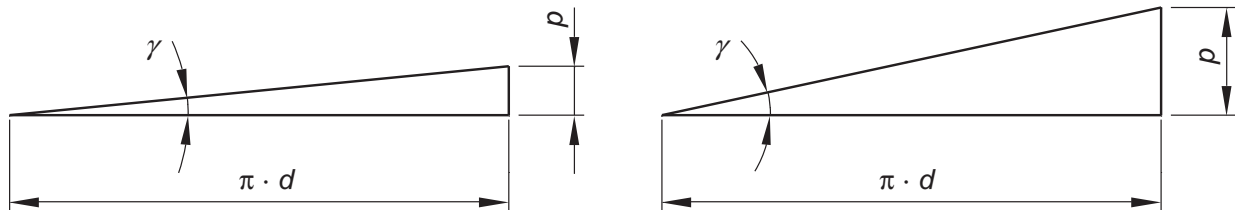
Figuur 6.18 Spoeddriehoek

Met *bevestigingsschroefdraad* verbind je onderdelen met elkaar. *Bewegingschroefdraad* zet een ronddraaiende beweging van de schroefspil om in een rechtlijnige beweging van de moer, of omgekeerd. Als de schroefspil van een schroefvijzel draait, komt de spil vanuit de stilstaande moer omhoog. Zie figuur 6.19.



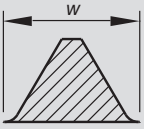
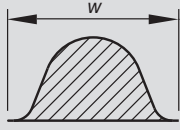
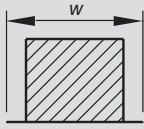


Figuur 6.19 Schroefvijzels

Bevestigingsschroefdraad heeft een relatief kleinere spoed dan bewegingsschroefdraad. Als je de moer voorstelt als een voorwerp op een hellend vlak, zie je dat de helling bij grotere spoed steiler wordt. Bij bevestigingsschroefdraad kan de moer dus niet zo gemakkelijk wegglijden. De moer zal dus minder gemakkelijk loskomen. Zie figuur 6.20.



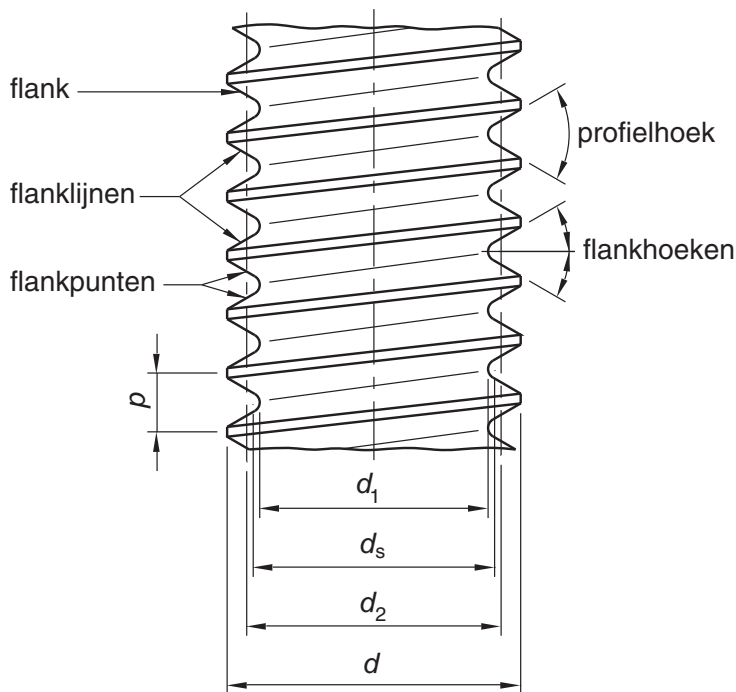
Figuur 6.20 Invloed van de spoeddriehoek

Er zijn verschillende soorten schroefdraadprofiel. Elke profielsoort heeft zijn specifieke toepassingsmogelijkheden. Zie tabel 6.3.

TABEL 6.3 SCHROEFDRAADPROFIELEN		
profielvorm	benaming	toepassing
	driehoekig	bouten moeren schroeven fittings
	rond	slangkoppelingen schroefdoppen lampvoeten
	rechthoekig	transport- schroefassen
	trapezium	transport- schroefassen (zonder speling)
	zaagtand	vijzelspillen
		bevestigen
		bewegen

## 6.5 Bevestigingsschroefdraad

Bevestigingsschroefdraad heeft meestal een driehoekig profiel. De hoeken van de driehoek zijn in de groef en op de kop afgerond en afgetopt. De profielhoek en (dus ook) de flankhoeken zijn afhankelijk van het soort schroefdraad. De schroefdraad kan verschillende afmetingen hebben met bijbehorende genormaliseerde benamingen. Zie figuur 6.21.



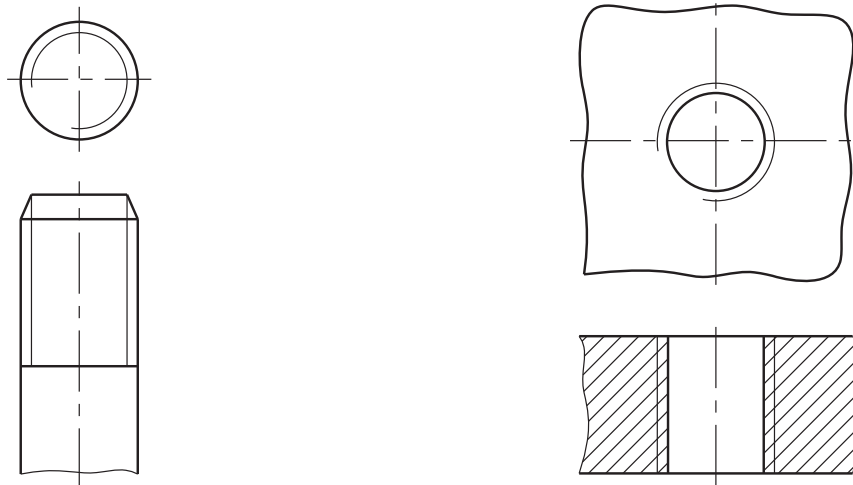
$d$ = buitenmiddellijn	$d_s$ = spanningsmiddellijn
$d_1$ = kernmiddellijn	$d_s = \frac{d_1 + d_2}{2}$
$d_2$ = flankmiddellijn	$p$ = spoed
$d_2 = \frac{d + d_1}{2}$	

Figuur 6.21 Basisprofiel bevestigingsschroefdraad

Bij bevestigingsschroefdraad is de spanningsmiddellijn belangrijk voor de berekening van de sterkte op trekbelasting.

In technische tekeningen gebruiken we de vereenvoudigde manier van tekenen voor buiten- en binnendraad. Zie figuur 6.22.





a buitendraad

b binnendraad

Figuur 6.22 Vereenvoudigd tekenen van schroefdraad

In de loop van de tijd zijn er steeds meer verschillende schroefdraadprofielen en spoed-middellijncombinaties ontstaan. Engelstalige landen (zoals de Verenigde Staten, Canada, Engeland en Australië) hebben een normalisatiesysteem dat gebaseerd is op gebroken inchmaten. Het Europese vasteland gaat uit van het metrische stelsel.

Inmiddels zijn de verschillende landen het eens over één profiel voor bevestigingsschroefdraad: het *ISO-schroefdraadprofiel*. Dit driehoekige profiel heeft een profielhoek van  $60^\circ$ . Daaraan voldoen bij ons de metrische schroefdraad en de unieschroefdraad. Het profiel is geschikt voor algemeen gebruik.

Bovendien hebben de Engelstalige landen besloten over te gaan op het metrische stelsel. Ook daar zal dus de metrische schroefdraad standaard worden. Een uitzondering hierop is de schroefdraad voor pijpverbindingen.

### 6.5.1 Metrische schroefdraad

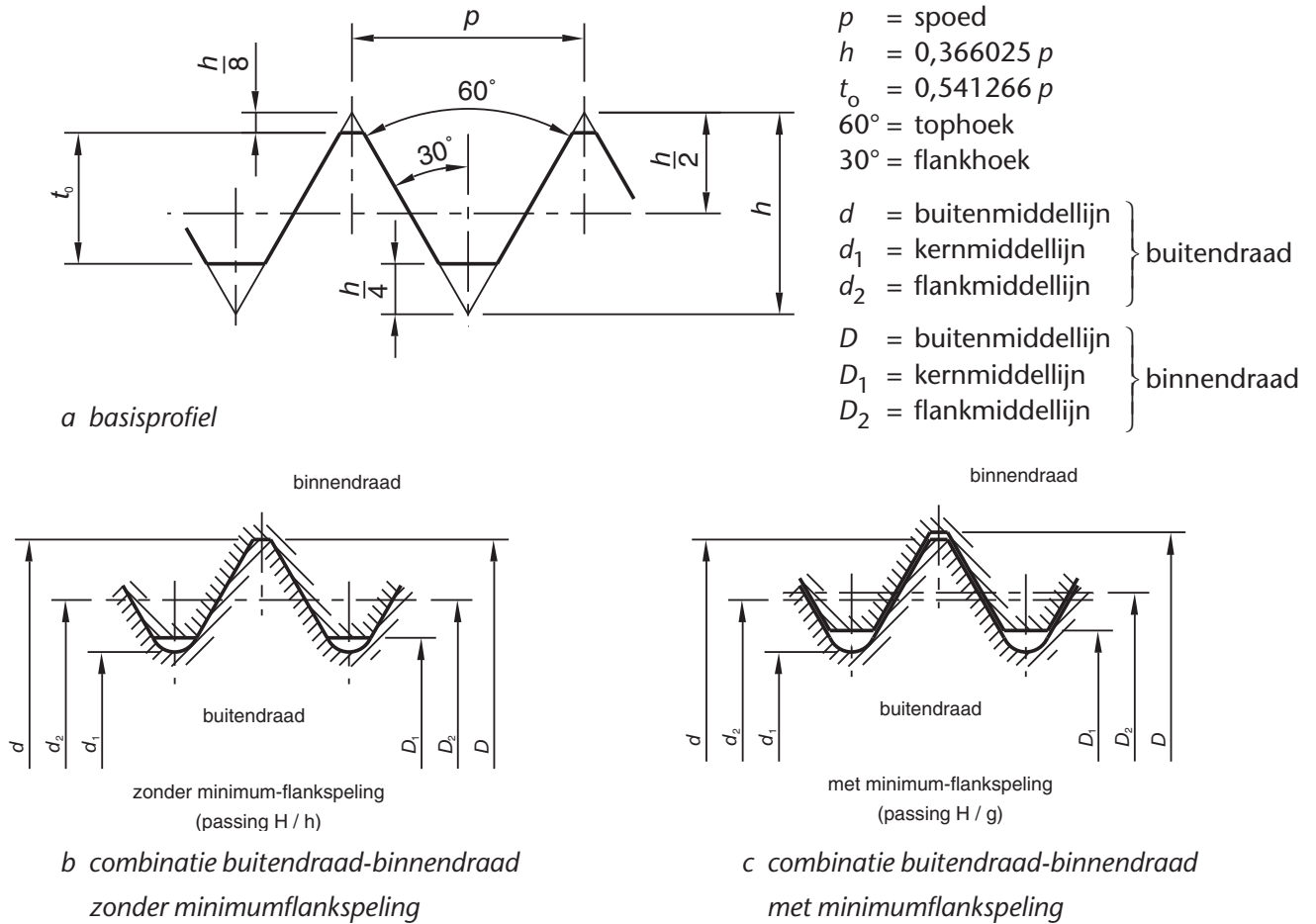
Metrische schroefdraad met een grove spoed is genormaliseerd in DIN 13 T1 of NEN-ISO 724. Je geeft dit soort schroefdraad aan met bijvoorbeeld M12.

Dat wil zeggen: metrische schroefdraad met een buitenmiddellijn van 12 mm.

De overige afmetingen kun je in tabellen opzoeken.

De normalisatie NEN-ISO 68 gaat uit van het basisprofiel en de combinatie buitendraad/binnendraad, respectievelijk zonder en met minimumflankspeling.

Zie figuur 6.23.

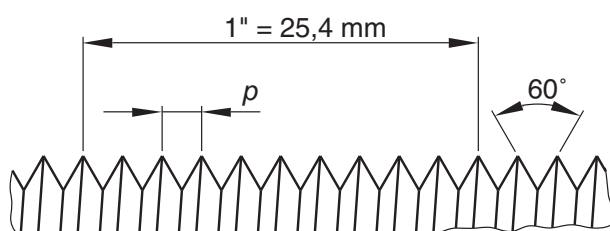


Figuur 6.23 Draadprofiel metrische schroefdraad

Metrische schroefdraad met een fijne spoed is genormaliseerd in DIN 13 T2. Volgens DIN 13 heeft metrische schroefdraad M12 een spoed van 1,75 mm en kun je bij metrische fijne schroefdraad M12 kiezen uit de spoeden 1 mm en 1,25 mm en 1,5 mm. Dit soort schroefdraad geef je aan met bijvoorbeeld  $M12 \times 1,5$ .

### 6.5.2 Unieschroefdraad

Unieschroefdraad grof (UNC) is genormaliseerd in NEN 1244. Je geeft dit soort schroefdraad aan met bijvoorbeeld  $3/4 - 10 \text{ UNC}$ . Dat wil zeggen: de buitenmiddellijn van de schroefdraad is  $3/4 \text{ inch} = 3/4 \times 25,4 \text{ mm} = 19,05 \text{ mm}$ , waarbij de schroefdraad 10 gangen per inch heeft. Zie figuur 6.24.



Figuur 6.24 Aantal gangen per inch

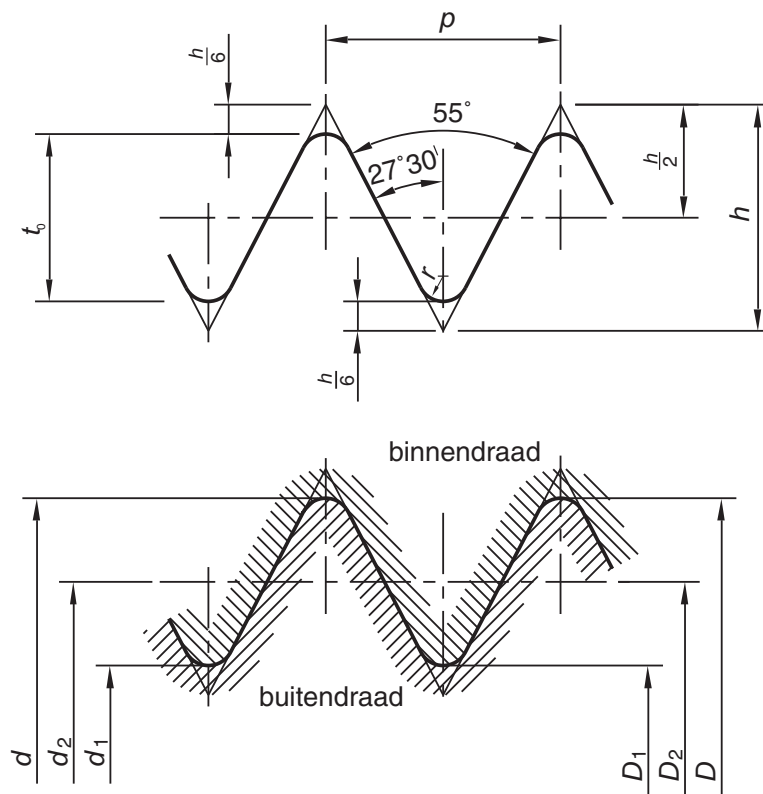
De spoed kun je als volgt berekenen:

$$p = \frac{25,4}{10} = 2,54 \text{ mm}$$

Unieschroefdraad fijn (UNF) is genormaliseerd in NEN 1318. Je geeft UNF aan met bijvoorbeeld  $3/4 - 16 \text{ UNF}$ .

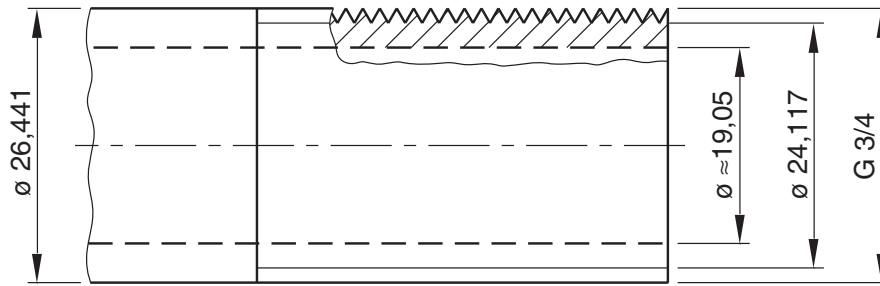
### 6.5.3 Bevestigingspijp-schroefdraad

Bevestigingspijp-schroefdraad is genormaliseerd in NEN-EN 10227. Je geeft dit soort schroefdraad aan met bijvoorbeeld G3/4. De profielhoek van deze schroefdraad is  $55^\circ$ . Het schroefdraadprofiel heeft een afgeronde top. Zie figuur 6.25.



Figuur 6.25 Draadprofiel bevestigingspijp-schroefdraad

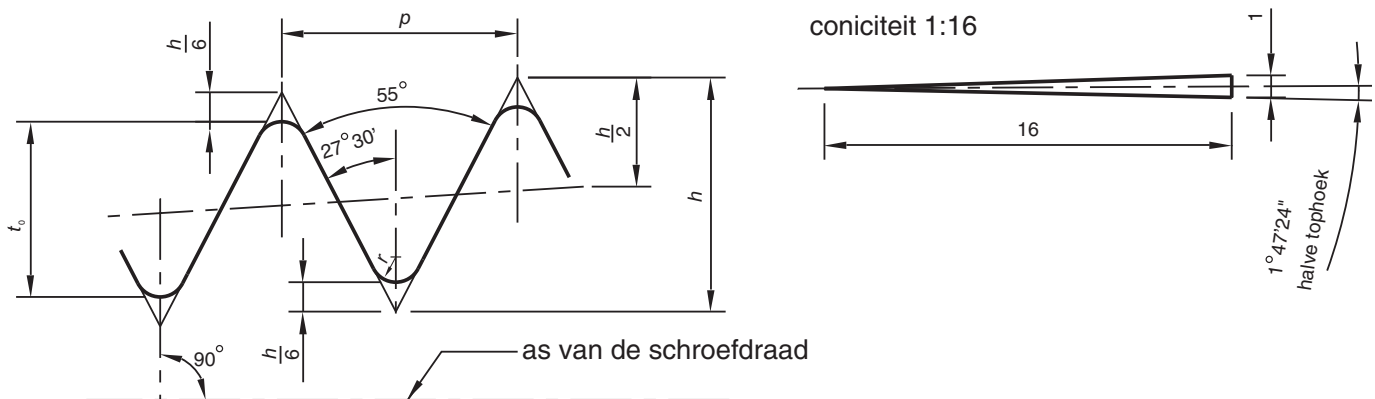
De letter G in de aanduiding G3/4 is een afkorting van *gasdraad*, een veelgebruikte naam voor deze draadsoort. De maataanduiding achter de G staat voor de nominale inwendige middellijn (in inches) van de genormaliseerde gaspijp waarop je deze draad snijdt. Hierdoor is de buitenmiddellijn van de schroefdraad G3/4 niet 19,05 mm, maar 26,441 mm. Zie figuur 6.26.



Figuur 6.26 Bevestigingspijp-schroefdraad G3/4

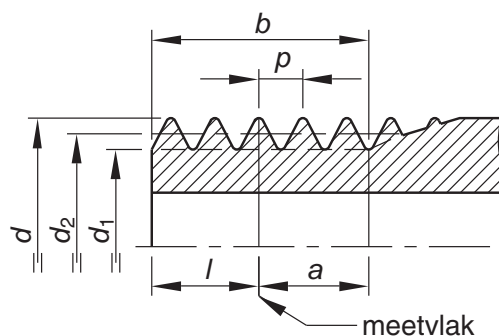
Afdichtende pijpschroefdraad (R) is genormaliseerd in NEN-EN 10226. De norm slaat op draadpijpen en de onderdelen die daarop direct aansluiten. Aan de afsluiting op de schroefdraad komen dus geen andere hulpmiddelen te pas. Het basisprofiel komt overeen met dat van bevestigingspijp-schroefdraad. De buitendraad is conisch, met een coniciteit 1 : 16. De aanduiding is bijvoorbeeld R3/4. Zie figuur 6.27.

#### Basisprofiel conische schroefdraad



Figuur 6.27 Afdichtende pijpschroefdraad

De buitenmiddellijn van 26,441 mm meet je af op een van tevoren vastgelegd meetvlak. Zie figuur 6.28. De binnendraad kan cilindrisch zijn. Je geeft hem dan aan met bijvoorbeeld Rp3/4.



Figuur 6.28 Meetvlak afdichtende pijpschroefdraad

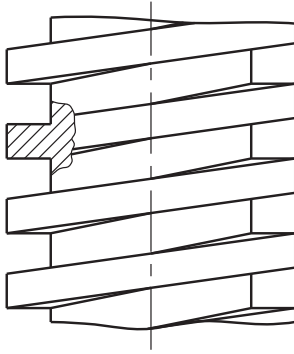
Je gebruikt deze draadsoort als de pijp of mof waarop de binnendraad gesneden is een vervorming kan ondergaan. Met een aanduiding als Rc3/4 laat je zien dat de binnendraad conisch is.

In tabel 6.4 zie je een overzicht van de drie genoemde schroefdraadsoorten en hun onderlinge verschillen.

TABEL 6.4 OVERZICHT BEVESTIGINGSSCHROEFDRADEN						
benaming	metrische schroefdraad		unieschroefdraad		bevestigingspijp-schroefdraad	
uitvoering	grof	fijn	grof	fijn	niet-afdichtend	afdichtend
voorbeeld-aanduiding	M12	M12 × 1,5	3/4 – 10 UNC	3/4 – 16 UNF	G3/4	R3/4, Rp3/4, Rc3/4
betekenis-aanduiding	– buiten-middellijn 12 mm	– buiten-middellijn 12 mm	– buiten-middellijn 3/4 inch	– buiten-middellijn 3/4 inch	– schroefdraad voor een genormaliseerde gasbuis met een nominale inwendige middellijn van 3/4 inch	
	– spoed: zie tabel	– spoed: 1,5 mm	– spoed: 10 gangen/inch	– spoed: 16 gangen/inch	– spoed: zie tabel NEN-bundel	
					R = afdichtende buitendraad p = cilindrische binnendraad c = conische binnendraad	
profielhoek	60°	60°	60°	60°	55°	55°
norm	NEN-ISO 724	NEN-ISO 724	NEN 1244	NEN 1318	NEN-EN 10227	NEN-EN 10226

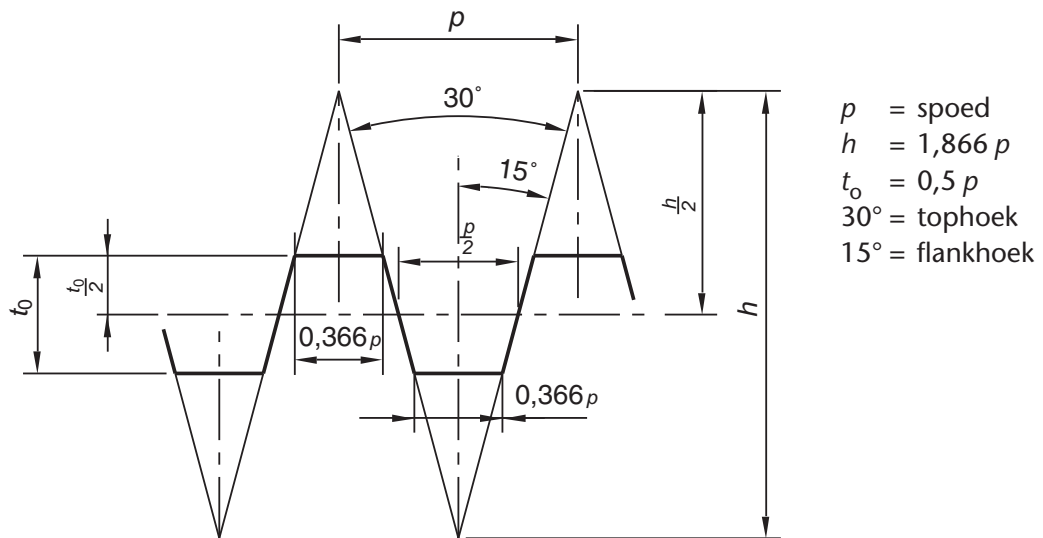
## 6.6 Bewegingsschroefdraad

Het schroefdraadprofiel voor bewegingsschroefdraad is meestal trapeziumvormig en soms rechthoekig. Rechthoekige schroefdraad is niet genormaliseerd en wordt nog weinig toegepast. Zie figuur 6.29.



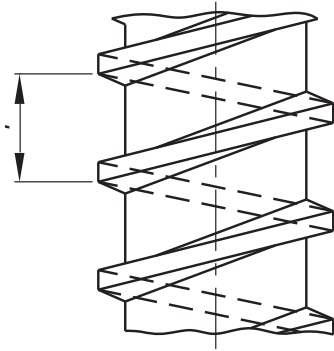
Figuur 6.29 Rechthoekige schroefdraad

Trapeziumschroefdraad is in NEN 2781 en NEN 2783 genormaliseerd als metrische trapeziumschroefdraad. Je geeft dit soort schroefdraad aan met bijvoorbeeld  $Tr\ 32 \times 6$ . Dat wil zeggen: metrische trapeziumschroefdraad met een buitenmiddellijn van 32 mm en een spoed van 6 mm. Het profiel van metrische trapeziumschroefdraad heeft een tophoek van  $30^\circ$ . Zie figuur 6.30.



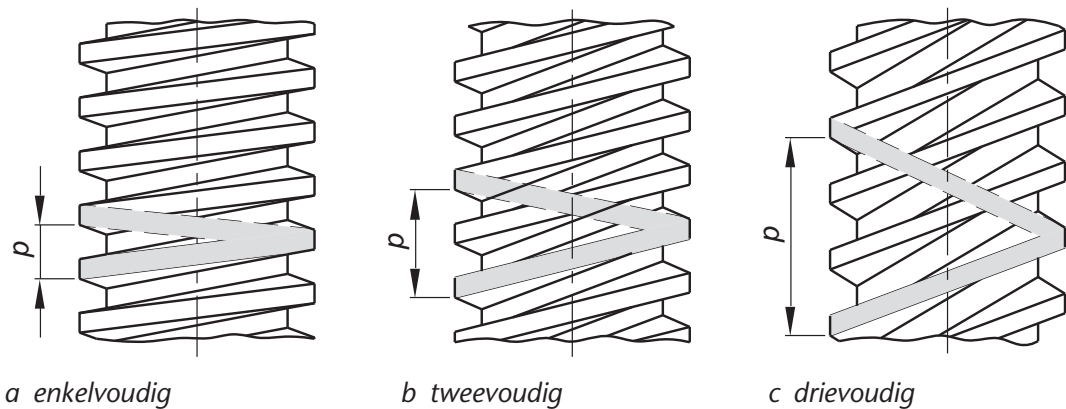
Figuur 6.30 Profiel metrische trapeziumschroefdraad

Als je bij bewegingsschroefdraad de verplaatsing van de moer wilt vergroten, moet je de spoed vergroten. Bij trapeziumschroefdraad heeft dit als gevolg dat de draadspindel over een grotere afstand een kleinere kerndiameter krijgt en daardoor verzwakt. Zie figuur 6.31.



Figuur 6.31 Invloed spoedvergroting op kernmiddellijn

Om deze verzwakking te voorkomen, wordt de schroefdraad twee- of drievoudig uitgevoerd. Dat wil zeggen: bij gelijkblijvend profiel wordt de spoed twee- of driemaal zo groot. Zie figuur 6.32.



Figuur 6.32 Meervoudigheid bij trapeziumschroefdraad

Volgens NEN 2781 kun je de meervoudigheid aangeven met bijvoorbeeld  $Tr\ 32 \times 12\ (P6)$ . Hierin is de spoed 12 mm en de steek 6 mm, zodat de meervoudigheid volgt uit:

$$\frac{\text{spoed}}{\text{steek}} = \frac{12\ \text{mm}}{6\ \text{mm}} = 2$$

## 6.7 Schroefdraadverbindingen

### 6.7.1 Inleiding

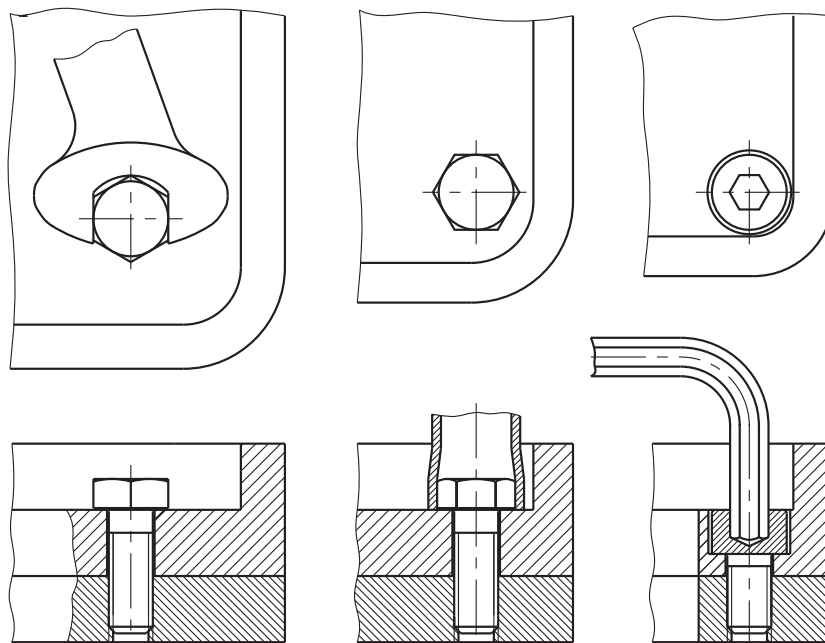
Schroefdraadverbindingen gebruik je voor verschillende doelen. Bijvoorbeeld:

- voor losneembare verbindingen (zoals bevestigingsbouten voor de montage van een afsluiter in een leiding);

- om grote krachten over te brengen (zoals boutverbindingen in een staalconstructie);
- om gaten af te dichten (zoals afdichtingsbouten onderin het carter van automotoren om de motorolie te kunnen aftappen);
- om te positioneren of speling in/bij te stellen (zoals stelschroefverbindingen in de dwarslede van een draaimachine).

Welke soort bouten of schroeven je voor een constructie gebruikt, hangt af van:

- het materiaal van de te verbinden delen;
- de krachten op de bouten of schroeven;
- de elasticiteit van de verbinding;
- het aantal keren van monteren en/of demonteren;
- de ruimte voor de verbinding;
- de ruimte voor montage en demontage. Zie figuur 6.33.

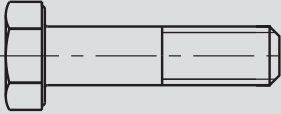
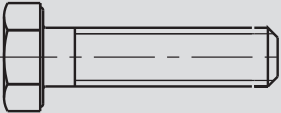
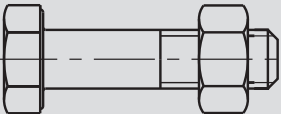
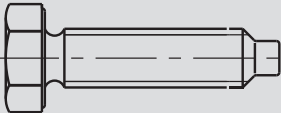
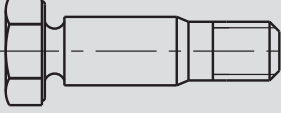
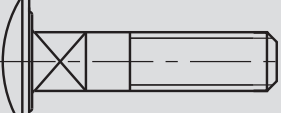


Figuur 6.33 Ruimte bij gebruik van verschillende sleutels

## 6.7.2 Bouten

Een bout herken je aan zijn vierkante of zeskkante kop aan een steel met schroefdraad. In tabel 6.5 zie je verschillende soorten bouten. Bij sommige bouten vind je meer dan één norm als gevolg van verschillen in draadsoort, inschroeflengte, materialen en verhoudingen in de afmetingen.



TABEL 3.5 GENORMALISEERDE BOUTEN			
afbeelding	benaming	normbladen	
		DIN	ISO
	zeskantbout	601 931 960	4014 8765
	zeskantbout met schroefdraad over de volle lengte van de steel	933 961	4017 8676
	zeskantbout met moer	601/555	4014
	zeskantbout met tap	561	
	zeskantpasbout	609	
	slotbout	603	8677

### 6.7.3 Schroeven

Volgens de norm is een schroef een bevestigingsartikel met buitendraad, al of niet met een kop, en uitgevoerd met een gelegenheid tot aandraaien, uitsluitend in de kop of in de steel. Schroeven kunnen verschillende koppen hebben. Zie figuur 6.34.

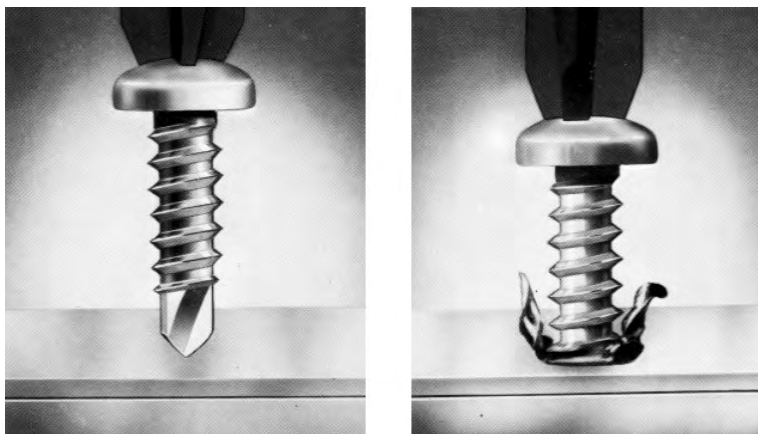


Figuur 6.34 Kopvormen van schroeven

De gelegenheid tot aandraaien in de kop of de steel kan bestaan uit een rechte gleuf, een kruisgleuf of een binnenzeskant. Er zijn twee groepen schroeven:

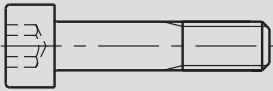
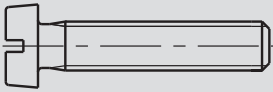

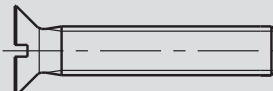
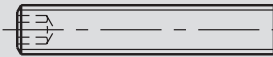

- schroeven met gewone schroefdraad;
- schroeven met zelftappende schroefdraad of plaatschroeven.

Gaten boren en daarna schroefdraad tappen is nogal kostbaar, vooral als het om grote series en massafabricage gaat. In de elektrotechnische industrie, de carrosseriebouw en de montage van kunststofonderdelen gebruiken we daarom steeds meer zelftappende plaatschroeven. De spoed van de schroefdraad is bij deze schroeven vrij groot en je hoeft het gat niet voor te boren. Zie figuur 6.35.






Figuur 6.35 Zelftappende schroef of plaatschroef

Bij toepassing van schroeven met gewone schroefdraad moet je het gat voorboren en daarna tappen. Zie tabel 6.6.

<b>TABEL 6.6 GENORMALISEERDE SCHROEVEN</b>			
afbeelding	benaming	normbladen	
		DIN	ISO
	cilinderkopschroef met binnenzeskant	912 6912	4762
	cilinderkopschroef met zaagsnede	84	1207
	bol verzonken schroef met zaagsnede	964	2010
	plat verzonken schroef met zaagsnede	963	2009
	stelschroef met binnenzeskant en afschuining	913 914 915 916	4026 4027 4028 4029
	bol verzonken schroef met kruisgleuf	966	7046 7047

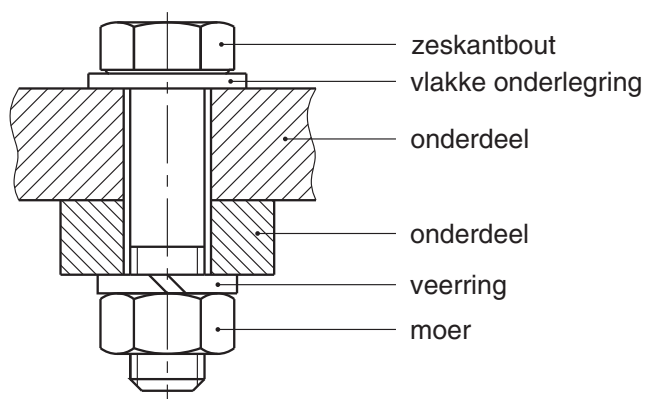
Ook bij genormaliseerde plaatschroeven moet je het gat voorboren. Je hoeft niet te tappen. Zie tabel 6.7.

TABEL 6.7 GENORMALISEERDE PLAATSCHROEVEN			
afbeelding	benaming	normbladen	
		DIN	ISO
	zeskantplaatbout met spitse punt	7976	1479C
	plat verzonken plaatschroef met zaagsnede	7972	1482C
	bol verzonken plaatschroef met kruisgleuf	7983	1483C
	bolcilinderkopschroef met kruisgleuf	7981	7049C

## 6.8 Losneembare verbindingen

### 6.8.1 Zeskantbout

Bij een losneembare verbinding met een zeskantbout is het te boren gat doorlopend. Zie figuur 6.36.

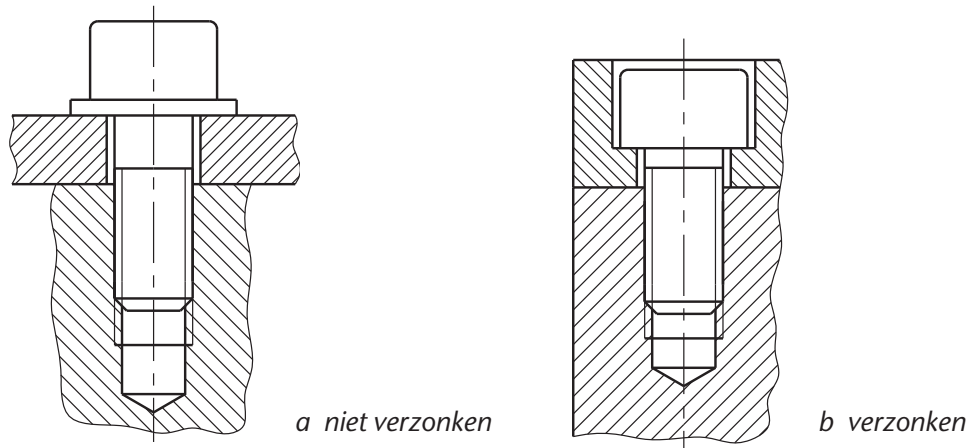


Figuur 6.36 Verbinding met zeskantbout en moer

De middellijn van het gat boor je ongeveer 10 % groter dan de steelmiddellijn van de bout. Vanaf M10 is het gat 1 mm groter dan de steelmiddellijn.

## 6.8.2 Cilinderkopschroef met binnenzeskant

Bij een losneembare verbinding met een cilinderkopschroef is het te boren gat niet doorlopend. In het niet doorlopend gat tappen we de gewenste schroefdraad. We kunnen de cilinderkopschroeven wel of niet verzonken monteren. Als we vlak verzonken willen monteren, dan moeten we het doorlopende gat in de ene verbindingshelft verzinken. Zie figuur 6.37.



Figuur 6.37 Verbinding met cilinderkopschroef met binnenzeskant

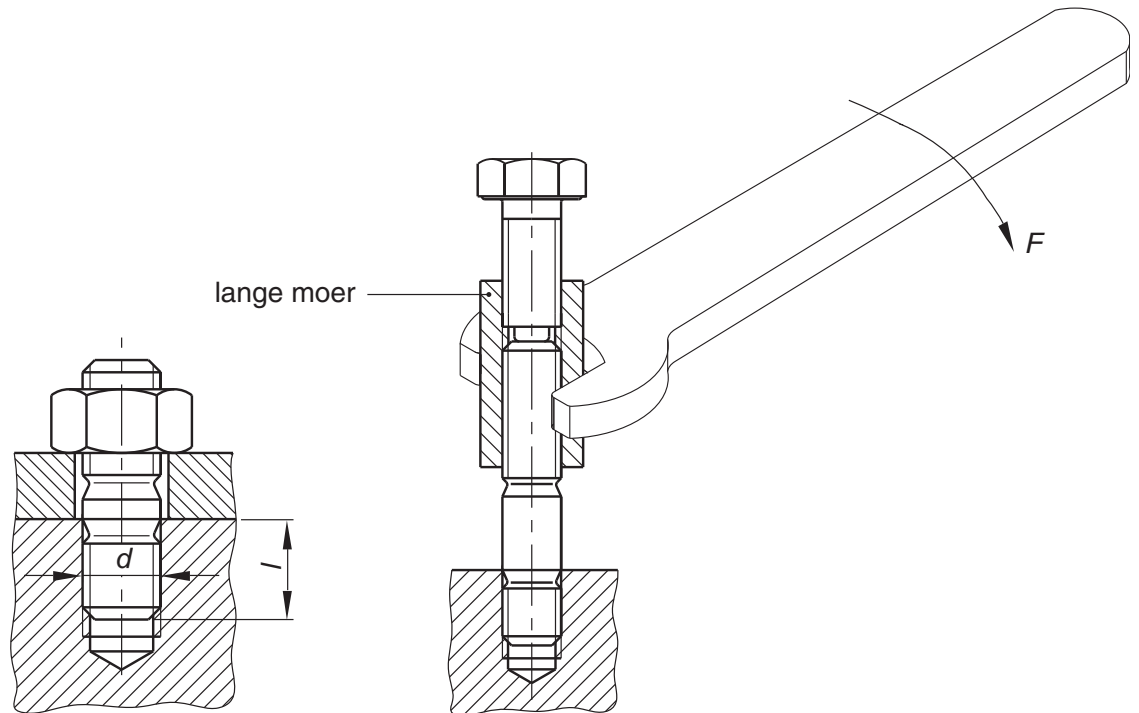
Vergeleken met zeskantbouten hebben cilinderkopschroeven met binnenzeskant het voordeel dat voor de kop weinig ruimte nodig is. Behalve ruimtebesparend is een constructie met dit soort schroeven ook gewichtbesparend. Zie figuur 6.38.



Figuur 6.38 Verbinding met cilinderkopschroeven met binnenzeskant

### 6.8.3 Tap-eind

Bij een verbinding met een tapeind is het te boren gat niet doorlopend. In het blinde gat tappen we de gewenste schroefdraad. Het tapeind wordt in het draadgat gemonteerd. Op het andere eind draaien we een moer, waardoor de verbinding tot stand komt. Zie figuur 6.39.



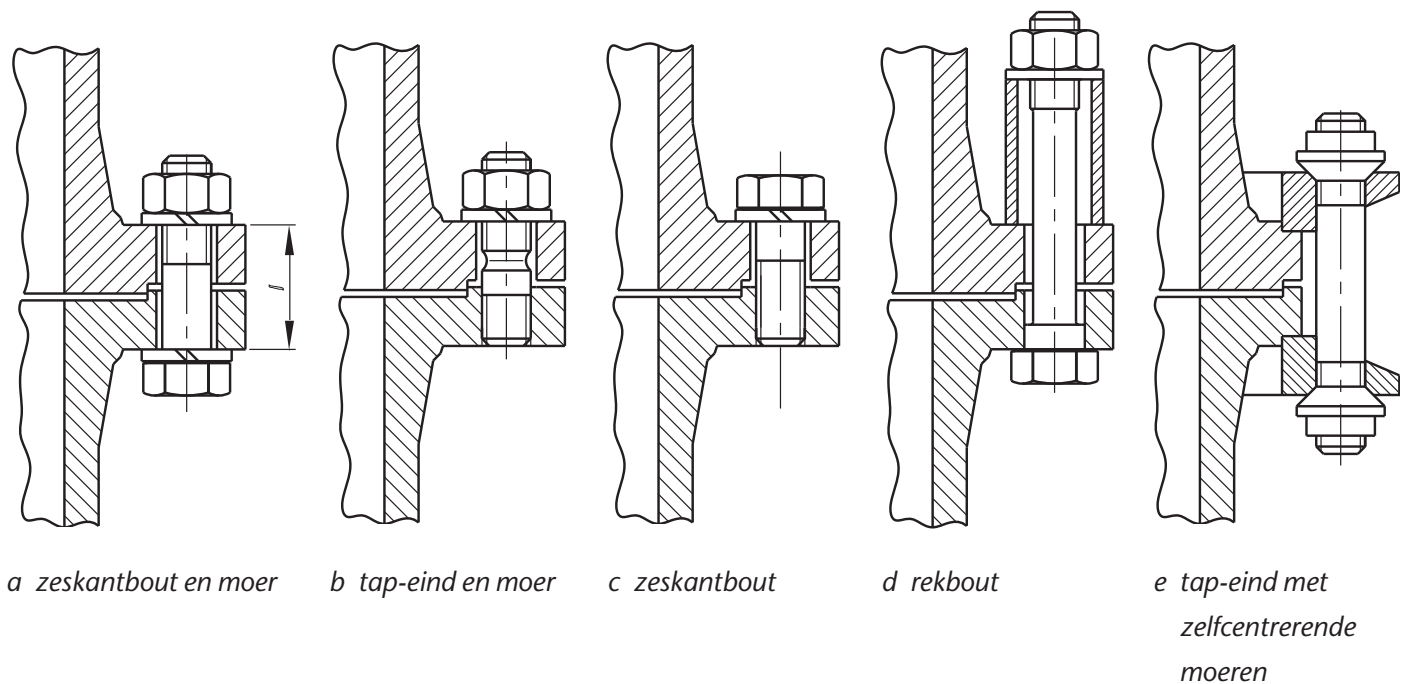
a verbinding met tap-eind en moer    b montage van een tap-eind

Figuur 6.39 Toepassing tap-eind

Tap-einden zijn genormaliseerd; de inschroeflengte kan variëren van  $d$  tot  $2 \cdot d$ . Voor staal is een inschroeflengte  $l = d$  voldoende, maar voor zachte materialen als aluminium is een grotere inschroeflengte nodig.

### 6.8.4 Flensverbindingen

Flensverbindingen komen veel voor in de praktijk. Bij deze methode worden twee flensen door een schroefverbinding met elkaar verbonden. Zie figuur 6.40.



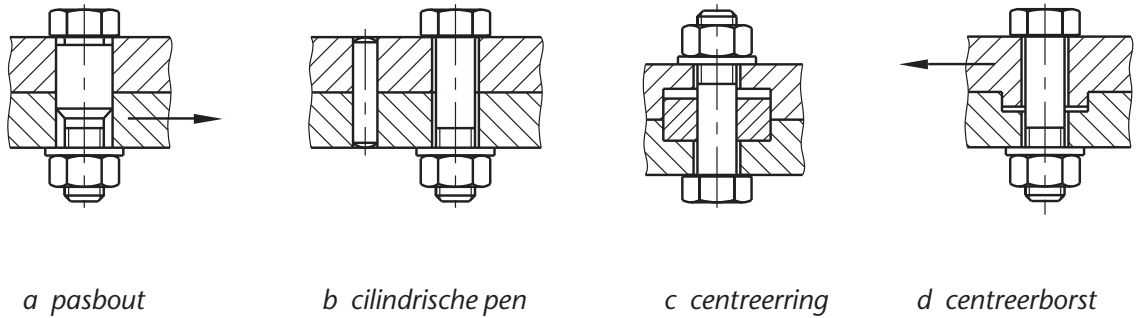
Figuur 6.40 Verbindingsmogelijkheden voor twee flenzen

De verbinding met een rekbout is bijzonder. Zie figuur 6.40d. De bout is over een bepaalde lengte verschraald. Om een van tevoren vastgestelde voorspanning te krijgen, moet je de bout over een bepaalde lengte rekken. De gevaarlijke doorsnede zit bij een rekbout niet in het schroefdraadgedeelte, maar in de steel.

Als we de verbinding uitvoeren met overschuifflenzen dan is het aan te bevelen om tapeinden met zelfcenterende moeren te gebruiken. Zie figuur 6.40e.

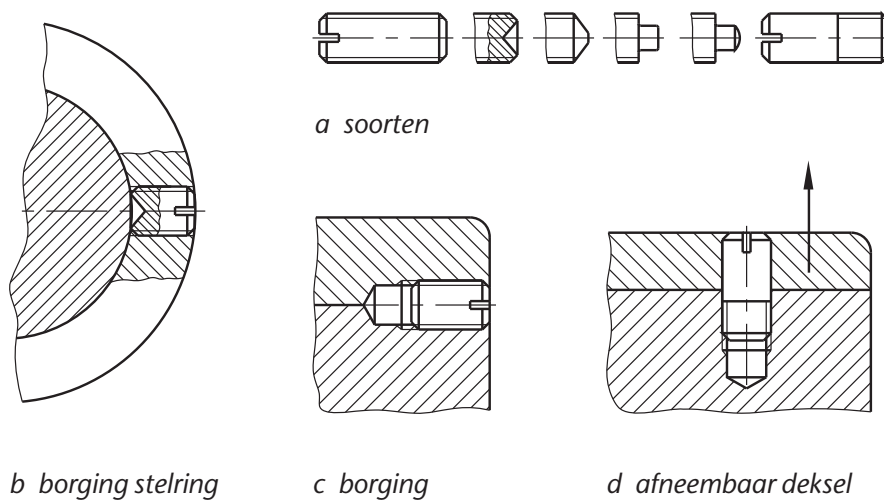
### 6.8.5 Verbindingen voor opnemen dwarskrachten

Als constructiedelen ten opzichte van elkaar kunnen verschuiven, dan moet de boutsteel de kracht opnemen. Op dit deel van de steel mag dan geen schroefdraad zitten. We gebruiken in dit geval een pasbout waarbij de steel dikker is dan het draaddeel. Er zijn ook andere constructies mogelijk. Zie figuur 6.41.

*a pasbout**b cilindrische pen**c centreerring**d centreerborst**Figuur 6.41 Verbindingen die dwarskracht opnemen*

### 6.8.6 Stelschroeven

Stelschroeven worden gebruikt voor verschillende toepassingen. In de meeste gevallen zijn ze genormaliseerd. De verschillen zitten in de uitvoering van de punt. Zie figuur 6.42. In deze figuur zie je ook enkele toepassingsmogelijkheden om onderdelen te borgen of te positioneren.

*a soorten**b borging stelring**c borging**d afneembaar deksel**Figuur 6.42 Soorten en toepassingen van stelschroeven*

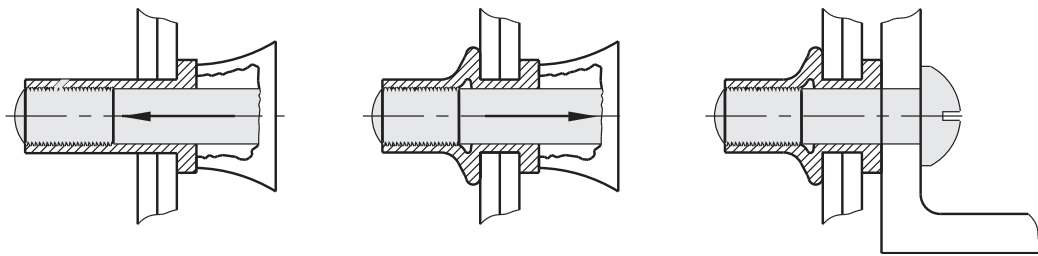
### 6.9 Losneembare dunne plaatverbindingen

Bij de assemblage van onder andere carrosserieën, huishoudelijke apparaten en elektrotechnische componenten gebruiken we meestal schroeven in plaats van bouten. Dat komt doordat we hier construeren met dun plaatmateriaal waarin we geen goede schroefdraad kunnen tappen.



### 6.9.1 Blindklinkmoeren

Als we geen goede draad kunnen tappen, of als de verbinding maar van een kant bereikbaar is, kunnen blindklinkmoeren een oplossing zijn. Met een draadstift (van pneumatisch gereedschap of handgereedschap) breng je de klinkmoer in het voorgeboorde gat aan. Zie figuur 6.43.



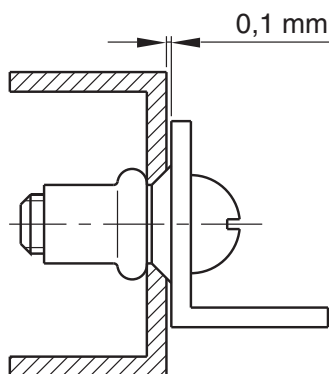
a draadstift inschroeven  
en moer plaatsen

b draadstift aantrekken  
en uitschroeven

c onderdeel met schroef  
bevestigen

Figuur 6.43 Montage van een blindklinkmoer

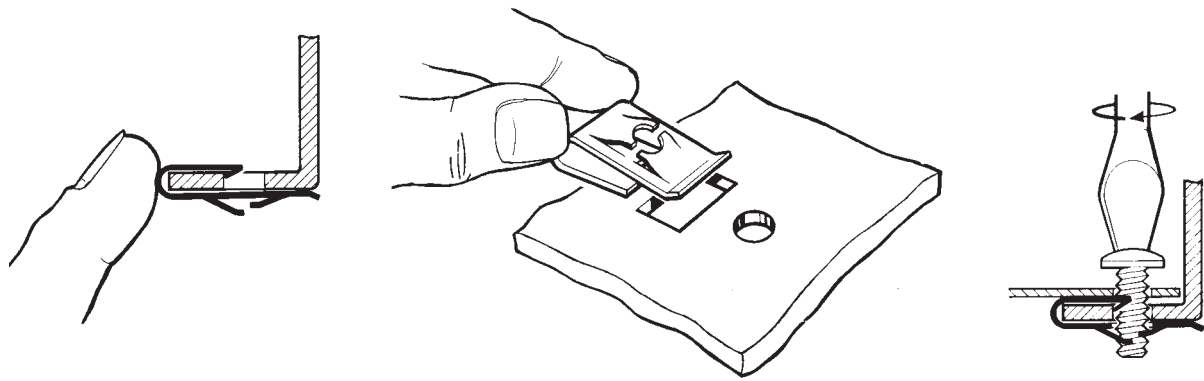
Blindklinkmoeren zijn verkrijgbaar in open en gesloten uitvoering. Ze worden gemaakt van aluminium, staal, corrosievast staal of messing. Er zijn ook blindklinkmoeren met verzonken kop. Het voordeel van deze moeren is dat de onderdelen direct op elkaar aansluiten. Zie figuur 6.44.



Figuur 6.44 Blindklinkmoer met verzonken kop

### 6.9.2 Snelbevestigers

Voor schroefverbindingen gebruik je in de carrosseriebouw en (onder andere) bij de assemblage van wasmachines vaak snelbevestigers. In dat geval mogen de krachten op de verbinding niet groot zijn. Snelbevestigers zijn gemaakt van verstaal. Je kunt ze in allerlei uitvoeringen krijgen en op allerlei manieren gebruiken. Zie figuur 6.45.



Figuur 6.45 Snelbevestiger voor plaatschroeven

## 6.10 Beveiligen van boutverbindingen

Het is belangrijk dat een boutverbinding bij de montage de juiste voorspankracht krijgt. Net zo belangrijk is dat die voorspankracht niet mag verdwijnen onder de bedrijfsbelasting. De voorspankracht kan op de volgende twee manieren verloren gaan:

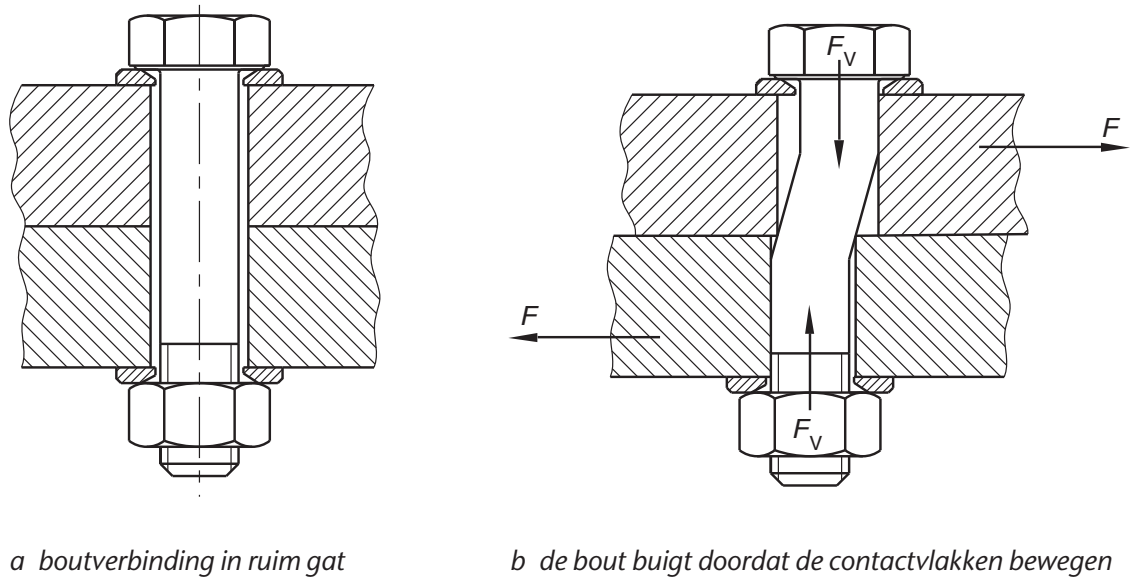
- *Door losdraaien.* Dat gebeurt als de contactvlakken ten opzichte van elkaar bewegen, loodrecht op de steel van de bout. De verbinding kan losdraaien en de voorspankracht vervalt.
- *Door losgaan.* Dat gebeurt als de klemkracht verloren gaat door het kruipen van de bout of het zetten van de boutverbinding. De verbinding gaat los en de voorspankracht vervalt.

### 6.10.1 Losdraaien

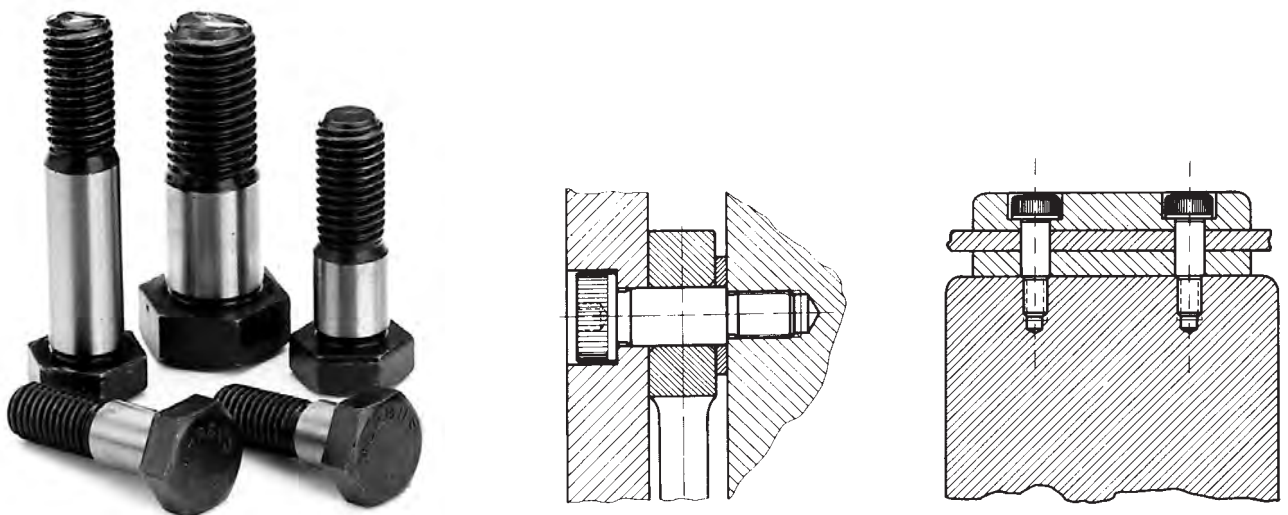
Bij een boutverbinding wordt de bout met speling in de gaten gemonteerd. Als de contactvlakken ten opzichte van elkaar bewegen, zal de bout doorbuigen. Zie figuur 6.46b. De kop en de moer van de bout liggen allebei aan een zijde op het materiaal aan. Op de plaatsen waar moer en boutkop aanliggen, ontstaat elastische vervorming. Hierdoor ontstaat een inwendig losdraaimoment.

Het inwendig losdraaimoment hangt af van het bewegen van de contactvlakken en van de spoedhoek van de schroefdraad.

Als je het losdraaien van een verbinding wilt voorkomen, moet je pasbouten gebruiken. Die zorgen ervoor dat de contactvlakken niet kunnen bewegen. Zie figuur 6.47.



Figuur 6.46 *Boutverbinding*



Figuur 6.47 *Toepassing van pasbouten*

Doordat de contactvlakken niet kunnen bewegen, zijn er geen andere borgmiddelen nodig. Je kunt ook een schroefdraad met een fijne spoed toepassen. Die heeft een kleinere spoedhoek, zodat het inwendig losdraaimoment verdwijnt of wordt voorkomen.

### 6.10.2 Losgaan

In elke boutverbinding kan het materiaal van bout, moer en verbonden onderdelen gaan zetten. Daardoor krijg je een aanzienlijk verlies van voorspanning. Samen met het inwendig losdraaimoment kan dat tot een versneld losdraaien van de verbinding leiden. Ook kan de bout onder invloed van zijn belasting gaan kruipen. Daardoor wordt de voorspanning ook lager.

Je kunt de volgende maatregelen nemen om verlies van voorspankracht door kruipen of zetten te voorkomen:

- lange bouten of schroeven gebruiken, met een lengte-dikteverhouding groter of gelijk aan 5;
- de voorspanning verhogen door bouten van hogere kwaliteit te gebruiken (zonder de toelaatbare vlaktedruk van het ingeklemde materiaal te overschrijden);
- het elastisch vermogen van de bouten verhogen met bijvoorbeeld aangepaste verende elementen;
- flensbouten gebruiken zodat je een verbinding met een hogere voorspanning krijgt (dikke ringen van genoeg druksterkte die de contactdruk over een groter oppervlak kunnen verspreiden).

## 6.11 Borgingen

Wanneer er geen constructieve oplossing als pasbouten of fijne schroefdraad is voor het losraken van een verbinding, moet je de verbinding *borgen*. Omdat een boutverbinding op verschillende manieren kan losraken, zijn er ook verschillende manieren om de verbinding te borgen.

### 6.11.1 Borgmethoden

De verschillende borgmethoden kun je indelen in de volgende drie groepen:

- *zetborgmiddelen*: om het kruipen en zetten van een boutverbinding te compenseren;
- *verliesborgmiddelen*: om het uit elkaar vallen van een verbinding te voorkomen (als de verbinding gedeeltelijk mag losraken en de voorspankracht dus minder mag worden);
- *losdraaiborgmiddelen*: om het inwendig losdraaimoment te blokkeren en zo het automatisch losdraaien van een verbinding te voorkomen.

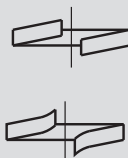
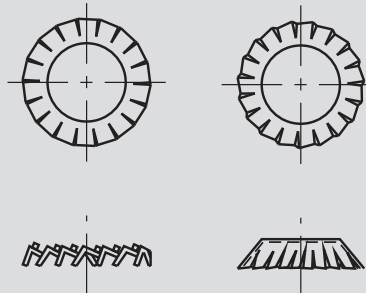
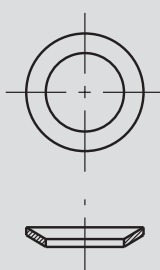
### 6.11.2 Borgmiddelen

De borgmiddelen die je kunt gebruiken, kun je in vijf functiegroepen indelen. Zie tabel 6.8.

TABEL 6.8 FUNCTIE-INDELING VAN BORGMIDDELEN			
oorzaak van verlies voorspankracht	indeling borgmiddelen naar werkzaamheid		voorbeelden functie
los gaan zitten door zetten/ kruipen	zetborgmiddel	verend	veerringen tandveerringen schotelveren spanschijven
losdraaien door vermindering van de zelfremming	verlies- borgmiddel	afsluitend	kroonmoeren borgplaten borgdraden producten met splitpenget
		klemmend	borgmoeren met kunststofring* geheel metalen borgmoeren zelfdraadvormende schroeven
losdraaien door opheffing van de zelfremming	losdraai- borgmiddel	blokkerend	flensbouten met vertanding flensmoeren met vertanding borgveerringen
		klevend	micro-gecapsuleerde bouten* anaërobe kleefstoffen
* temperatuurafhankelijk			

### Zetborgmiddelen

Zetborgmiddelen worden vaak gebruikt bij niet-kritische verbindingen. Daarin is de voorspanning niet zo belangrijk. Bij deze verbindingen gebruik je geen bouten van een hogere kwaliteit. Zie tabel 6.9.

TABEL 6.9 ZETBORGMIJDELEN		
afbeelding	benaming	toepassing
	veerringen	algemene werktuigbouw
	tandveerringen	lichte constructies apparatenbouw
	schotelveren	zware borgingen

Je moet er rekening mee houden dat de te verbinden onderdelen beschadigd kunnen raken tijdens het losdraaien van de verbinding.

Vooral tijdens de montage van tandveerringen worden de aanlegvlakken erg ruw. Je past ze daarom alleen toe bij lichte constructies in de apparatenbouw en in de elektrotechniek.

Door de vorm van de schotel borgen schotelveren niet alleen tegen verlies van voorspankracht. Ook blokkeert de speciale oppervlaktestructuur het inwendig losdraaimoment beter.

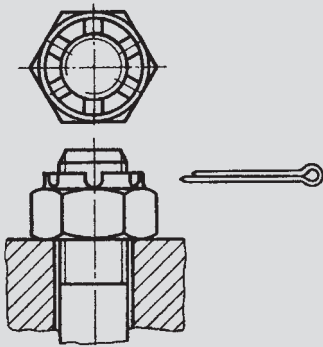
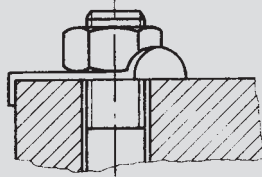
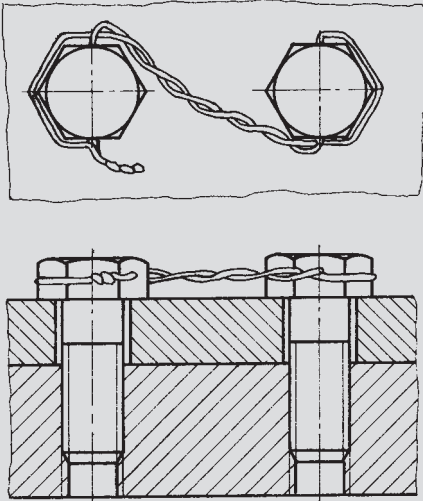
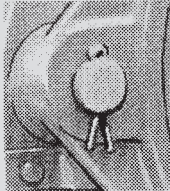
### Verliesborgmiddelen

Verliesborgmiddelen kun je in twee hoofdgroepen indelen:

- afsluitende borgmiddelen;
- klemmende borgmiddelen.

Bij afsluitende verliesborgmiddelen wordt de borging gerealiseerd door een mechanische vergrendeling tegen losdraaien. Zie tabel 6.10.

TABEL 6.10 AFSLUITENDE VERLIESBORGMIJDELEN

afbeelding	benaming	toepassing
	kroonmoer met splitpen	draaiende machinedelen
	borgplaat	constructiedelen waar deze borging kan worden toegepast in verband met het omslaan van de lippen
	borging met draad	gelijktijdig borgen van meerdere boutverbindingen
	borging met splitpen	om verlies te voorkomen

### Kroonmoer met splitpen

In draaiende machinedelen (zoals drijfstanglagers om een krukas) worden pasbouten met een fijne schroefdraad gebruikt. Om elk risico van losdraaien te vermijden, borgt bovendien een kroonmoer met splitpen de moeren. Dit borgmiddel monteert je als volgt.

De bout heeft op een vaste plaats een splitpengat en de moer heeft drie gleuven. Na montage van de moer komt een van de gleuven recht tegenover het gat. Het nadeel daarvan is dat je de boutverbinding nooit op de juiste voorspanning kunt brengen. De splitpen steekt door het gat in de gleuf en de einden van de pen buig je om. De moer kan nu niet meer uit zichzelf losdraaien.

### **Borgplaten**

De meest gebruikte borgplaat is een ronde plaat met een lip. Na het vastdraaien van de moer sla je de lip om het uiteinde van het constructieonderdeel en je slaat de ring tegen de moer. Borgplaten gebruik je meestal voor stilstaande constructieonderdelen.

### **Borgdraad**

Een aantal bevestigingsbouten bij elkaar kun je onderling borgen met een borgdraad. Om de borgdraad aan te brengen boor je gaten in de moeren en de bouten. De trekkende kant van de borgdraad moet je tegen de losdraairichting van de moer in aanbrengen. Je kunt ook één boutverbinding met een borgdraad borgen, maar daarvoor moet je een gat in de constructieonderdelen kunnen boren.

Naast de afsluitende verliesborgingen zijn er ook een aantal klemmende verliesborgingen. Bij klemmende verliesborgmiddelen wordt de borging gerealiseerd door elastische vervorming van het borgmiddel. Zie tabel 6.11.



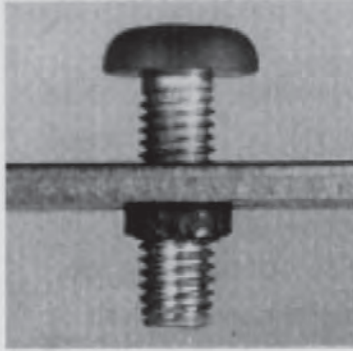
### **Zelfborgende moer met kunststofring**

De kunststofring in de zelfborgende moer vergroot de weerstand tegen losraken. Tijdens het aandraaien van de moer vervormt de kunststofring zich om de schroefdraad van de bout. Daardoor wordt de kunststofring tegen de schroefdraad geperst. Dit soort borgmoeren worden vooral gebruikt als de eisen aan de borging niet al te hoog zijn en de montage snel moet gaan. Bijvoorbeeld in de carrosseriebouw.

### **Geheel metalen moer**

De geheel metalen borgmoer (ook wel *Cleveloc*-moer genoemd) werkt in principe hetzelfde als de zelfborgende moer. De *Cleveloc*-moer heeft geen kunststofring, maar is hoger gemaakt en heeft een vervormde kraag om de weerstand te vergroten. Tijdens het aandraaien van de moer wordt de vervormde kraag naar buiten gedrukt. Daardoor wordt hij om de schroefdraad van de bout geklemd.



TABEL 6.11 KLEMMENDE VERLIESBORGMIDDELEN		
afbeelding	benaming	toepassing
	borgmoeren met kunststofring	automobielinindustrie
	geheel metalen borgmoeren	automobielinindustrie
	zelfdraadvormende schroeven of bouten	

### Zelfdraadvormende schroef of bout

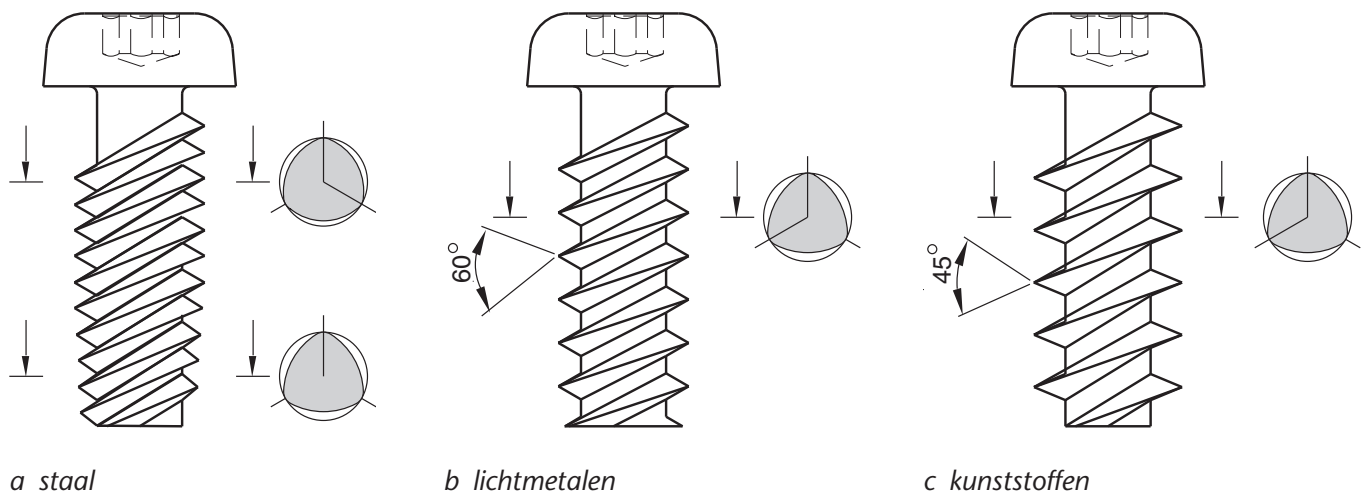
Zelfdraadvormende schroeven en bouten hebben goede borgende eigenschappen. De schroefdraaddoorsnede heeft een driehoekige vorm en de punt van de bout loopt een beetje taps toe. Zie figuur 6.48.



Figuur 6.48 Zelfdraadvormende schroef

De driehoekige vorm van de schroefdraad ‘walst’ een schroefdraad in het gat in de constructie. Zodra de bout is gemonteerd ontstaat er door de walswerking een grote spanning tussen de schroefdraad in de constructie en de bout. Zo krijg je een borgende werking.

Deze bouten en schroeven zijn genormaliseerd volgens DIN 7500. Voor de verschillende bevestigingsmaterialen zijn verschillende soorten zelfdraad-vormende schroefdraadprofielen leverbaar. Zie figuur 6.49.



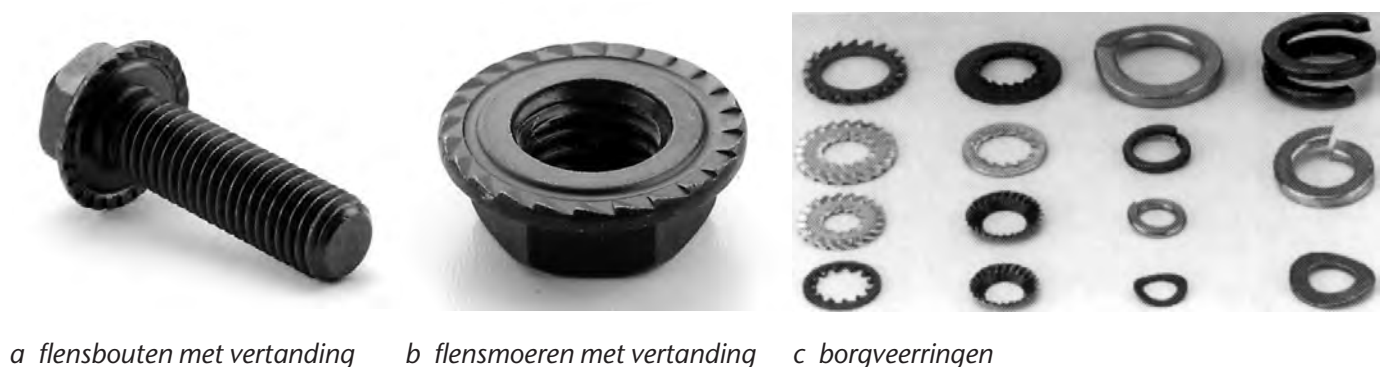
Figuur 6.49 Zelfdraadvormende schroefdraadprofielen

### Losdraiborgmiddelen

Losdraiborgmiddelen worden vooral toegepast bij kritische verbindingen, omdat deze middelen een zeer groot borgend vermogen hebben. Je kunt losdraiborgmiddelen in twee hoofdgroepen indelen:

- blokkerende borgmiddelen;
- klevende borgmiddelen.

De blokkerende borgmiddelen kun je indelen in drie hoofdgroepen. Zie figuur 3.50.



Figuur 6.50 Blokkerende Losdraiborgmiddelen

### Flensbouten en -moeren met vertanding

Bij een flensbout met vertanding zie je onder de kop van de bout een flens met een aantal radiaal lopende tanden. Zie figuur 6.50a. Deze tanden kunnen zowel zaagtandvormig als afgerond zijn. Bij de montage van de bout drukken de tanden het materiaal van de onderdelen in elkaar. Daardoor ontstaat grote wrijving tussen de bout en het materiaal van de onderdelen. Bij het aandraaien van de bout ontstaat schade. Zie figuur 6.51.



*Figuur 6.51 Beschadigingen door afgeronde tanden in verschillende materialen (na het losdraaien van de bout)*

Afgeronde tanden beschadigen het materiaal van de onderdelen minder dan zaagtanden. Ook het materiaal zelf speelt natuurlijk een rol. In figuur 6.52 zie je een toepassing van deze bouten: de montage van een conisch tandwiel op een as.



*Figuur 6.52 Toepassing van flensbouten met vertanding*

De werking van de flensmoeren met vertanding is precies zoals die van de flensbouten met vertanding. Zie figuur 6.50b.

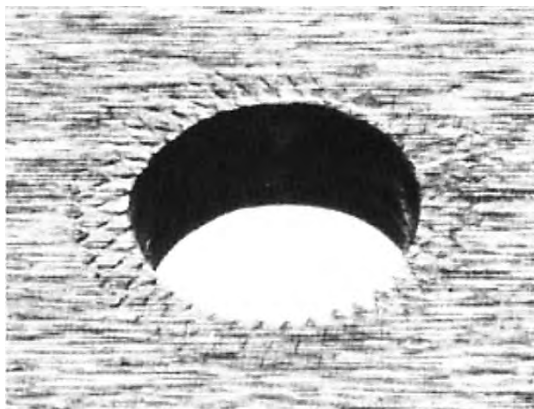
### Borgveerringen

De meeste vertande veerringen hebben een slechte weerstand tegen losdraaien. Zie figuur 6.50c. Er zijn echter nieuwe borgveren ontwikkeld die een aanmerkelijk betere borging geven dan de conventionele vertande ringen. Zie figuur 6.53.



Figuur 6.53 Vossloh-borgveerring

Op de ringen zie je een *traanvormige wafeling* met een zeer groot aantal contactvlakken. Tijdens de montage druk je deze contactvlakken in het materiaal van de te verbinden delen, totdat een vergrendeling tot stand is gebracht. Doordat de wafeling geen scherpe kanten heeft, wordt het materiaal minimaal beschadigd. Zie figuur 6.54.



Figuur 6.54 Beschadiging van het materiaal na demontage

### Klevende losdraaiborgmiddelen

De klevende losdraaiborgmiddelen bestaan uit twee hoofdgroepen:

- anaërobe kleefstoffen;
- micro-gecapsuleerde bouten.

Het meest bekende klevende borgmiddel wordt verkocht onder de merknaam *Loctite*. De klevende stof bestaat uit kunsthars of anaërobe kleefstof. Beide hebben goede capillaire eigenschappen. Daardoor kun je het gemakkelijk aanbrengen tussen de te monteren delen. De kleefstoffen verharderen zodra ze van de lucht zijn afgesloten.

Afhankelijk van het toegepaste middel en de temperatuur van de verbinding varieert het uithardingproces van enkele uren tot een dag.

Er zijn ook bouten voor schroefdraadverbindingen verkrijgbaar die al in de fabriek van kleefstof zijn voorzien. Zie figuur 6.55. In zo'n geval is de kleefstof in microcapsules opgesloten. Tijdens de montage van de bout breken deze capsules, zodat de kleefstof zich tussen de schroefdraad nestelt. Na het uithardingproces is er een zeer sterke borging.



*Figuur 6.55 Bouten met kleefstoffen*

## 6.12 Kernpunten

Er zijn losneembare en niet-losneembare verbindingen. Voorbeelden van niet-losneembare verbindingen zijn:

- klinken;
- felsen;
- lassen;
- solderen;
- lijmen.

Een overlapnaad passen we toe bij klinken, puntlassen, rolnaadlassen en lijmen. De grootte van de overlap bepaalt in grote mate de sterkte van de verbinding.

Een stompe lasnaad passen we toe bij smeltlassen, stuiklassen, afbrandstuiklassen en kunststofflassen. Bij grote plaatdiktes moeten we afhankelijk van het proces de plaatdelen voorbereiden.

We onderscheiden bevestigingsschroefdraad en bewegingsschroefdraad.

Bevestigingsschroefdraden zijn:

- metrische schroefdraad M12;
- unieschroefdraad 3/4 – 10 UNC of UNF;
- bevestigingspijpschroefdraad G3/4 of R 3/4.

Bewegingsschroefdraden zijn:

- rechthoekige schroefdraad 32 × 4;
- trapeziumschroefdraad Tr32 × 6.

Een schroefdraadverbinding is een losneembare (demontabele) verbinding, die kan worden uitgevoerd met bouten of schroeven. Voorkomende schroefdraadverbindingen zijn:

- verbinding met zeskantbout en moer, zeskantbout in draadgat en pasbout;
- verbinding met cilinderkopschroef en zelftappende plaatschroef;
- verbindingen met tapeind;
- flensverbindingen;
- verbindingen met stelschroef, blindklinkmoer en snelbevestigers.

Om te voorkomen dat een verbinding loslaat moeten we borgen.

Een zetborgmiddel voorkomt dat de verbinding zijn voorspankracht verliest.

Voorbeelden hiervan zijn:

- veerringen;
- tandringen;
- schotelveren.

Verliesborgmiddelen voorkomen dat de verbinding uit elkaar valt.

Hiervoor gebruiken we:

- kroonmoeren en borgmoeren met kunststofring;
- borgplaten, borgdraden en splitpennen;
- zelfdraadvormende schroeven.

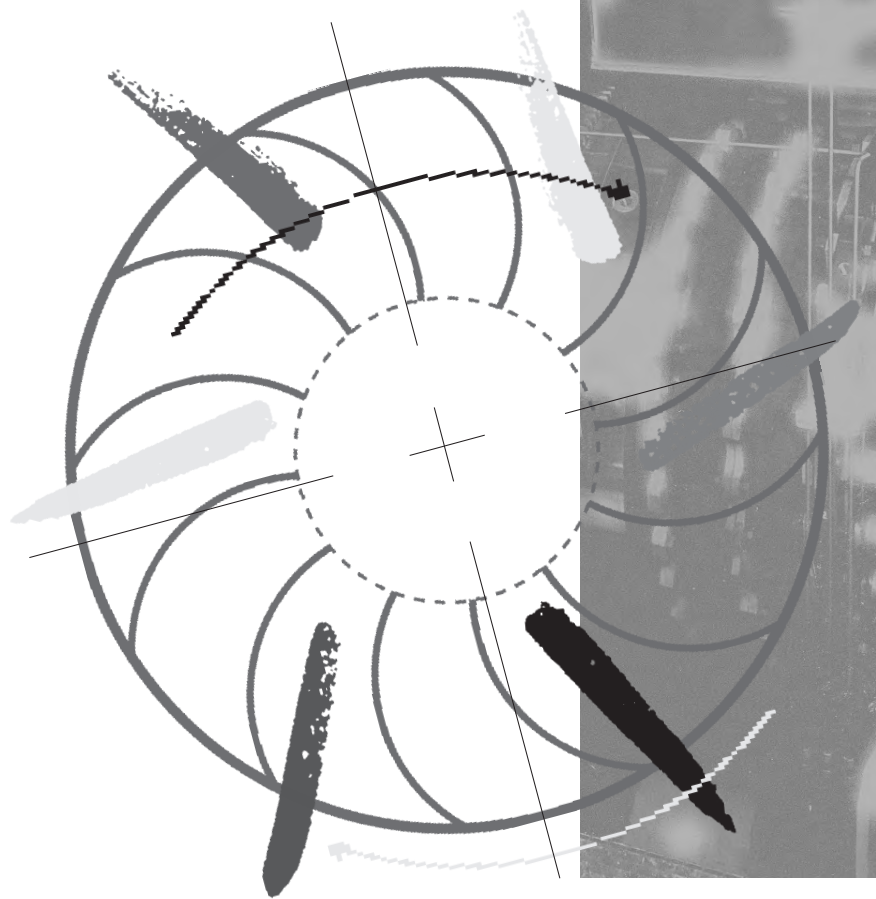
Losdraaiborgmiddelen passen we toe om te voorkomen dat de verbinding losdraait. We realiseren dit door de zelfremming te borgen. Hiervoor gebruiken we:

- flensbouten en moeren met vertanding;
- veerringen;
- kleefstoffen en micro-gecapsuleerde bouten.



# Wentellagers

7



## 7.1 Inleiding

Heb je je wel eens afgevraagd waarom de één harder gaat op zijn skeelers dan de ander? Natuurlijk is dit een kwestie van techniek, kracht en conditie. Maar zou het snelheidsverschil ook te maken hebben met de skeelers? Zie figuur 7.1.

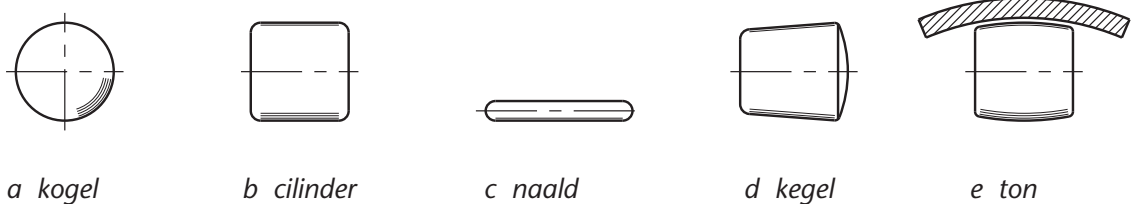


Figuur 7.1 Skeelers

Vooral de lagers in de wielen zijn belangrijk. Zo op het eerste gezicht draaien alle lagers ongeveer even licht. Maar als ze belast worden zijn er verschillen. Bij een skeeler zijn lichtdraaiende lagers direct van invloed op de snelheid. In machines hoeft op lichtdraaiende lagers minder aandrijfkraft te worden uitgeoefend, waardoor je energie bespaart. In dit hoofdstuk leer je welke lagertypes er zijn en hoe je ze het beste toepast. Ook leer je hoe een lagercodering werkt.

## 7.2 Opbouw van wentellagers

Een wentellager bestaat uit een bewegende ring, een stilstaande ring en wentellichamen die daartussen draaien. Een kooi houdt de wentellichamen op afstand van elkaar. In de praktijk wordt een wentellager genoemd naar de vorm van zijn wentellichaam. Bijvoorbeeld een *kogellager*, een *rollager* of een *naaldlager*. Zie figuur 7.2.



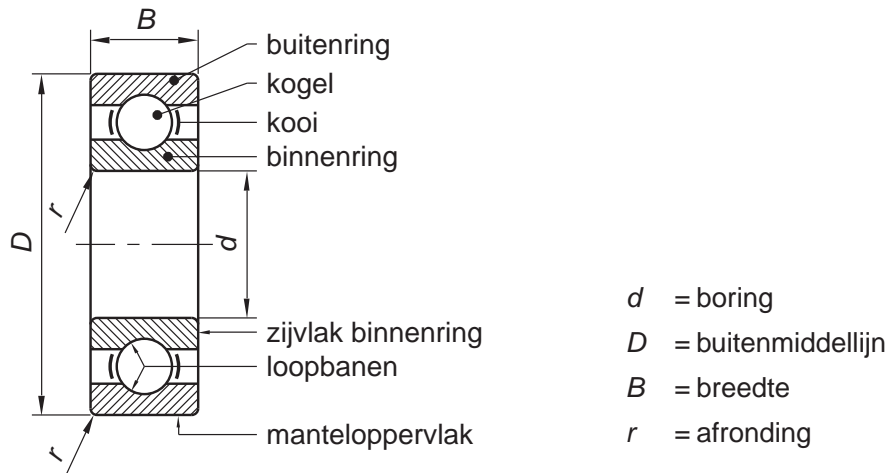
Figuur 7.2 Wentellichamen



Er zijn twee groepen:

- radiale wentellagers;
- axiale wentellagers.

Een wentellager is opgebouwd uit verschillende onderdelen. Zie figuur 7.3.



Figuur 7.3 Onderdelen van een wentellager (kogellager)

De verschillende onderdelen moeten vooral bestand zijn tegen materiaalvermoeing. Daarom worden de binnen- en buitenring gemaakt van hoogwaardige chroomstaalsoorten, met onder andere 1 % koolstof (C) en 1,5 % chroom (Cr). De wentellichamen worden ook gemaakt van chroomstaal met een hoge hardheid. Het materiaal van de kooien is staal, brons of smeedbaar gietijzer. Er zijn ook kooien van kunststof.

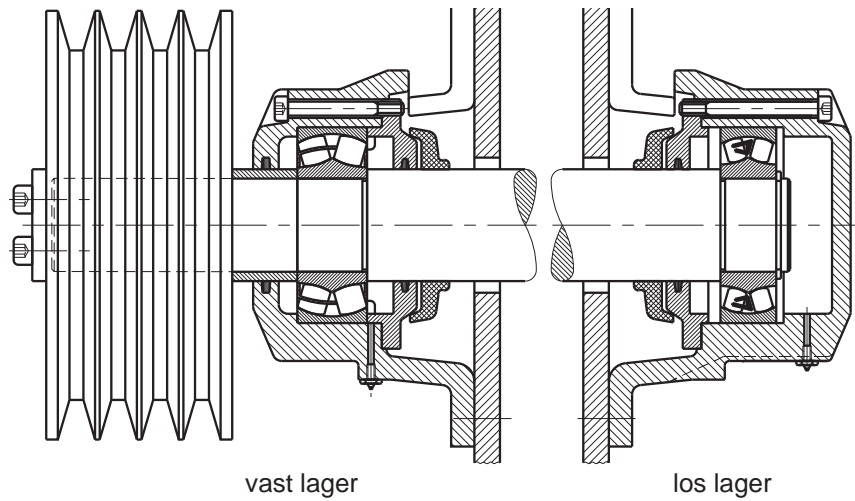
### 7.3 Ondersteuning met wentellagers

Als je een as radiaal wilt ondersteunen heb je meestal twee lagers nodig: een vast en een los lager. Zie figuur 7.4.

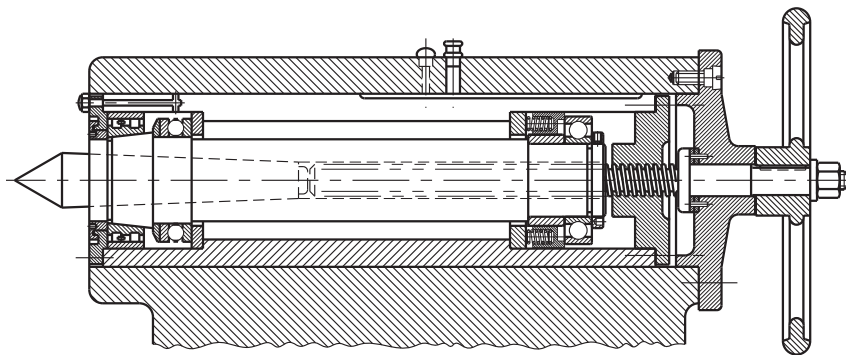
Het vaste lager (of stellager) is opgesloten in een borst tussen huis en deksel. Daardoor kan het vaste lager de axiale belasting in beide richtingen opnemen. Het losse lager (dat alleen de radiale belasting opneemt) moet in axiale richting een lengteverandering van de as kunnen opnemen. Vooral langere assen kunnen van lengte veranderen door temperatuurschommelingen.

Als vast lager kunnen we een wentellager gebruiken dat zowel radiale als axiale belastingen opneemt. Bijvoorbeeld een tweerijig tonlager.

In plaats van het vaste lager kunnen we ook een radiaal lager (dat geen axiale belasting opneemt) samen met een axiaal lager gebruiken. Zie figuur 7.5.



Figuur 7.4 Gelagerde as

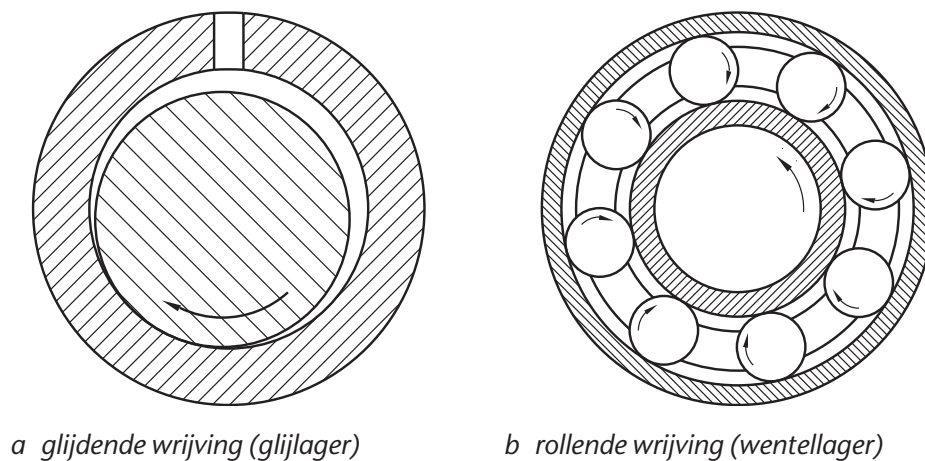


Figuur 7.5 Losse kop met meedraaiend center

## 7.4 De voor- en nadelen van wentellagers

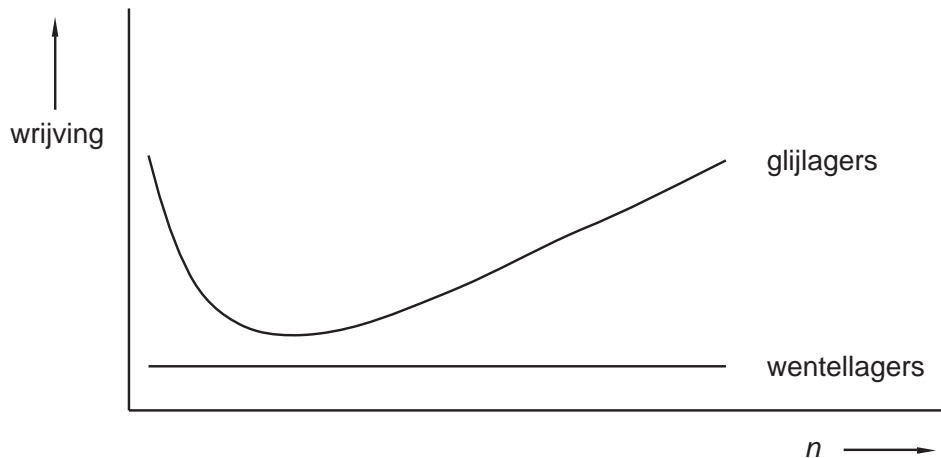
Eén van de belangrijkste voordelen van wentellagers is de lage wrijving. Bij een glijlager glijdt de as op een oliefilm in een lagerbus of lagerschaal. Bij glijlagers is dus sprake van vlakanaanraking.

Bij een wentellager rolt de binnenring op rollichamen in de buitenring. Bij wentellagers is dus sprake van punt- of lijnaanraking. Zie figuur 7.6.



Figuur 7.6 Wrijving in lagers

In wentellagers ontstaat dus veel minder wrijving dan in glijlagers. Zie figuur 7.7.



Figuur 7.7 Wrijvingsverloop van wentellagers en glijlagers

Uit figuur 7.7 blijkt dat de wrijving van glijlagers sterk afhankelijk is van de rotatiefrequentie  $n$  van de as. Bij wentellagers is dat niet zo.

Andere voordelen van wentellagers ten opzichte van glijlagers zijn:

- betrouwbaar door hoogwaardige fabricageprocessen;
- kleine inbouwbreedte;
- laag smeermiddelverbruik;
- onderling uitwisselbaar door standaardmaten;
- te berekenen levensduur (bij toelaatbare belasting).

Een belangrijk nadeel van wentellagers is dat ze minder goed stotende belastingen kunnen opnemen. Dat komt doordat een kogel maar in één punt draagt (puntcontact). Ook een rol draagt maar op één aaneengesloten rij (lijncontact). De lagerbelasting moet dus worden opgenomen door een beperkt aantal kogels of rollen. Daardoor is de contactspanning tussen lagerringen en wentellichamen groot. Als daar nog een stootkracht bijkomt, kan de contactspanning te groot worden en het lager beschadigen.

## 7.5 Wentellagertypen

In tabel 7.1 zie je enkele veelvoorkomende typen wentellagers.

TABEL 7.1 WENTELLAGERTYPEN

**Eenrijig groefkogellager**

Dit radiale lagertype gebruik je meestal. Door de diepe loopbaan in beide ringen kan het lager ook axiale belastingen opnemen. Bij hoge rotatiefrequenties is het soms meer geschikt voor het opnemen van axiale belastingen dan een kogeltaatslager.

**Tweerijig zelfinstellend kogellager**

De binnenring heeft voor elke kogelrij een loopbaan. De binnenkant van de buitenring heeft een bolvormige loopbaan. Daardoor kan de binnenring met kogels zich vrij instellen ten opzichte van de buitenring. Dit type lagers pas je toe op moeilijk uit te lijnen plaatsen, of op plaatsen waar de as door belasting een beetje doorbuigt.

**Eenrijig hoekcontactkogellager**

Door de speciale constructie is dit type lagers geschikt voor het opnemen van radiale en axiale belastingen in één richting. Als je het lager tegen een ander hoekcontactlager stelt, wordt ook de axiale kracht in tegengestelde richting opgenomen. Dit soort lagers is soms uitneembaar.

**Tweerijig hoekcontactkogellager**

Tweerijige hoekcontactlagers kunnen radiale en axiale krachten in beide richtingen opnemen. Door de speciale constructie kunnen deze lagers ook een buigend moment opnemen.

**Eenrijig cilinderlager**

Een eenrijig cilinderlager heeft twee spoorkragen op één van beide ringen. Daardoor kunnen de lagerringen in axiale richting ten opzichte van elkaar verschuiven. Dit kan gebeuren bij assen die van lengte veranderen door temperatuurveranderingen. De lagerringen kun je afzonderlijk monteren, zodat de montage eenvoudig is.

**TABEL 7.1 WENTELLAGERTYPEN (VERVOLG)**

	<p><b>Tweerijig cilinderlager</b></p> <p>Eén van de ringen van een tweerijig cilinderlager heeft spoorkragen (net als van een eenrijig cilinderlager). Dit type lagere gebruik je uitsluitend in werktuigmachines, walsen en een paar speciale gevallen.</p>
	<p><b>Tweerijig tonlager</b></p> <p>Een tweerijig tonlager heeft twee rijen rollen met een gemeenschappelijke bolvormige loopbaan in de buitenring. Het lager kan stotende belastingen opnemen en is instelbaar (net als het tweerijig zelfinstellend kogellager).</p>
	<p><b>Kegellager</b></p> <p>Kegellagers kunnen radiale en axiale belastingen in één richting opnemen. Je kunt het lager afstellen tegen een ander kegellager dat de axiale krachten in tegengestelde richting opneemt. Dit soort lagere is uitneembaar. De binnenring met de rollen en de buitenring bouw je apart van elkaar in.</p>
	<p><b>Naaldlager</b></p> <p>Naaldlagere hebben het voordeel dat ze radiaal klein zijn. De naalden zitten wél of niet in een metalen kooi. In sommige gevallen zijn de naalden rechtstreeks op een gehard stalen as gemonteerd. Naaldlagere kunnen uitsluitend radiale belastingen opnemen.</p>
	<p><b>Kogeltaatslager</b></p> <p>Kogeltaatslagere kunnen axiale belastingen in één richting opnemen, en je mag ze niet radiaal belasten. Om radiale krachten te voorkomen, moet je altijd met een minimale axiale belasting op het lager werken, die afhankelijk is van de rotatiefrequentie. Bij een kogeltaatslager mag de as niet scheef komen te staan ten opzichte van het lagerhuis.</p>
	<p><b>Tontaatslager</b></p> <p>Tontaatslagere hebben bolvormige loopbanen en kunnen zichzelf instellen (net als zelfinstellende radiale lagere). De as mag daarom een beetje scheef komen te staan ten opzichte van het lagerhuis. Het axiaal draagvermogen is hoog.</p>

## 7.6 Een wentellager kiezen

Als je een wentellager wilt kiezen, moet je vooral rekening houden met de beschikbare inbouwruimte en met de grootte en de richting van de optredende belasting.

### 7.6.1 Inbouwruimte

De breedte en de middellijn van de buitenring van het lager bepalen de benodigde inbouwruimte. De middellijn van de *binnenring* van het lager noemen we de *boring*. Deze is gelijk aan de middellijn van de as. De boring en de soort wentellichaam bepalen de middellijn van buitenring.

Kies dus:

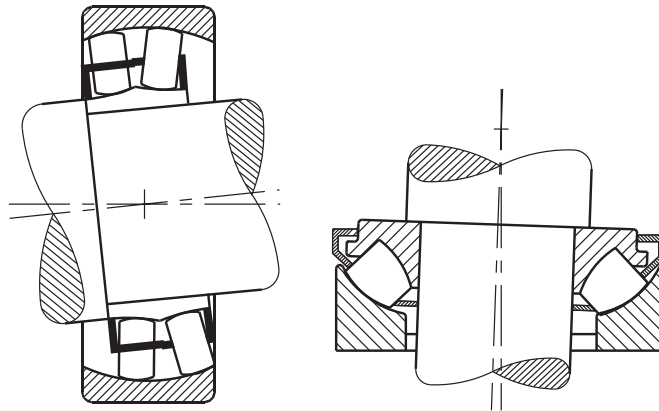
- groefkogellagers voor assen met een kleine middellijn (deze nemen radiale- en kleine axiale krachten op);
- groefkogellagers, cilinderlagers of tweerijige tonlagers voor assen met een grotere middellijn.

### 7.6.2 Belasting

Bij het kiezen van een wentellager moet je vooral rekening houden met de grootte van de belasting.

Cilinderlagers kunnen grotere belastingen opnemen dan kogellagers (bij gelijke afmetingen). Je gebruikt kogellagers dan ook vooral bij lage en middelmatige belastingen. Cilinderlagers gebruik je vooral bij zware dynamische belastingen. Ze hebben meestal één ring zonder spoorkragen. Daardoor kunnen ze (net als naaldlagers) alleen zuiver radiale belastingen opnemen. Andere lagertypen kunnen gecombineerde belastingen opnemen, dus in axiale en radiale richting.

Voor niet zuiver uitgelijnde assen of assen die door belasting een beetje doorbuigen, gebruik je zelfinstellende lagers. Zie figuur 7.8.

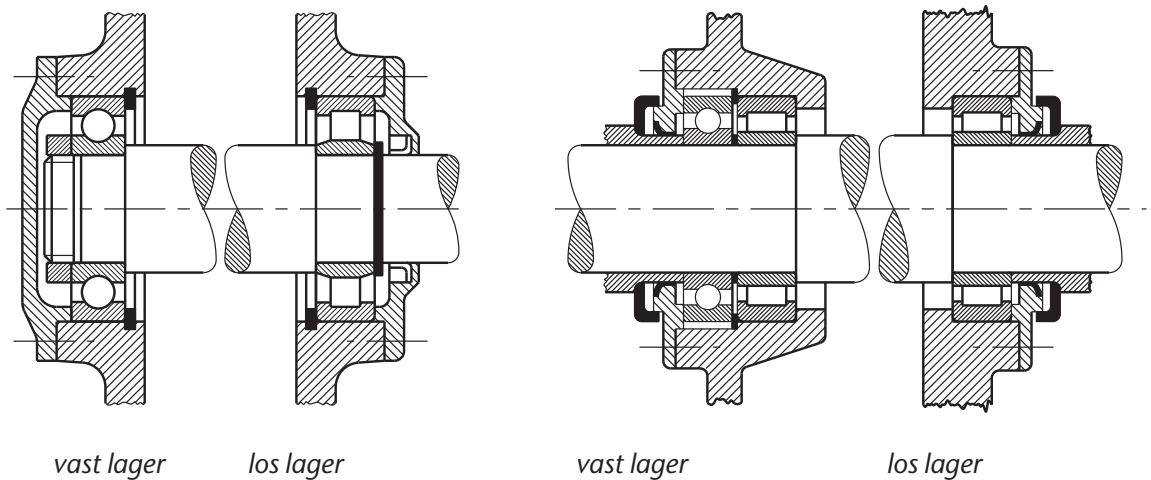


a tweerijig tonlager

b tontaatslager

Figuur 7.8 Lagers bij scheefstelling van de as

Axiale verschuiving door uitzetting van een as kun je opvangen met een cilinderlager van het type NU of N. Zie figuur 7.9.



vast lager

los lager

vast lager

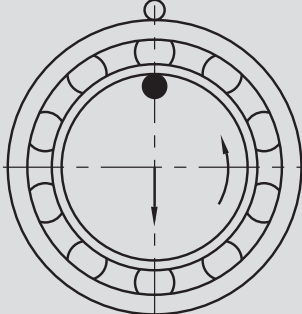
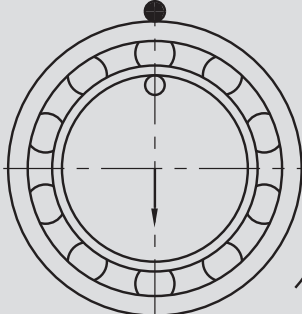
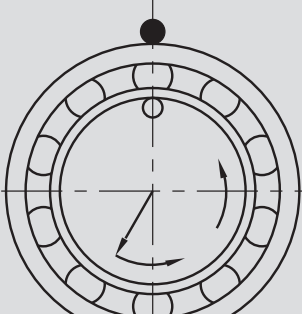
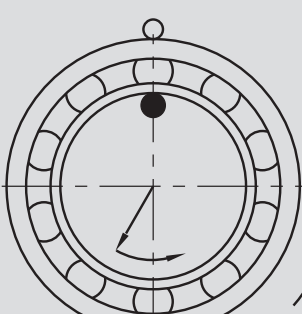
los lager

Figuur 7.9 Cilinderlager type NU

## 7.7 Passingen

Als je een type wentellager hebt uitgekozen, moet je nog de juiste passing kiezen. Daarvoor moet je eerst uitzoeken hoe de lagerringen worden belast ten opzichte van de rotatie. Als de belasting stil staat, monteer je de stilstaande ring met een losse passing en de roterende ring met een vaste pakking. Als de belasting roteert, monteer je de stilstaande ring met een vaste passing en de roterende ring met een losse passing. Algemeen geldt: een ring die stilstaat ten opzichte van de belastingsrichting, monteer je met een losse passing. Zie tabel 7.2.

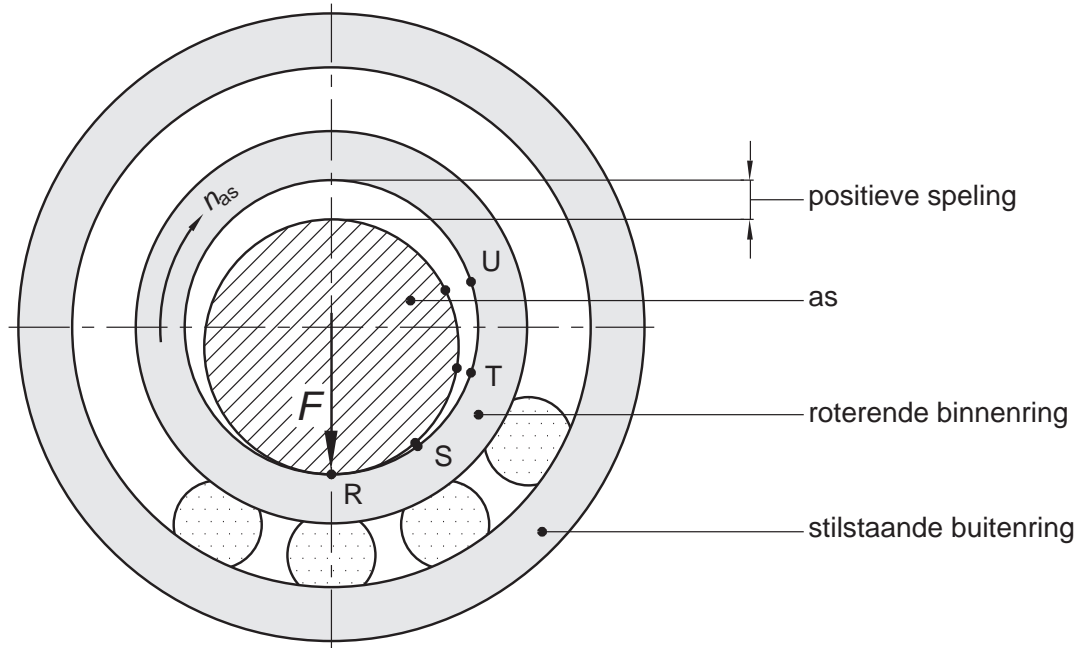


TABEL 7.2 ROTATIEVERHOUDING		
○ losse passing	roterende binnenring stilstaande buitenring	stilstaande binnenring roterende buitenring
stilstaande belasting	 1	 2
roterende belasting	 3	 4
● vaste passing	stilstaande buitenring roterende binnenring	roterende buitenring stilstaande binnenring

Lagerfabrikant SKF noemt de situaties 1 en 4 *stilstaande buitenringbelasting*. De situaties 2 en 3 noemt SKF *stilstaande binnenringbelasting*.

Als je je niet houdt aan de voorschriften van de wentellagerfabrikant, kan dat vervelende gevolgen hebben. Stel dat je een binnenring met een losse passing op de as monteert, terwijl er een vaste passing is voorgeschreven. Zie figuur 7.10. Door te grote speling rolt de as dan bij één omwenteling af over de punten R, S, T en U in de binnenring. Omdat de omtrek van de as kleiner is dan die van de binnenring, gaat de as walsen (slippen) in de binnenring. Slijtage is het gevolg.





Figuur .10 Walsen van de as

Bij de montage van nieuwe lagers op gebruikte assen controleer je eerst of de asmaten nog voldoen aan de voorschriften. Als een vaste passing bijvoorbeeld te strak is, ontstaat er een te kleine radiale speling tussen loopringen en wentellichamen. Dat veroorzaakt een jankend geluid. Bovendien nemen de lagertemperatuur en de slijtage toe. Een te losse passing leidt tot slippen en invreten van de loopring.

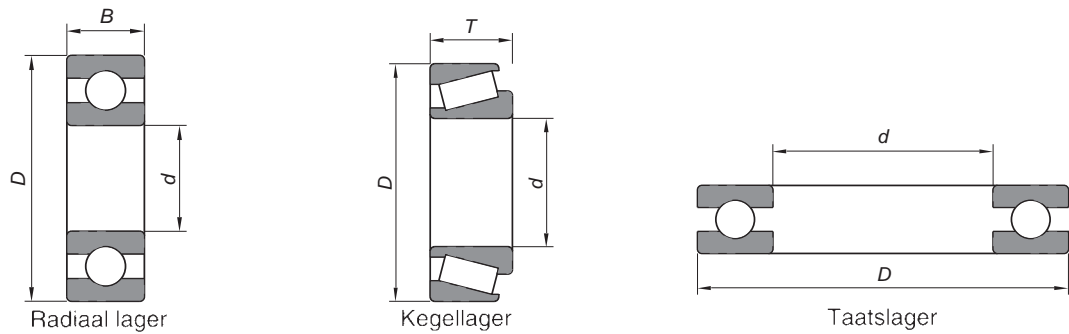
## 7.8 Wentellagercodering

Wentellagers worden gecodeerd volgens het basisaanduidingssysteem. Zie tabel 7.3.

Behalve deze algemene codering gebruikt elke fabrikant eigen achtervoegsels. Lagers met een variabele speling krijgen bijvoorbeeld achter het lagernummer een extra aanduiding met een C:

- C1 = kleinere speling dan C2;
- C2 = kleinere speling dan normaal;
- C3 = grotere speling dan normaal;
- C4 = grotere speling dan C3;
- C5 = grotere speling dan C4.

TABEL 7.3 WENTELLAGERCODERINGSSYSTEEM

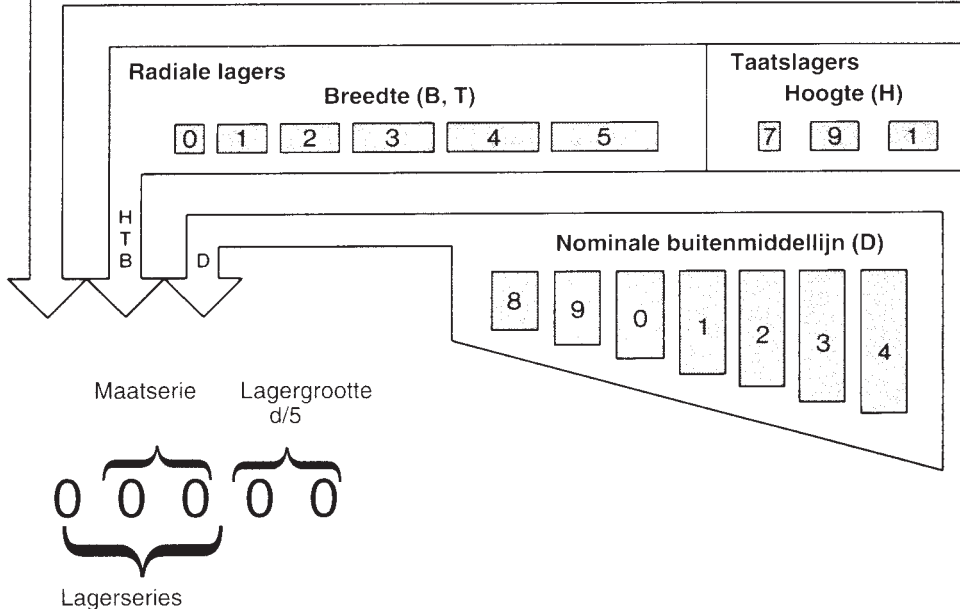
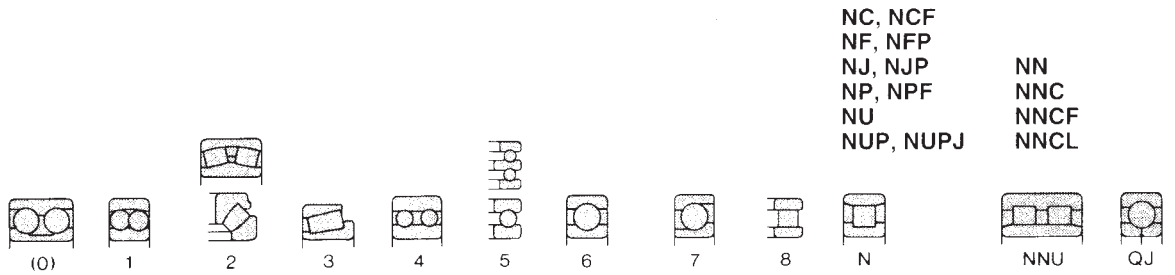


Overzicht van het basisaanduidingssysteem voor wentellagers

Lagerseries

	223		544	(0)4				
	213		524	33				
	232		543 6(0)4	23				
	222		523 623	(0)3				
	241		542 6(0)3	22				
	231		522 (60)3	12				
	240		622	(0)2				
	230 323		534 6(0)2	31				
	249 313		514 (60)2	30				
	239 303		533 16(0)1	20		41		
	122 248 332		513 630 7(0)4	10		31		
	104 238 322		532 6(1)0 7(0)3	39		50		23
(0)54 (1)23	302		512 16(0)0 7(0)2	29		40		(0)3
(0)53 1(0)3	331		511 619 7(1)0	19		30		12
(0)52 (1)22	294 330		510 609 719	38		49		(0)2
(0)33 1(0)2	293 320 4(2)3		590 618 718	28		39		10
(0)32 1(1)0	292 329 4(2)2		591 608 708	18		48		19

Lagertypen





TABEL 7.4 LAGERCODERING SKF

**Achtervoegsels**

Wanneer meerdere achtervoegsels in een lageraanduiding zijn opgenomen wordt de volgorde waarin ze worden vermeld bepaald door de volgende groepen: inwendige constructie, uitwendige constructie, kooi of andere kenmerken. Het achtervoegsel van de vierde groep (andere kenmerken) wordt altijd voorafgegaan door een schuine streep om ze te scheiden van de basisaanduiding van het voorafgaande achtervoegsel.

**Inwendige constructie**

<b>A</b>	Afwijkende of gewijzigde inwendige constructie
<b>B</b>	
<b>C</b>	Voorbeeld: 7205 BE – eenrijig
<b>D</b>	hoekcontactkogellager
<b>E</b>	met een contacthoek van 40° en met meer en/of grotere kogels NU 205 EC – eenrijig cilinderlager met meer en/of grotere rollen en een verhoogd axiaal draagvermogen

**Uitwendige constructie**

<b>CA</b>	Eenrijig hoekcontactkogellager voor willekeurig gepaarde montage
<b>CB</b>	(tandem-, X- of O-opstelling). Wanneer opgesteld in X- of
<b>CC</b>	O-opstelling zal de set voor montage een kleinere (CA), normale (CB) of groter dan normale (CC) axiale speling hebben
<b>-2F</b>	Slingerschijven aan beide zijden van het laager (Y-lagers)
<b>G</b>	Eenrijige hoekcontactkogellagers voor willekeurig gepaarde montage (tandem-, X- of O-opstelling). Wanneer opgesteld in X- of O-opstelling zal de set voor montage een bepaalde speling hebben

<b>GA</b>	Eenrijige hoekcontactkogellagers voor willekeurig gepaarde montage (tandem-, X- of O-opstelling).
<b>GB</b>	Wanneer opgesteld in X- of
<b>GC</b>	O-opstelling zal de set voor montage een kleinere (GA), normale (GB) of grotere dan normale (GC) axiale voorspanning hebben
<b>K</b>	Conische boring, coniciteit 1:12
<b>K30</b>	Conische boring, coniciteit 1:30
<b>N</b>	Groef voor veerring in het manteloppervlak van de buitenring
<b>NR</b>	Als N, maar met veerring
<b>N2</b>	Twee positioneersleuven (op 180°) in de buitenring
<b>PP</b>	Slepende afdichting aan beide zijden van het lager (loop- en steunrollen)
<b>RS</b>	Slepende afdichting van synthetische rubber of polyurethaan aan één zijde van het lager
<b>-RS1</b>	Slepende afdichting aan één zijde van het lager van synthetische rubber met wapening van staalplaat
<b>-2RS1</b>	RS1-afdichtingen aan beide zijden van het lager
<b>.2RS</b>	RS-afdichting aan beide zijden van het lager (naaldlagers)
<b>-RZ</b>	Wrijvingsarme afdichting aan één zijde van het lager van synthetische rubber met wapening van staalplaat aan één zijde van het lager
<b>-2RZ</b>	RZ-afdichting aan beide zijden van het lager
<b>X</b>	1. Hoofdafmetingen gewijzigd in overeenstemming met de ISO-norm 2. Cilindrisch loopvlak (steunrollen, nokrollen)
<b>-Z</b>	Beschermplaatje (niet-slepende afdichting) aan één zijde van het lager
<b>-2Z</b>	Z-beschermplaatjes aan beide zijden van het lager

**TABEL 7.4 LAGERCODERING SKF (VERVOLG)**

<b>-ZN</b>	Z-beschermplaatjes aan één zijde van het lager en een N-groef aan de tegenovergestelde zijde	<b>Andere lagerkenmerken</b>  De schuine streep die aan de achtervoegsels van deze groep moet voorafgaan is hieronder weggelaten.  Nauwkeurigheid	
<b>-2ZN</b>	Z-beschermplaatjes aan beide zijden van het lager en een N-groef in de buitenring		
<b>-ZNR</b>	Als -ZN, maar met veerring		
<b>-2ZNR</b>	Als -2ZN, maar met veerring		
	<b>Kooi</b>		
<b>F</b>	Massieve stalen of gietijzeren kooi	<b>CLN</b>	Komt overeen met ISO-tolerantieklasse 6X voor kegellagers (metrisch), (bepaalde breedte toleranties)
<b>J</b>	Geperste kooi van staalplaat	<b>CL0</b>	Komt overeen met ISO-tolerantieklasse 0 (kegellagers in inch afmetingen)
<b>L</b>	Massieve lichtmetalen kooi	<b>CL3</b>	Komt overeen met ISO-tolerantieklasse 3 (kegellagers in inch afmetingen)
<b>M</b>	Massieve messing kooi	<b>CL7A</b>	Standaardkwaliteit voor kegellagers toegepast als pignonlagers
<b>MP</b>	Massieve messing kooi, venster type	<b>CL7C</b>	Speciale kwaliteit voor kegellagers toegepast als pignonlagers
<b>P</b>	Met glasvezel versterkte polyamide 6.6 kooi	<b>P4</b>	Toleranties en loopnauwkeurigheid volgens ISO-tolerantieklasse 4 (nauwkeuriger dan P5)
<b>TN</b>	Massieve, vezelversterkte kunststof kooi	<b>P4A</b>	Toleranties volgens ISO-tolerantieklasse 4 en loopnauwkeurigheid volgens AFBMA klasse ABEC 9
<b>Y</b>	Geperste kooi van messingplaat	<b>P5</b>	Toleranties en loopnauwkeurigheid volgens ISO-tolerantieklasse 5 (nauwkeuriger dan P6)
	Om aan te geven hoe de kooi in het lager is gecentreerd, kan de letter die de kooiuitvoering aangeeft worden gevolgd door de letter A of B. A geeft aan dat de kooi in de buitenring is gecentreerd en B dat de kooi op de binnenring is gecentreerd. Als er niets wordt aangegeven gaat het om een op de rollichamen gecentreerde kooi. Voorbeeld: MA – massieve messing kooi, op de buitenring gecentreerd De kooiaanduiding kan ook worden gevolgd door cijfers en letters die het kooiontwerp of -materiaal aangeven. Voorbeeld: TN9 – massieve, vezelversterkte kunststof kooi	<b>P6</b>	Toleranties en loopnauwkeurigheid volgens ISO-tolerantieklasse 6
		<b>PA9A</b>	Toleranties volgens AFBMA klasse ABEC 9
		<b>PA9B</b>	Toleranties volgens AFBMA klasse ABEC 9, loopnauwkeurigheid groter dan PA9A
		<b>SP</b>	Toleranties ongeveer volgens P5, loopnauwkeurigheid ongeveer als P4
		<b>UP</b>	Toleranties ongeveer volgens P4, loopnauwkeurigheid groter dan P4
<b>V</b>	Volkogelig of volrollig lager (zonder kooi)		
<b>VH</b>	Volrollig lager met een niet-uitneembare rollenset (cilinderlagers)		

TABEL 7.4 LAGERCODERING SKF (VERVOLG)

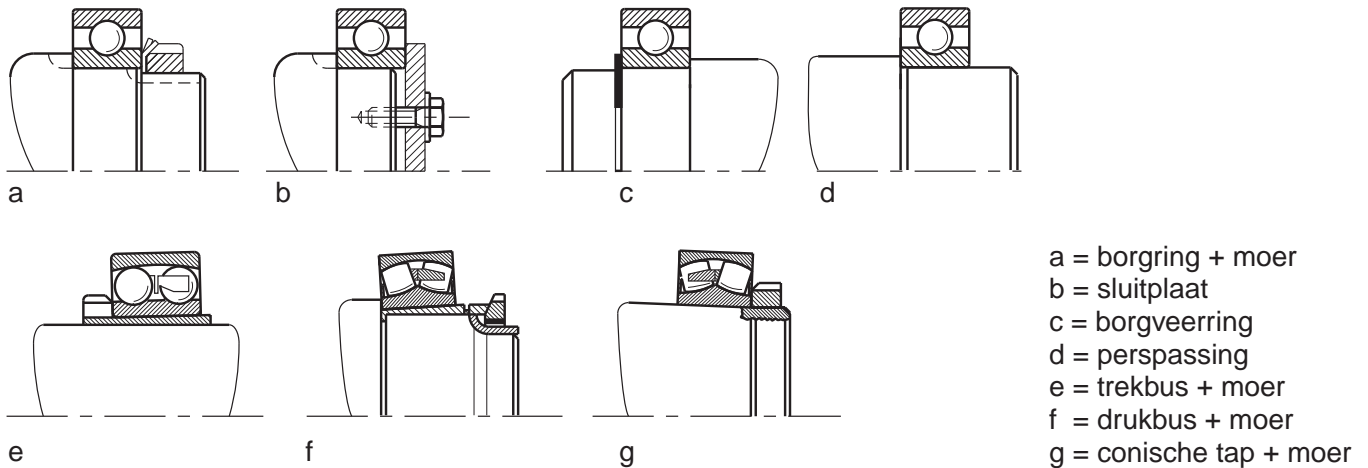
	Lagerspeling		C... speciale axiale speling (de cijfers na de C geven de waarde van de speling aan in $\mu$ )
<b>C1</b>	Speling kleiner dan C2		GA lichte voorspanning (groefkogellagers)
<b>C2</b>	Speling kleiner dan Normaal		GB voorspanning groter dan GA (groefkogellagers)
<b>C3</b>	Speling groter dan Normaal		G... speciale voorspanning (de cijfers na de G geven de waarde van de voorspanning aan in daN)
<b>C4</b>	Speling groter dan C3		
<b>C5</b>	Speling groter dan C4		
	Indien gecombineerd met de achtervoegsels P4, P5 en P6 (loopnauwkeurigheid), vervalt de letter C in de spelingsaanduiding. Voorbeeld: P6 + C2 = P62		Voorbeeld: 6208/DBGA – twee gepaarde groefkogellagers 6208 in O-opstelling met lichte voorspanning
	Kwaliteit		
<b>Q</b>	Geoptimaliseerde interne geometrie en oppervlakte-afwerking (kegellagers)		
<b>Q66</b>	Geruisniveau lager dan normaal, geruispieken lager dan normaal	<b>DF</b>	Twee gepaarde groefkogellagers, eenrijige hoekcontactkogellagers of eenrijige kegellagers in X-opstelling. DF kan worden gevolgd door dezelfde lettercombinaties als DB
<b>QE5</b>	Speciale kwaliteit voor elektromotoren, toleranties en loopnauwkeurigheid volgens P6, buitengewoon geruisarm		
<b>QE6</b>	Standaardkwaliteit voor elektromotoren, geruisarm	<b>DT</b>	Twee gepaarde groefkogellagers, eenrijige hoekcontactkogellagers of eenrijige kegellagers in tandemopstelling
	Lagersets		
<b>DB</b>	Twee gepaarde groefkogellagers, eenrijige hoekcontactkogellagers of eenrijige kegellagers in O-opstelling. De letters onmiddellijk achter DB volgend geven de mate van axiale speling of voorspanning aan voor montage:		Warmtebehandeling
	A lichte voorspanning (hoekcontactkogellagers)	<b>S0</b>	tot en met 150 °C
	B voorspanning groter dan A (hoekcontactkogellagers)	<b>S1</b>	tot en met 200 °C
	C voorspanning groter dan B (hoekcontactkogellagers)	<b>S2</b>	tot en met 250 °C
	CA kleine axiale speling (groef- en hoekcontactkogellagers)	<b>S3</b>	tot en met 300 °C
	CB axiale speling groter dan CA (groef- en hoekcontactkogellagers)	<b>S4</b>	tot en met 350 °C
	CC axiale speling groter dan CB (groef- en hoekcontactkogellagers)		
	CG „nul”-speling (kegellagers)		

**TABEL 7.4 LAGERCODERING SKF (VERVOLG)**

	Nasmering	Andere kenmerken
<b>W</b>	Geen smeergaten	Combinaties van de letter V met een andere letter (bijvoorbeeld VA) en een combinatie van drie cijfers geven afwijkingen aan in het standaardontwerp, die niet worden aangegeven door andere bestaande achtervoegsels.
<b>W20</b>	Drie smeergaten in de buitenring	
<b>W33</b>	Smeergroef en drie smeergaten in de buitenring	
<b>W33X</b>	Smeergroef en zes smeergaten in de buitenring	
	<b>Smeerstoffen</b>	<b>VA201</b> Lagers voor ovenwagens <b>VA301</b> Cilinderlagers voor tractiemotoren
	De achtervoegsels die worden gebruikt om de vetten aan te duiden waarmee het lager is gevuld bestaan uit een lettercombinatie die het temperatuurbereik aangeeft, gevolgd door een tweecijferig nummer dat het toegepaste vet aangeeft. De volgende lettercombinaties worden gebruikt:	
<b>HT</b>	Vet voor hoge temperaturen (–20 tot +130 °C)	
<b>LHT</b>	Vet voor lage en hoge temperaturen (–40 tot +140 °C)	
<b>LT</b>	Vet voor lage temperaturen (–50 tot +80 °C)	
<b>MT</b>	Vet voor gemiddelde temperaturen (–30 tot +110 °C)	
	Het achtervoegsel MT wordt alleen gebruikt als het betreffende vet niet het standaardvet is voor het betreffende lager. Vetvullingen die afwijken van de standaardvetvulling (25 tot 35 %) worden aangeduid met een toegevoegde letter:	
	A vetvulling minder dan standaard B vetvulling groter dan standaard C vetvulling groter dan B	
	Voorbeeld: 6210-2Z/HT51B – groefkogellager 6210 met twee beschermplaatjes, voorzien van een vet geschikt voor hoge temperaturen, in een vulling groter dan normaal	

## 7.9 Bevestiging van wentellagers

Je kunt wentellagers op verschillende manieren bevestigen op een as. Zie figuur 7.11.



Figuur 7.11 Bevestiging van een wentellager op een as

Voordat je een lager monteert maak je de as, de lagerringen en het lagerhuis goed schoon. Bij het monteren en demonteren ga je op de juiste manier en zorgvuldig te werk. Alleen dan krijg je een juiste passing, een nauwkeurige afwerking en een zo lang mogelijke levensduur.

Voor wat betreft montage en demontage kun je de lagertypen onderverdelen in twee hoofdsoorten:

- niet-uitneembare lagers;
- lagers die uit twee of meer delen bestaan.

Bij niet-uitneembare lagers kijk je eerst met welke passing je moet beginnen: de passing op de as of de passing in het huis. Algemeen geldt bij montage:

- bij een vaste passing op de as monteert je het lager eerst op de as. Daarna monteert je de as met het lager in het huis;
- bij een vaste passing in het huis monteert je het lager eerst in het huis. Daarna monteert je de as in het lager;
- bij een lager met een conische boring monteert je altijd eerst het lager op de as.

Bij demontage werk je in de omgekeerde volgorde. Het is belangrijk dat je bij demontage weet wat de losse of vaste passing is.

Sommige lagers bestaan uit twee of meer delen. Het voordeel hiervan is dat je de delen apart van elkaar kunt monteren. Op een later moment voeg je dan de as en het huis samen. Een nadeel van sommige lagertypen (kegellagers en hoekcontactlagers) is dat je tijdens de montage de speling moet afstellen.

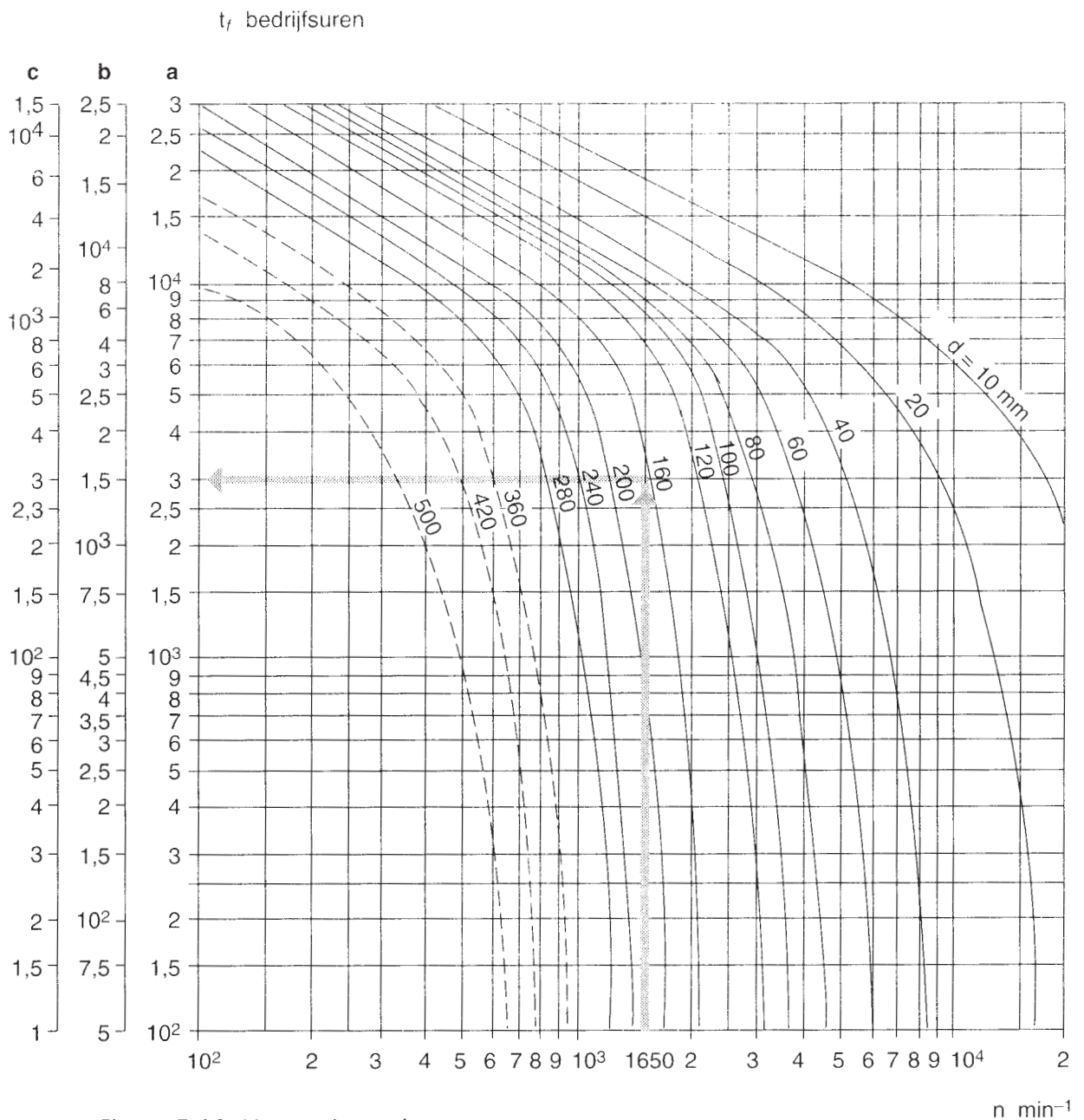


## 7.10 Smering

Wentellagers smeer je met vet of olie. Omdat vet beter afdicht dan olie, gebruik je meestal vet. Bovendien beschermt vet tegen de inwerking van vocht en vuil. Je gebruikt olie als het toerental van een lager te hoog is voor vetsmering.

Bij vetsmering vul je alle holten en ruimten rond de wentellichamen en de loopringen met vet. Je vult een lagerhuis voor 50% en soms zelfs voor 100% met vet. 100% vulling is bijvoorbeeld nodig bij langzaam draaiende assen in een erg verontreinigde ruimte.

Als de wentellagers een bepaalde periode gedraaid hebben, smeer je ze na. Hoe lang die periode is, hangt af van het lagertype, de lagerafmetingen en het aantal omwentelingen. Zie figuur 7.12.



Figuur 7.12 Nasmeeinterval

Figuur 7.12 geldt voor lagers op een horizontale as in stationaire machines en voor lithiumzeepvetten bij bedrijfstemperaturen tot 70 °C. Bij elke 15 °C boven de 70 °C kun je het nasmeerinterval het beste halveren. Let op dat je de maximumtemperatuur van het vet hierbij niet overschrijdt. Bij een verticale as moet je de gevonden waarden uit het diagram halveren.

### Voorbeeld

#### Gegeven

Een tonlager 23032 CC/C3 W33 van een shredder heeft een toerental van 1650 omw/min. De lagertemperatuur is 85 °C.

#### Gevraagd

Na hoeveel draaiuren moet je het lager nasmeren?

#### Oplossing

Zoek in figuur 7.12 op de horizontale as het toerental op. Daarna ga je verticaal omhoog tot de lijn van 160 (=  $5 \cdot 32$ ). Vanuit dit snijpunt ga je naar links, tot het getal onder c. Je vindt een aantal draaiuren van ongeveer 300. Aangezien de temperatuur meer dan 70 °C is, moet je de gevonden tijd halveren. Het juiste antwoord is dan ook 150 draaiuren.

## 7.11 Dynamische afdichtingen

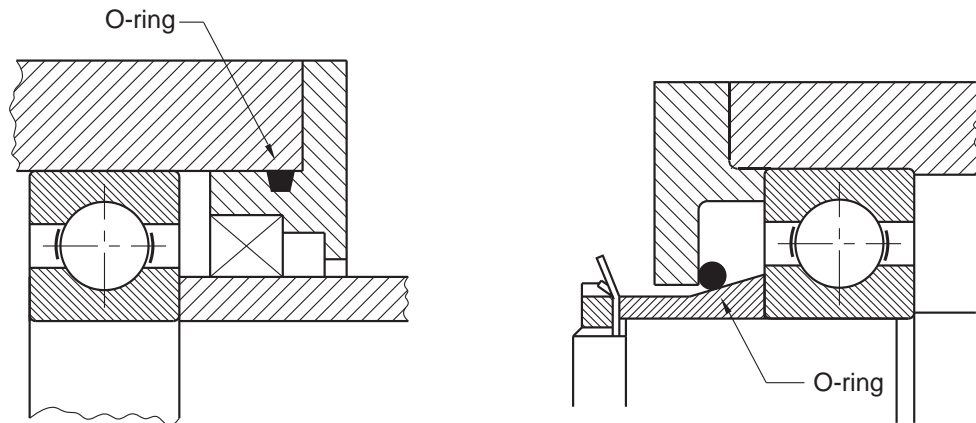
Bij wentellagers worden vaak dynamische afdichtingen gebruikt. Bijvoorbeeld:

- ter voorkoming van verontreiniging van buitenaf;
- ter voorkoming van drukafname van gassen of vloeistoffen;
- om olie of vet binnen het lagerhuis te houden.

### 7.11.1 Afdichtringen

#### O-ring

O-ringen worden zowel bij statische als bij dynamische afdichtingen gebruikt. Zie figuur 7.13.

*a* statische afdichting*b* dynamische afdichting

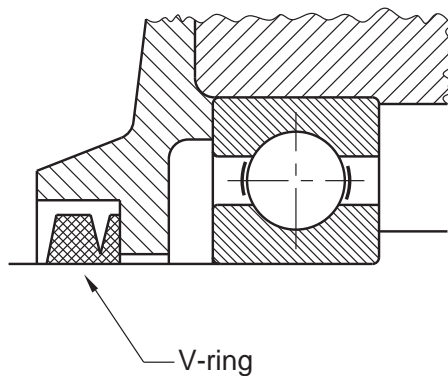
Figuur 7.13 O-ringen

O-ringen worden meestal gemaakt van kunststof (PTFE) of rubber. De breedte- en hoogtematen van de groef zijn genormaliseerd. Voor statische afdichtingen staan de afmetingen in DIN 3771.

Je moet er vooral op letten dat een O-ring niet getordeerd in zijn groef komt te liggen. Als je een O-ring voor een dynamische afdichting gebruikt, vul je de groef meestal met zuurvrije vaseline of vet.

### V-ring

Je kunt een V-ring zowel bij olie- als bij vetsmering gebruiken. Zie figuur 7.14.



Figuur 7.14 V-ring

De rubber V-ring zit vast op de as en de lip rust tegen het stilstaande huis.

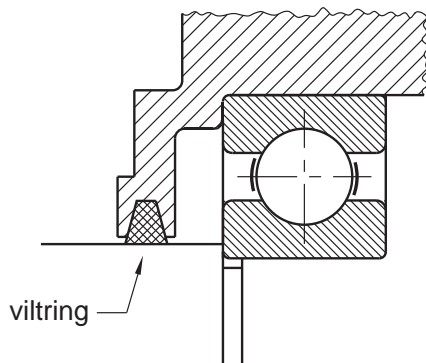
De V-ring dicht goed af doordat het dikste gedeelte als een slingerschijf werkt.

Het slingert vuil en vloeistoffen weg. Daarom wordt de V-ring bij vetsmering aan de buitenkant van het lagerhuis geplaatst en bij oliesmering aan de binnenkant.

Je kunt V-ringen gebruiken bij bedrijfstemperaturen van  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  tot  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Viltring

Je gebruikt viltringen meestal bij vetsmering. Zie figuur 7.15.



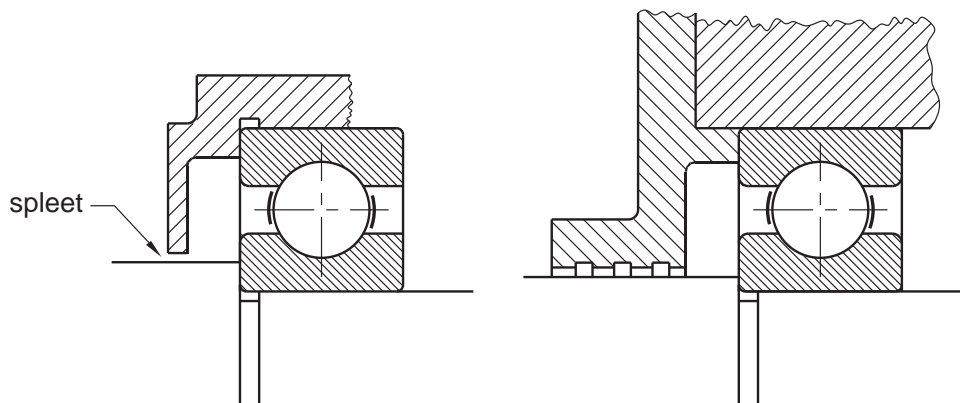
Figuur 7.15 Viltring

Voor de montage drenk je de viltring in olie met een temperatuur van ongeveer 80 °C. De afdichtende werking tegen vuil en stof is redelijk, maar de viltring dicht maar matig af tegen vocht. Meer dan één viltring gebruiken heeft niet zo veel nut. De buitenste ring droogt namelijk uit en verhardt.

### 7.11.2 Spleetafdichting

Er zijn twee typen spleetafdichtingen:

- normale spleetafdichtingen;
- spleetafdichtingen met groeven.



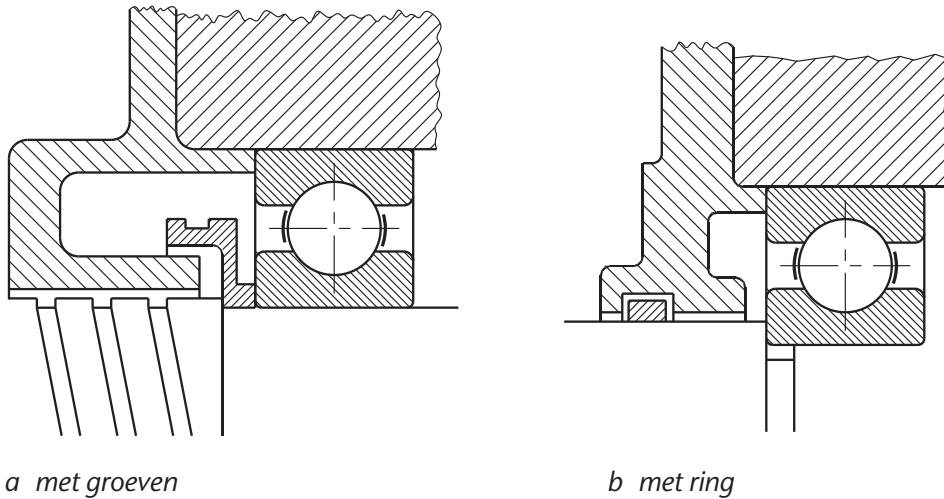
a normale spleetafdichting

b spleetafdichting met groeven

Figuur 7.16 Spleetafdichting

Je gebruikt normale spleetafdichtingen alleen als er weinig kans is op binnendringen van vuil en vocht. De afdichtende werking van een spleetafdichting met groeven is veel beter. De spleet is hierbij langer en in het huis zijn één of meer groeven aangebracht. Het vet blijft in deze groeven zitten. Zie figuur 7.16b.

Bij oliesmering moeten er groeven in de as komen. De groeven brengen lekkende olie weer terug naar het lager. Afhankelijk van de draairichting van de as worden de groeven linksom of rechtsom aangebracht. Zie figuur 7.17a. Je kunt hiervoor ook een ring gebruiken. Zie figuur 7.17b.



*a met groeven*

*b met ring*

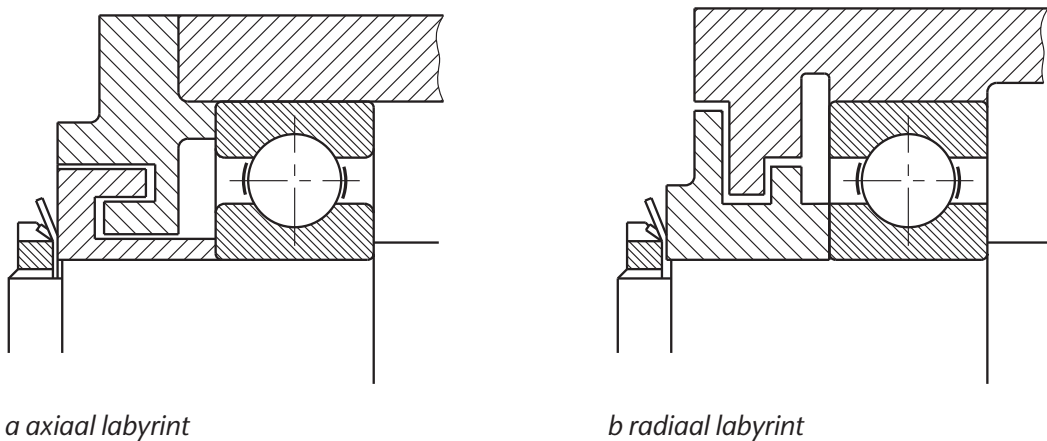
*Figuur 7.17 Spleetafdichting bij oliesmering*

De *labyrintafdichting* is een goede oplossing bij:

- hoge toerentallen en temperaturen;
- extreem vuile en/of vochtige omstandigheden.

Er zijn twee soorten labyrintafdichtingen:

- axiale labyrinten, voor gebruik in huizen uit één stuk (zie figuur 7.18a);
- radiale labyrinten, voor gebruik in gedeelde huizen (zie figuur 7.18b).



*a axiaal labyrint*

*b radiaal labyrint*

*Figuur 7.18 Labyrintafdichtingen*

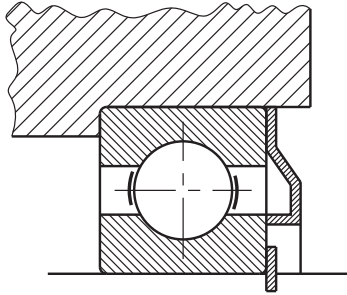
Hoe hoger het aantal labyrintgangen, hoe beter de afdichting.

Labyrintafdichtingen worden vaak in combinatie met viltringen toegepast.

### 7.11.3 Slependedafdichtingen

#### Nilosring

Nilosringen zijn geharde ringen. Ze worden gebruikt bij vetsmering en bij lage toerentallen. De maximale omtreksnelheid is 5 m/s. Zie figuur 7.19.

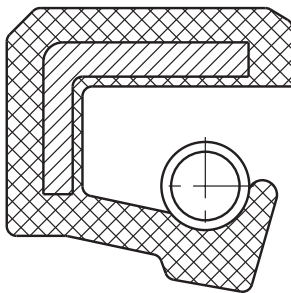


Figuur 7.19 Nilosring

Een afdichting met een Nilosring werkt als volgt. Eerst is er sprake van slepende afdichting tegen één van de lagerringen. Na enige tijd heeft de ring een groef gesleten in de lagerring. Dan gaat de slepende afdichting over in een spleetafdichting.

#### Oliekeerring (Simmerring)

Een veelgebruikte dynamische afdichting is de oliekeerring of Simmerring. Dit is een slepende afdichting die vaak wordt gebruikt bij lagers met oliesmering. De ring zelf is meestal gemaakt van synthetisch rubber, en de verstevigingsring van corrosievast staal. Een spiraalveer drukt de afdichtingslip tegen het afdichtingsvlak. Zie figuur 7.20.

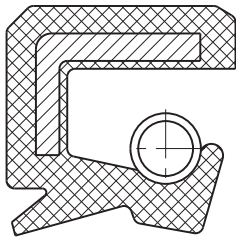


Figuur 7.20 Doorsnede oliekeerring

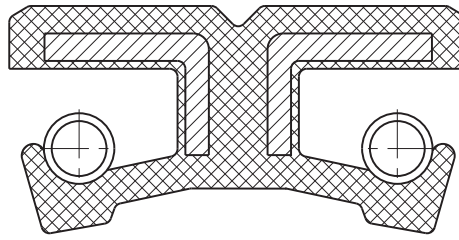
Oliekeerringen gebruik je bij temperaturen tussen  $-40\text{ °C}$  en  $+200\text{ °C}$ . Hoe je de ring monteert, hangt af van het belangrijkste doel. Om het smeermiddel binnen te houden monteert je de ring met de lip naar binnen. Als je vuil en/of vocht wilt weren monteert je de lip naar buiten.

Naast de standaarduitvoering zijn er oliekeerringen met afwijkende vormen.

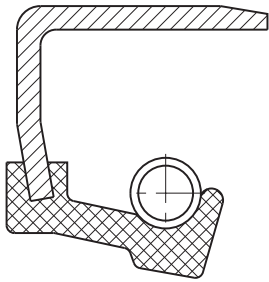
Zie figuur 7.21.



*a standaard met stoflip*



*b met dubbele lip*

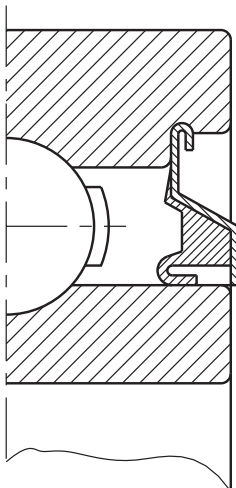


*c met stalen huis*

*Figuur 7.21 Afwijkende doorsneden van oliekeerringen*

### Geïntegreerde afdichtingen

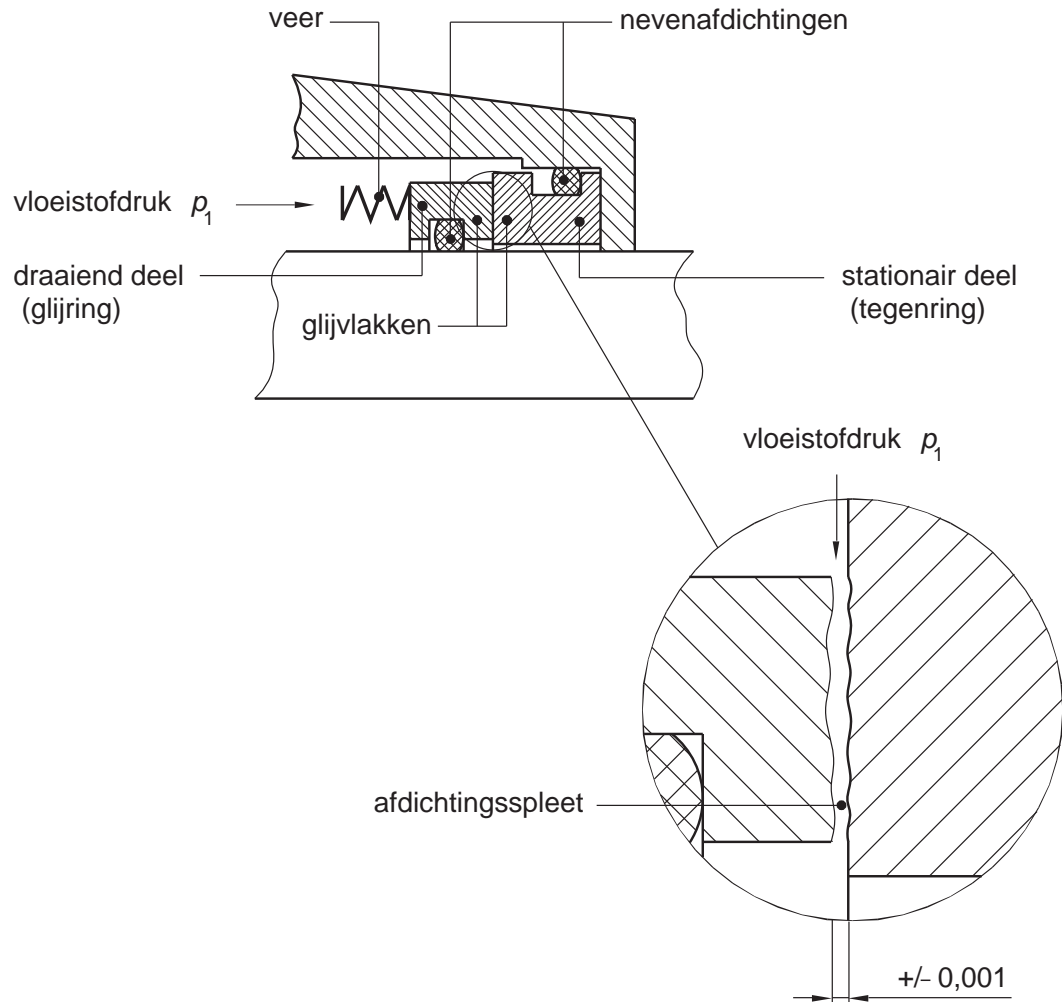
De hiervoor genoemde afdichtingen worden allemaal los van het lager gebruikt. Er zijn echter ook lagers met geïntegreerde afdichtingen. Zie figuur 7.22.



*Figuur 7.22 Lager met geïntegreerde afdichting*

### 7.11.4 Mechanical seals

Bij een *mechanical seal* drukken één of meer veren een draaiende glijring tegen een stationaire tegenring. Daardoor ontstaat er een maximale afdichting. Zie figuur 7.23.



Figuur 7.23 Mechanical seal

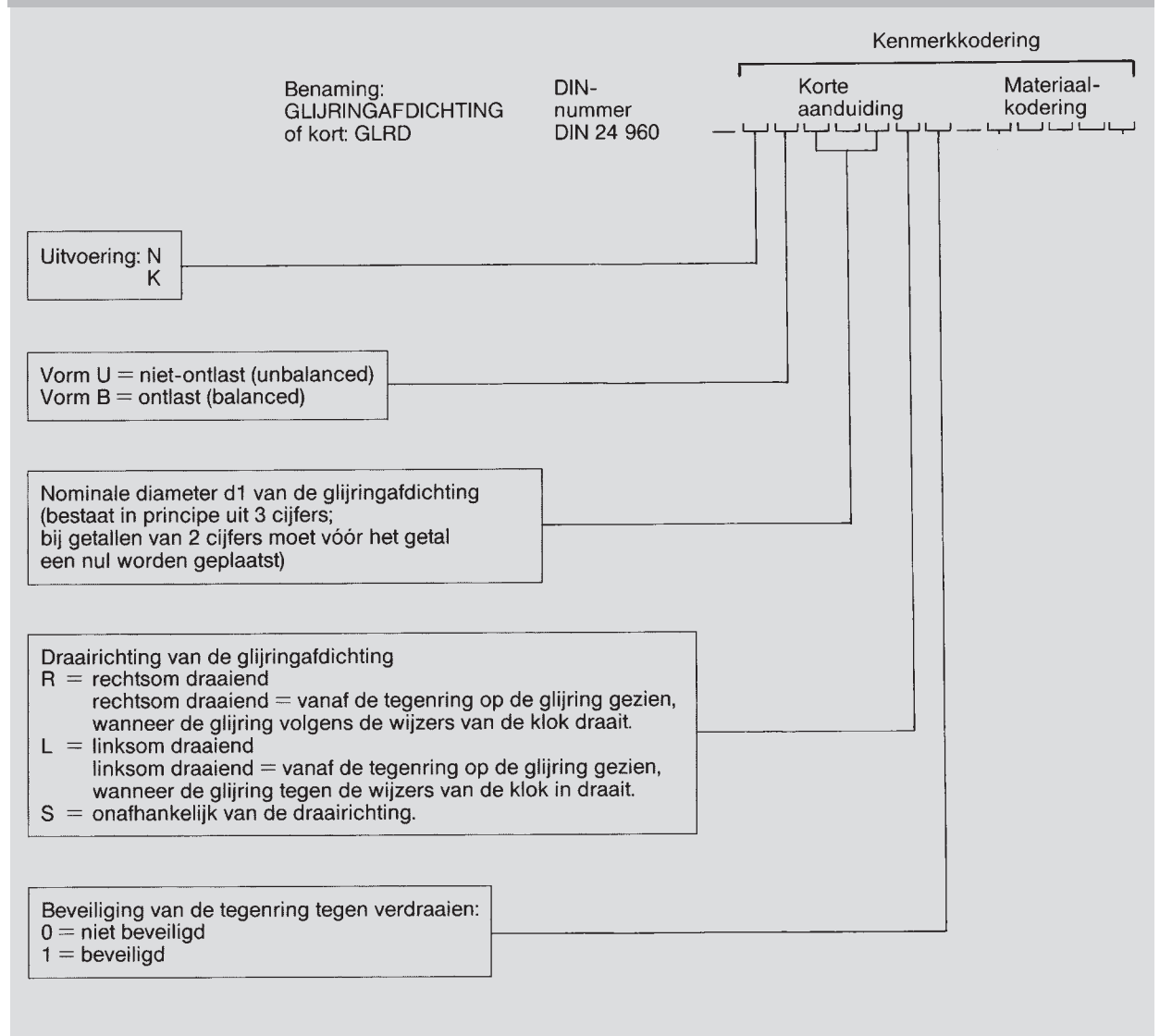
Een mechanical seal heeft een lange levensduur. Je gebruikt mechanical seals vooral bij extreem hoge en lage drukken, bij hoge temperaturen en bij hoge glijsnelheden.

Bij een standaard mechanical seal bestaat de glijring uit koolstof en de tegenring uit keramisch materiaal. Er zijn meerdere materiaalcombinaties mogelijk. Welke materialen je kiest hangt af van het medium waartegen afgedicht wordt. De bewerkte glijvlakken mogen nooit drooglopen. Een mechanical seal moet tijdens het draaien altijd omgeven worden door een vloeistof die voor smering zorgt. O-ringen zorgen voor de afdichting van de glijring en de tegenring. Je plaatst een mechanical seal zó, dat de af te dichten vloeistof zelf meehelpt de glijvlakken dicht te drukken.



Mechanical seals zijn genormaliseerd volgens DIN 24960. In het volgende voorbeeld zie je hoe een enkelwerkende mechanical seal wordt gecodeerd. Zie tabel 7.5.

**TABEL 13.5 CODERING ENKELWERKEND MECHANICAL SEAL**



### Voorbeeld

DIN codering: **NU 043 R 1** – SBVGG

Het dikgedrukte deel is de verkorte aanduiding die je met tabel 7.5 kunt verklaren. De uitvoeringsletters N en K hebben betrekking op de inbouwlengte:

- N = normaal;
- K = kort.

De verkorte aanduiding betekent:

Codering voor een enkelwerkende glijringafdichting in niet-ontlaste uitvoering (U) met een nominale middellijn  $d_1 = 43$  mm (043), rechtsom draaiend (R), beveiligd tegen verdraaien van de tegenring aan de atmosferzijde (1).

Het tweede deel van de codering, SBVGG, komt uit de materiaalcoderingstabel. Zie tabel 13.6.

**TABEL 7.6** MATERIAALCODERINGSTABEL

1e en 2e letter van de materiaalkode	3e letter van de materiaalkode	4e en 5e letter van de materiaalkode
Materiaal van de glijring resp. tegenring	Materiaal van de nevenafdichtingen	Materiaal van de veren resp. andere constructiedelen (behalve huis)
<p><b>Synthetische kool</b>  <b>A</b> = harde kool, met antimoon geïmpregneerd  <b>A1</b> = harde kool, met brons geïmpregneerd  <b>B</b> = harde kool, met kunsthars geïmpregneerd, max. +200°C  <b>B1</b> = harde kool, met kunsthars geïmpregneerd, max. +300°C  <b>B2</b> = harde kool, met PTFE geïmpregneerd  <b>C</b> = elektrografiet, niet-geïmpregneerd  <b>C1</b> = harde kool, niet-geïmpregneerd  <b>C2</b> = harde kool, niet-geïmpregneerd, poreus</p> <p><b>Metaal</b>  <b>D</b> = C-staal  <b>D3</b> = C-staal, 1.1545  <b>E</b> = Cr-staal  <b>F</b> = CrNi-staal  <b>G</b> = CrNiMo-staal  <b>H</b> = CrNi-staal met stelliet laag  <b>K</b> = CrNiMo-staal 1.4571 met stelliet laag  <b>L</b> = stelliet  <b>M</b> = legering met hoog nikkelgehalte  <b>N</b> = brons CuPb15Sn, 2.1181  <b>N1</b> = brons CuAl10Ni, 2.0966  <b>P</b> = gietijzer  <b>R</b> = gelegeerd gietijzer, Ni-resist  <b>S</b> = CrMo-staal, 1.4138  <b>T</b> = overige metalen</p> <p><b>Metaalcarbide</b>  <b>U</b> = wolframcarbide, kobaltgebonden  <b>U1</b> = wolframcarbide, nikkelgebonden  <b>U4</b> = siliciumcarbide, met vrij silicium  <b>U5</b> = siliciumcarbide, met kool geconventieerd  <b>U6</b> = siliciumcarbide, zonder vrij silicium</p> <p><b>Metaaloxiden (keramiek)</b>  <b>V</b> = Al-oxide 99%  <b>V1</b> = Al-oxide 99.7%  <b>V2</b> = Al-oxide 96%  <b>W</b> = Cr-oxide  <b>X</b> = overige metaaloxiden</p> <p><b>Kunststof</b>  <b>Y</b> = PTFE, met 20% glasvezel versterkt  <b>Y1</b> = PTFE, met 25% kool versterkt  <b>Y2</b> = PTFE, met 40% glasvezel versterkt  <b>Z</b> = overige kunststoffen</p>	<p><b>Elastomeren</b>  <b>P</b> = nitrilerubber, 70 Sh A, NBR  <b>N</b> = chloroprenerubber, 70 Sh A, CR  <b>B</b> = butylrubber, 70 Sh A, IIR  <b>E</b> = EP-rubber, 70 Sh A, EPDM  <b>V</b> = Viton®, 70 Sh A, FPM</p> <p>Hardheidsgraden in Shore A Index 1 = 80  Index 2 = 90</p> <p><b>S</b> = siliconenrubber, 66 Sh A, MVQ  <b>N3</b> = chloroprenerubber, koelmiddelbestendig, 80 Sh A, CR  <b>X1</b> = Hypalon®, 76 Sh A, CSM  <b>X2</b> = Kalrez, 70 Sh A  <b>X3</b> = Kalrez, 80 Sh A  <b>M</b> = PTFE, enkelvoudig ommanteld, kern V  <b>M1</b> = PTFE, dubbel ommanteld, kern V  <b>M2</b> = FEP, naadloos ommanteld, kern V</p> <p><b>Niet-elastomeren</b>  <b>T</b> = PTFE, quenched  <b>T1</b> = PTFE/PTFE 20% glas  <b>T2</b> = PTFE/PTFE 25% kool  <b>A</b> = asbest, geïmpregneerd  <b>F</b> = It-pakking, It 400  <b>Y</b> = overige niet-elastomeren</p> <p><b>Bijzondere gevallen</b>  <b>U</b> = diverse materialen voor nevenafdichtingen  <b>U1</b> = 410 van T, 412.2 van M  <b>U2</b> = 410 van T, 412.2 van N3  <b>U3</b> = 412.1 van X2, 412.2 en 412.3 van T  <b>U4</b> = 412.1 van M2, 412.2 en 412.3 van T  <b>U5</b> = 412.1 van PTFE, enkel ommanteld (kernviton) en 412.2 van massief PTFE</p>	<p><b>D</b> = C-staal, St 37.2  <b>D1</b> = C-staal, St 50.2  <b>D2</b> = C-staal, St 60.3  <b>E</b> = Cr-staal, 1.4021  <b>F</b> = CrNi-staal, 1.4568  <b>F1</b> = CrNi-staal, 1.4301/1.4308  <b>F2</b> = CrNi-staal, 1.4305  <b>F3</b> = CrNi-staal, 1.4310  <b>G</b> = CrNiMo-staal, 1.4401/1.4408  <b>G1</b> = CrNiMo-staal, 1.4571/1.4581  <b>G2</b> = CrNiMo-staal, 1.4460/1.4582  <b>G3</b> = CrNiMo-staal, 1.4500  <b>M</b> = legering met hoog nikkelgehalte  Hastelloy C4, 2.4610/2.4883  <b>M1</b> = legering met hoog nikkelgehalte  Hastelloy B2, 2.4617/2.4882  <b>N</b> = brons CuPb15Sn, 2.1182  <b>N1</b> = brons CuAl10Ni, 2.0966  <b>S</b> = gegoten chroomstaallegering, 1.4138  <b>T</b> = overige materialen  <b>T1</b> = Duroplast  <b>T2</b> = Polypropyleen  <b>T3</b> = PTFE</p>

Onderdeel  
glijring  
tegenring

nevenafdichtingen  
veer  
overige constructiedelen

Materiaal  
gegoten chroomstaallegering  
harde kool, met kunsthars  
geïmpregneerd  
fluorrubber Viton  
CrNiMo-staal  
CrNiMo-staal

Codering  
(S)  
(B)  
(V)  
(G)  
(G)

## 7.12 Kernpunten

Wentellagers hebben een zeer lage wrijving.

Er zijn radiale wentellagers en axiale wentellagers. De benaming geeft aan hoe je het lager kunt belasten.

Er zijn kogellagers, kegellagers, tonlagers, cilinderlagers en naaldlagers. Ze kunnen enkel- of dubbelrijig uitgevoerd worden.

Met een cilinderlager kun je lengteveranderingen van een as opvangen.

Als de as doorbuigt of de uitlijning niet helemaal optimaal is, kies je voor een zelfinstellend lager.

Bij stilstaande buitenringbelasting monteert je de binnenring met vaste passing en de buitenring met losse passing. De binnenring draait dan mee met de as.

Bij stilstaande binnenringbelasting monteert je de binnenring met een losse passing en de buitenring met een vaste passing. De binnenring staat dan stil met de as.

Wentellagercodering:

- De laatste twee cijfers geven de asmiddellijn aan.
- De cijfers 00, 01, 02, 03 geven een asmiddellijn van 10, 12, 15 en 17 aan.
- Vanaf asmiddellijn 20 mm vermenigvuldig je de laatste twee cijfers met 5.
- Het derde cijfer van rechts geeft de uitvoering aan.
- De overige cijfers en letters geven het lagertype aan.

Er zijn verschillende manieren om wentellagers te bevestigen. Bij montage of demontage is het belangrijk om te weten welk lagerdeel een vaste of losse passing heeft. Het deel met de vaste passing wordt het eerst gemonteerd.

Lagers moeten na verloop van tijd nagesmeerd worden. Je kunt het nasmeerinterval berekenen of aflezen uit grafieken.

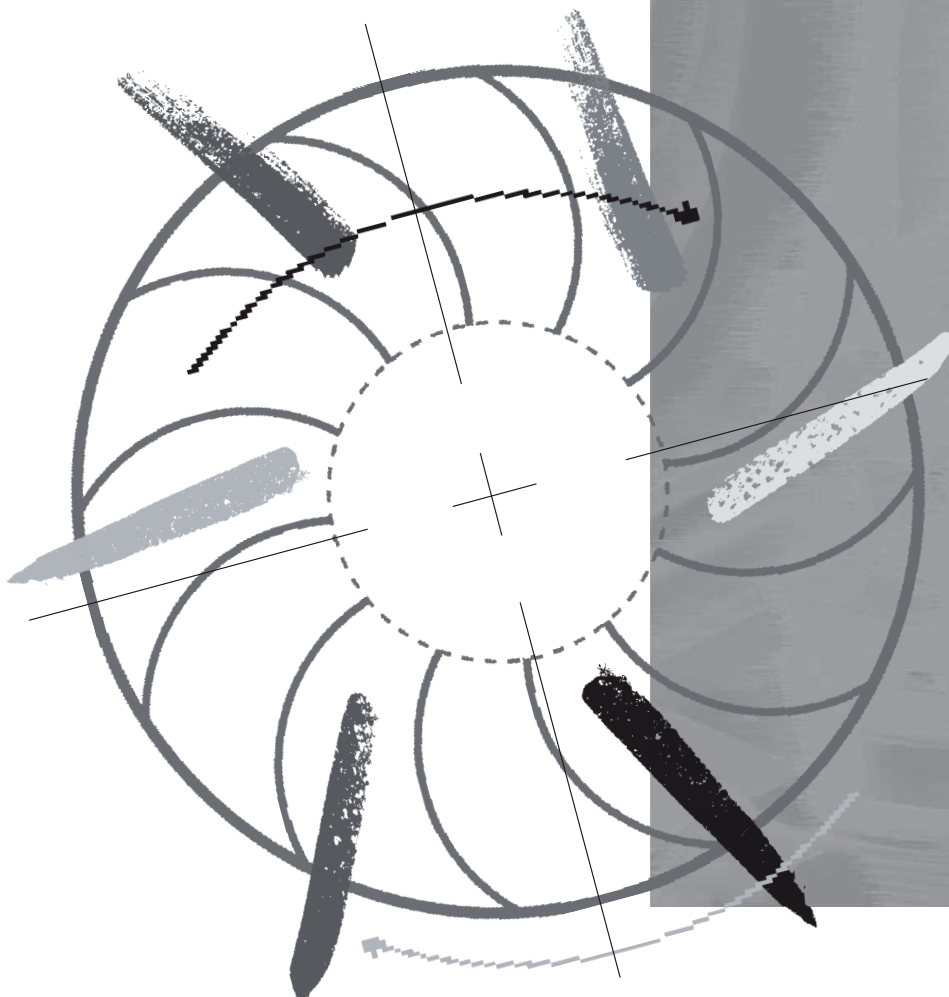
Er zijn verschillende manieren om een lager af te dichten:

- afdichtringen;
- spleetafdichting;
- slepende afdichtingen;
- geïntegreerde afdichtingen;
- mechanical seals.



# Tandwielen en tandwielkasten

8



## 8.1 Inleiding

Je ziet tandwielen bijna nooit, omdat ze meestal in tandwielkasten en versnellingsbakken worden ingebouwd. Tandwielen zijn verkrijgbaar in verschillende afmetingen en uitvoeringen. Zie figuur 8.1.

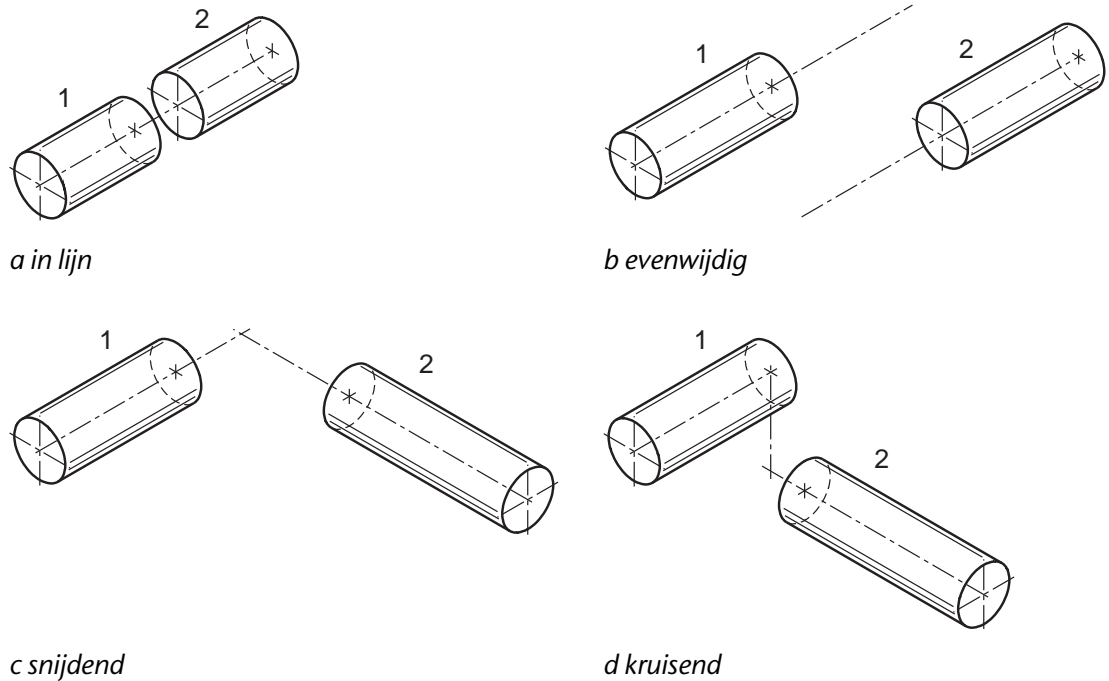


*Figuur 8.1 Tandwielen met as*

De toepassing bepaalt de benodigde afmetingen en vorm van een tandwiel. Dit hoofdstuk helpt je bij het kiezen van het juiste tandwiel voor een bepaalde toepassing.

## 8.2 Roterende overbrengingen

Bij een roterende overbrenging wordt de ronddraaiende beweging van de ene as overgebracht op de andere as. In figuur 8.2 zie je dat assen ten opzichte van elkaar verschillende standen kunnen innemen.



Figuur 8.2 Astanden

Als as 1 door as 2 wordt aangedreven, moet een mechanisme de overbrenging tussen de assen tot stand brengen. Dit mechanisme noemen we een aandrijfmechanisme.

## 8.2 Omtreksnelheid en hoeksnelheid

Als een as draait met een rotatiefrequentie van  $n$  omwentelingen per seconde is zijn snelheid:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n = \pi \cdot d \cdot n \quad (8.1)$$

Met:

- $v$  = omtreksnelheid in  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- $r$  = straal van de cirkel in m;
- $n$  = rotatiefrequentie in  $\text{s}^{-1}$ ;
- $d$  = middellijn van de cirkel in m.

Als een as draait met een rotatiefrequentie  $n$  is de hoeksnelheid gelijk aan:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (8.2)$$

Met:

- $\omega$  = hoeksnelheid in  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ;
- $n$  = rotatiefrequentie in  $\text{s}^{-1}$ .

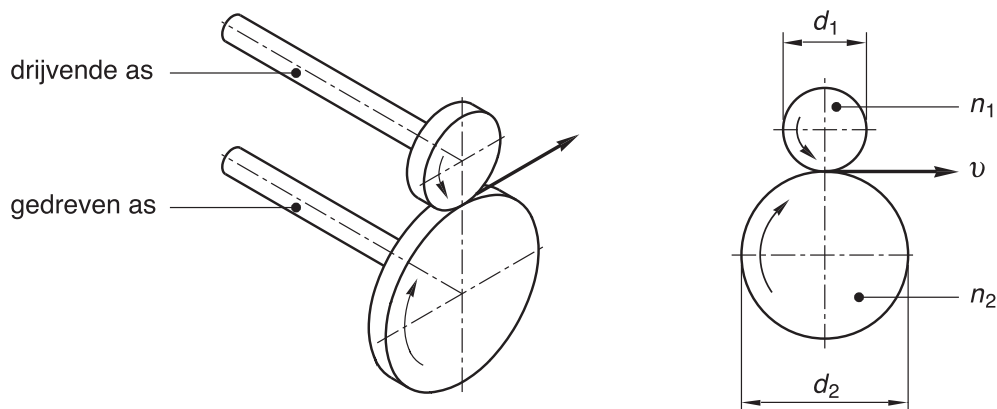
In vergelijking 8.1 kunnen we  $2 \cdot \pi \cdot n$  vervangen door de hoeksnelheid  $\omega$ :

$$v = \omega \cdot r = \pi \cdot d \cdot n \quad (8.3)$$

## 8.2 Directe en indirecte aandrijvingen

Als twee assen in elkaars verlengde liggen kunnen we ze koppelen. Dan hebben beide assen dezelfde rotatiefrequentie. Bij een koppeling is dus sprake van een directe aandrijving.

Voor het overbrengen van een ronddraaiende beweging van evenwijdig lopende assen hebben we een indirecte aandrijving nodig. Zie figuur 8.3.



Figuur 8.3 Indirecte aandrijving

Bij riemaandrijvingen en kettingaandrijvingen (omloopaandrijvingen) kunnen we de hartafstand van de assen binnen bepaalde grenzen vrij willekeurig kiezen. Tandwielen en wrijvingswielen hebben een vaste hartafstand.

### 8.2.3 Overbrengingsverhouding

In figuur 8.3 werken twee wielen samen. Het gedreven wiel wordt namelijk door het drijvende wiel aangedreven. Het kleinste wiel van de overbrenging is het drijvende wiel. Het grootste wiel wordt gedreven. De draairichting van beide wielen is tegengesteld.

Als er geen slip ontstaat, is de omtreksnelheid in het raakpunt van beide wielen gelijk. Voor deze omtreksnelheid  $v$  geldt:

$$v = \pi \cdot d_1 \cdot n_1 = \pi \cdot d_2 \cdot n_2$$



We kunnen stellen:

$$\mathbf{I} \quad n_1 : n_2 = d_2 : d_1 \quad (8.4)$$

De omtreksnelheid  $v$  kunnen we ook uitdrukken in:

$$v = \omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2$$

Of:

$$\mathbf{I} \quad \omega_1 : \omega_2 = r_2 : r_1 \quad (8.5)$$

Dus kunnen we ook schrijven:

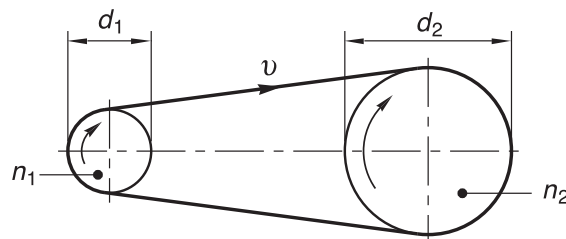
$$\mathbf{I} \quad n_1 : n_2 = \omega_1 : \omega_2 = d_2 : d_1 \quad (8.6)$$

De toerentallen of rotatiefrequenties van twee gekoppelde schijven zijn:

- rechtevenredig met de hoeksnelheden;
- omgekeerd evenredig met de middellijnen.

De verhouding tussen het aantal omwentelingen van de drijvende as en de gedreven as noemen we de overbrengingsverhouding. Deze geven we aan met de letter  $i$ . De overbrengingsverhouding wordt ook wel het transmissiegetal genoemd.

Bij een riem- of kettingaandrijving geldt hetzelfde principe, omdat de riemsnelheid voor het drijvende en het gedreven wiel hetzelfde is. Zie figuur 8.4.



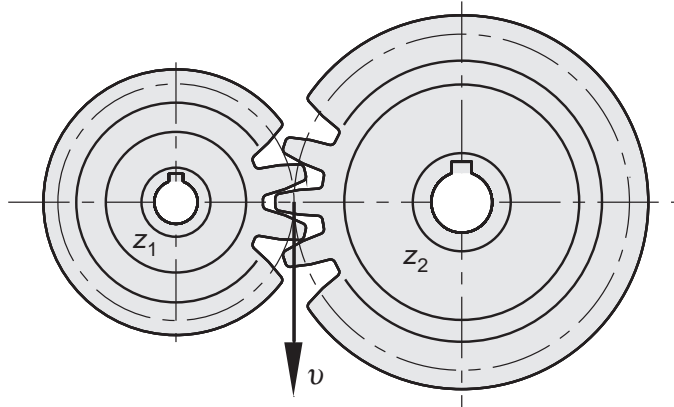
*Figuur 8.4 Omloopaandrijving*

Voor tandwielen en kettingwielen is de middellijn van de wielen evenredig met het aantal tanden. In de afgeleide formules kunnen we dus voor de middellijnen het aantal tanden  $z$  invullen.

De overbrengingsverhouding  $i$  kunnen we als volgt berekenen:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (8.7)$$

Let op: bij kettingwielen en tandwielen is de steekcirkel de cirkel waar de omtrekkrachten aangrijpen. Zie figuur 8.5.



Figuur 8.5 Steekcirkel tandwiel

De steekcirkelmiddellijn en steekcirkelstraal van een ketting- of tandwiel geven we aan met  $d$  en  $r$ . De afstand tussen de tanden noemen we de steek. Een tandwiel met  $z$  tanden en een steek  $p$  heeft een omtrek op de steekcirkel waarvoor geldt:

$$\text{omtrek} = z \cdot p \quad (8.8)$$

### 8.3 Tandwielen

Tandwielen worden vooral gebruikt voor de mechanische aandrijving van werktuigen. Bij een tandwieloverbrenging hebben beide tandwielen identieke tanden op het loopvlak. Doordat de tanden in elkaar grijpen, kan een draaimoment overgebracht worden. Er zijn veel verschillende soorten tandvormen en tandwielen. Het tandwiel op de drijvende as noemen we de drijver en het tandwiel op de gedreven as de volger. Als het tandwiel klein is (meestal het tandwiel op de drijvende as), noemen we dit ook wel een rondsel.

De voordelen van een tandwielaandrijving zijn:

- slipvrij en regelmatig;
- betrouwbaar;
- geschikt voor grote en kleine vermogens;
- weinig wrijvingsverlies.

### 8.3.1 Materialen voor tandwielen

#### Metalen

Tandwielen die worden gebruikt voor het overbrengen van kleine vermogens bij lage toerentallen, worden meestal gemaakt van:

- gietijzer;
- ongelegeerd staal;
- CuSn-legeringen (brons).

Grotere vermogens worden overgedragen door wielen van gietstaal of een gelegeerde staalsoort. Stalen wielen krijgen een oppervlaktebehandeling. Bijvoorbeeld:

- carboneren;
- harden;
- nitreren.

Door deze behandelingen worden de toelaatbare vermogens en draaimomenten sterk verhoogd. Sommige fabrikanten leveren standaard gecarboneerde en geslepen vertandingen.

#### Kunststoffen

De laatste jaren worden steeds vaker kunststof-tandwielen gebruikt. Kunststof-tandwielen voor het overbrengen van kleine vermogens worden gemaakt van:

- gewoon polyamide (PA);
- hoogmoleculair polyetheen (HMPE);
- fenolformaldehyde (PF).

Niet alle kunststoffen zijn geschikt voor het overbrengen van grote vermogens. Vrij grote vermogens kunnen we overbrengen met het hardweefsel HAWE (fenolformaldehyde). Een hardweefsel is een thermoharder. De grondstoffen van hardweefsel zijn fenol en formaldehyde, geïmpregneerd in een katoenen weefsel. Hardweefsel is stootvast en bestand tegen een vochtige omgeving, maar is minder slijtvast. Het tegenwiel van een tandwiel van hardweefsel is een gehard stalen rondsel. Smeren van de tanden is aan te bevelen.

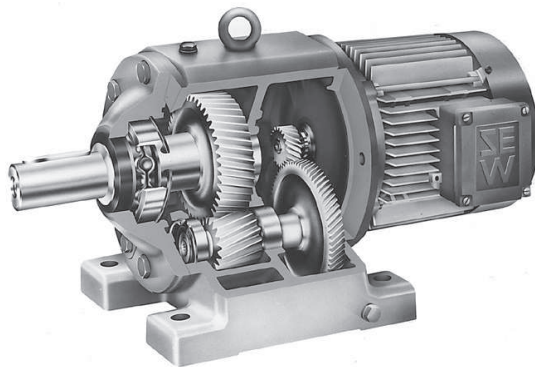
We gebruiken ook wel tandwielen gemaakt van slijtvaste technische kunststoffen. Bijvoorbeeld:

- polyamiden (PA);
- polyoxymethyleen (POM);
- polymethylacrylaat (PMMA).

Deze tandwielen gebruiken we vooral als:

- de loop geruisarm moet zijn om geluidshinder te voorkomen;
- de dichtheid vrij laag moet zijn (belangrijk bij grote tandwielen);
- de taaiheid groot moet zijn, dus beter bestand tegen een stotende belasting;
- de slijtvastheid hoog moet zijn;
- de weerstand tegen corrosie groot moet zijn.

Veel fabrikanten leveren complete tandwielkasten. Hierbij is een tandwielaandrijving ondergebracht in een kast met een ingaande en een uitgaande as. Meestal wordt in een tandwielkast het toerental gereduceerd. Daarom spreken we ook wel over een reductiekast. Tandwielkasten worden vaak geleverd met een aangebouwde elektromotor. In dat geval spreken we van een motorreductor. Zie figuur 8.6.

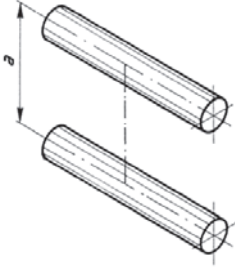
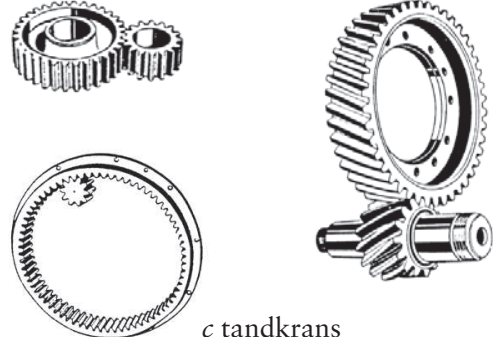
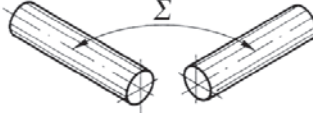
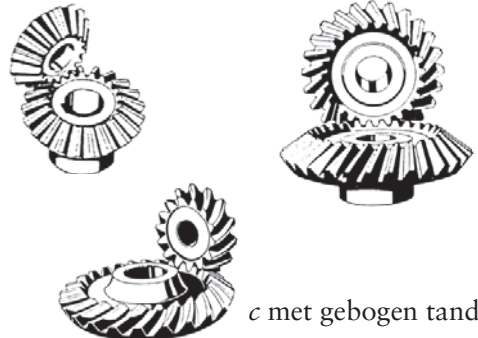
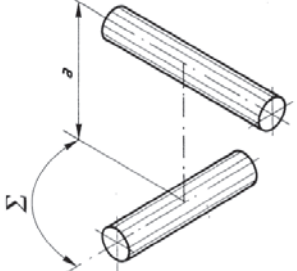
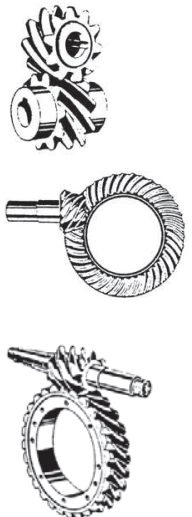
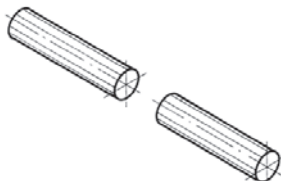
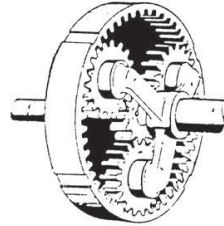


*Figuur 8.6 Motorreductor*

## 8.4 Typen tandwielen

In tabel 8.1 zie je een overzicht van de verschillende typen tandwielen. Ze zijn ingedeeld naar de standen van de drijvende en de gedreven as ten opzichte van elkaar.

TABEL 8.1 O VERZICHT TANDWIELEN

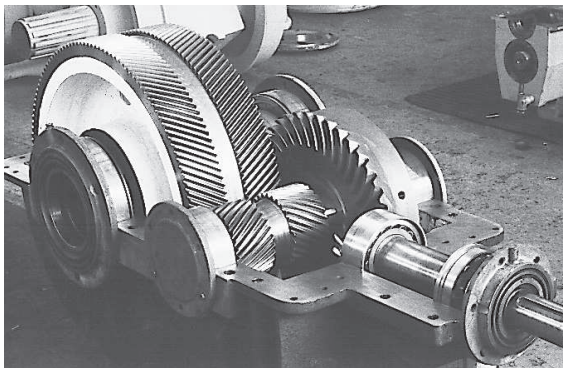
stand van de assen	benaming	afbeelding
<p>evenwijdig</p>  <p><math>a = \text{hartafstand}</math></p>	<p>cilindrische tandwieloverbrenging</p> <p>met uitwendige vertanding</p> <p>met inwendige vertanding</p>	<p><i>a</i> met rechte tanden    <i>b</i> met schuine tanden</p>  <p><i>c</i> tandkrans</p>
<p>snijidend</p>  <p><math>\Sigma = \text{ashoek}</math></p>	<p>kegeltandwieloverbrenging</p>	<p><i>a</i> met rechte tanden    <i>b</i> met schuine tanden</p>  <p><i>c</i> met gebogen tanden</p>
<p>kruisend</p>  <p><math>a = \text{hartafstand}</math> <math>\Sigma = \text{ashoek}</math></p>	<p>schroefwieloverbrenging</p> <p>kegelschroefwieloverbrenging</p> <p>worm-en-wormwieloverbrenging</p>	
<p>co-axiaal</p> 	<p>planeetwieloverbrenging</p>	<p>recht planeetstelsel</p> 

### Cilindrische tandwielen

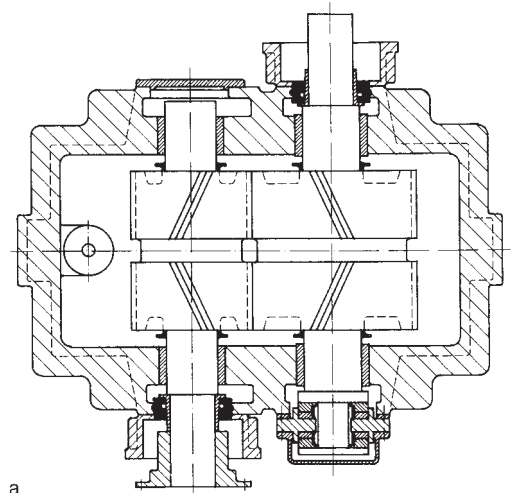
Het nadeel van cilindrische wielen met rechte tanden is dat twee tanden bij het begin van ingrijpen ineens en dus niet vloeiend in elkaar grijpen. Daardoor krijgen we geruis.

Cilindrische tandwielen met schuine tanden geven minder geruis. Dat komt doordat de ingrijping aan één van de uiteinden van de tanden begint en aangroeit totdat de tanden over de gehele lengte dragen. Daarna wordt het contact op dezelfde gelijkmatige wijze opgeheven. Door de verbeterde ingrijping kunnen cilindrische tandwielen met schuine vertanding grotere vermogens overbrengen dan tandwielen van gelijke afmetingen met rechte vertanding. Het nadeel van tandwielen met schuine tanden is dat de axiale kracht moet worden opgenomen door de lagering van de as.

Bij tandwielen maakt een dubbelschuine vertanding een grote tandschuinite mogelijk. Zie figuur 8.7.



*a foto*



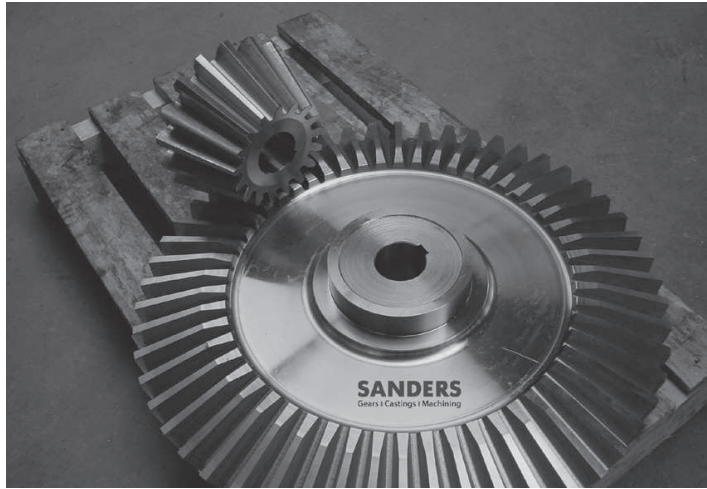
*b doorsnede*

*Figuur 8.7 Samengebouwde tandwielkast met dubbelschuin vertand wielstel*

Door de dubbelschuine vertanding worden ook de condities beter. Een dubbelschuin vertand wielstel loopt stiller. De axiale krachten heffen elkaar op, zodat we bij deze constructie geen axiale lagerkracht krijgen. Een dubbelschuine vertanding kan ook zwaarstotende belastingen opnemen en een groter vermogen overbrengen dan een enkelschuine vertanding.

### Kegeltandwielen

Een kegeltandwiel heeft de vorm van een afgeknotte kegel. Meestal vormen de aandrijfassen een hoek van  $90^\circ$ . Zie figuur 8.8.



*Figuur 8.8 Kegeltandwielen*

De grootte van de tophoek van een kegeltandwiel wordt bepaald door:

- de ashoek  $\Sigma$  (zie tabel 8.1);
- de overbrengingsverhouding  $i$ .

Kegeltandwielen worden zeer nauwkeurig gefabriceerd, onder andere vanwege de juiste tandspeling. Het asgat wordt zuiver centrisch ten opzichte van de buitenmiddellijn en haaks op het ondervlak gedraaid.

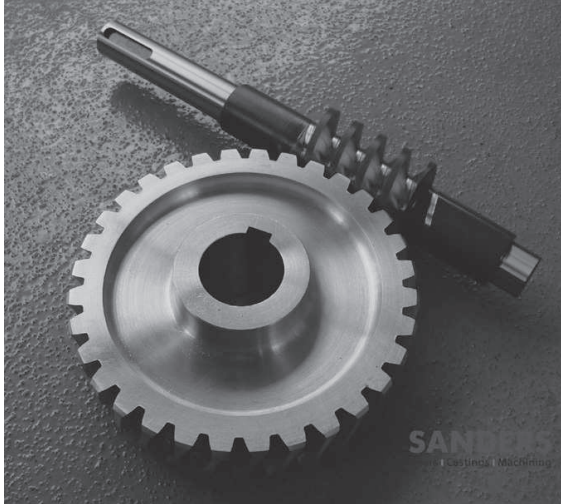
Ook bij kegeltandwielen hebben schuine tanden ten opzichte van rechte tanden het voordeel dat ze geleidelijk ingrijpen en daardoor minder geluid produceren.

De voordelen van gebogen tanden ten opzichte van rechte en schuine tanden zijn:

- de ingrijpduur is langer, waardoor we een grotere toelaatbare belasting en minder geruis krijgen;
- bij stijgende belasting wordt de draagzone op de tandflanken groter, waardoor de specifieke vlaktedruk minder toeneemt dan de belasting.

### Wormwieloverbrenging

Bij een wormwieloverbrenging drijft de worm bijna altijd het wormwiel aan. Meestal kruisen de assen elkaar onder een hoek van  $90^\circ$ . Zie figuur 8.9.



Figuur 8.9 Worm en wormwiel

Andere ashoeken vormen een uitzondering. De tandflanken van de worm raken elkaar door de gebogen vorm van de tanden volgens een lijn.

De worm van een wormwieloverbrenging kan enkel- of meergangig worden uitgevoerd. Ook kunnen schroeftanden links- en rechtsgangig zijn.

Als de worm van een wormwieloverbrenging één omwenteling maakt, verplaatst een tand van het wormwiel zich over net zoveel steken als het aantal gangen van de worm.

De voordelen van een wormwieloverbrenging ten aanzien van cilindrische en kegeltandwielen zijn:

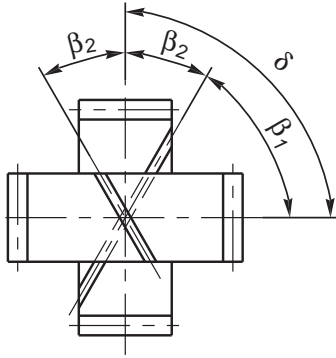
- Trillingsvrije, rustige loop door de glijdende afwikkeling van de tandflanken.
- Een overbrengingsverhouding van  $i = 100$  in één trap is mogelijk bij een eenvoudige worm.
- Weinig inbouwruimte nodig door de compacte samenbouw van worm en wormwiel.
- Er kan een vrij groot vermogen worden overgebracht, doordat verschillende tanden tegelijkertijd ingrijpen.

Het nadeel van een wormwieloverbrenging is, dat we door de glijdende wrijving van de tandflanken veel warmte krijgen. Daardoor is het rendement laag.

### Schroefwielen

De tanden van schroefwielen zijn schroeflijinig op een cilinder aangebracht. De tandhoeken van de samenwerkende wielen zijn ongelijk. Toch is de som van de tandhoeken  $\beta_1$  en  $\beta_2$  van wiel 1 en wiel 2 gelijk aan de ingesloten hoek  $\delta$  van de ashartlijnen. Zie figuur 8.10.





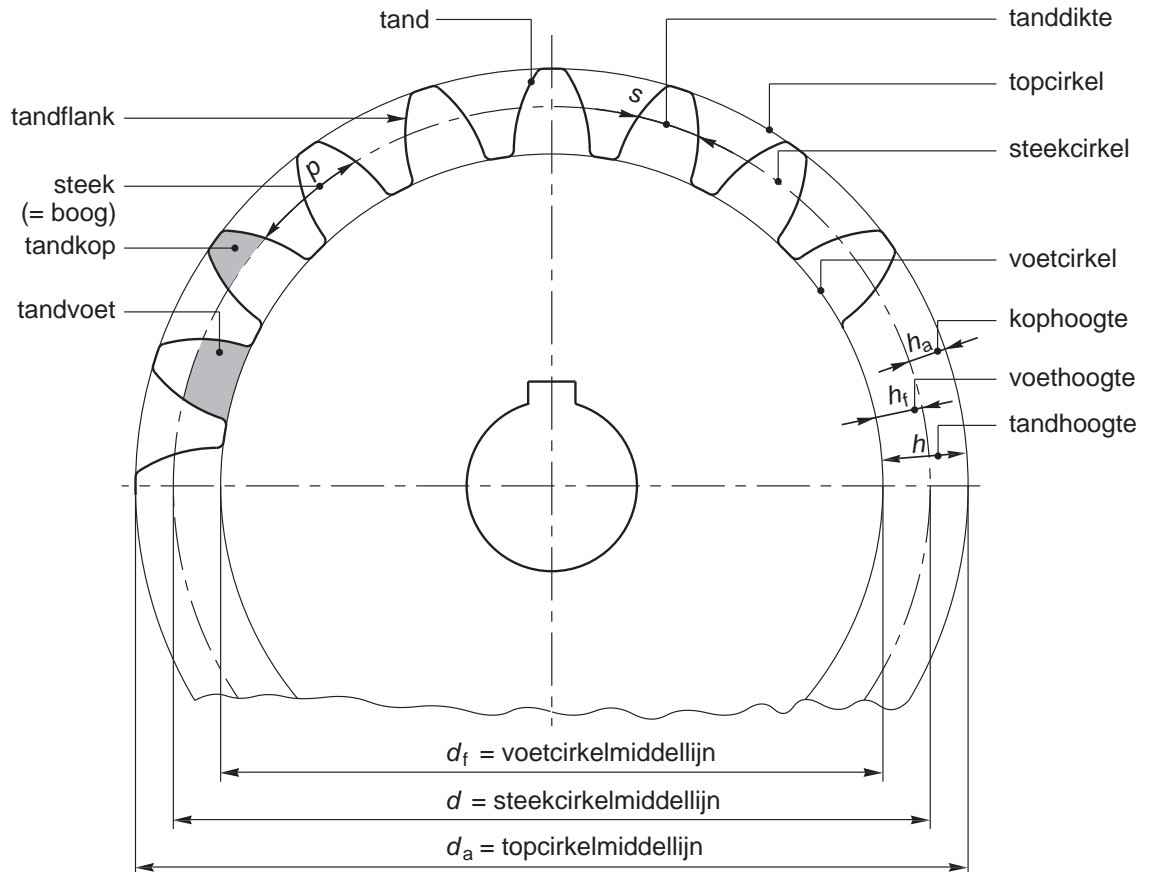
Figuur 8.10 Tandhoeken van samenwerkende schroefwielen

Meestal kruisen de assen elkaar onder een hoek van  $90^\circ$ . De tandflanken van de samenwerkende wielen raken elkaar in één punt. We spreken dan ook van een puntcontact.

Bij schroefwielen hebben beide wielen een linkse of rechtse spoed. Door de schroefbeweging krijgen we veel wrijving, waardoor het rendement van de schroefwieloverbrenging laag is. Deze methode gebruiken we daarom alleen voor het overbrengen van kleine vermogens.

## 8.5 Hoofdafmetingen cilindrische tandwielen met rechte tanden

De afmetingen van een cilindrisch tandwiel met rechte tanden hebben genormaliseerde benamingen. Zie figuur 8.11.



Figuur 8.11 Benamingen tandwiel

Bij tandwielen is de modulus (de module) een belangrijke grootte, omdat we de afmetingen van alle tanden hiervan afleiden.

We kunnen de modulus in mm berekenen met de formule:

$$m = \frac{p}{\pi} \quad (8.9)$$

De modulus  $m$  heeft genormaliseerde waarden volgens DIN 780.

Bij de normale tandvorm volgens DIN 867 geldt voor de kophoogte:

$$h_a = m \quad (8.10)$$

Voor de voethoogte geldt:

$$h_f = 1,25 \cdot m \quad (8.11)$$

Voor de tandhoogte geldt:

$$h = h_a + h_f = 2,25 \cdot m \quad (8.12)$$

Voor de fabricage van tandwielen zijn de middellijnen van de topcirkel, steekcirkel en voetcirkel belangrijk. De middellijn van de steekcirkel bepalen we met:

$$d = m \cdot z \quad (8.13)$$

Voor de middellijn van de topcirkel vinden we:

$$d_a = d + 2 \cdot h_a = m \cdot z + 2 \cdot m = m \cdot (z + 2) \quad (8.14)$$

Voor de middellijn van de voetcirkel vinden we:

$$d_f = d - 2 \cdot h_f = m \cdot z - 2 \cdot 1,25 \cdot m = m \cdot (z - 2,5) \quad (8.15)$$

De hartafstand  $a$  van twee samenwerkende tandwielen is gelijk aan de helft van de som van de beide steekcirkelmiddellijnen. Dus:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (8.16)$$

Met:

- $a$  = hartafstand in mm;
- $d_1$  = de middellijn van de steekcirkel van wiel 1 in mm;
- $d_2$  = de middellijn van de steekcirkel van wiel 2 in mm.

### Voorbeeld

#### Gegeven

Van twee samenwerkende tandwielen is de modulus  $m = 6$ . Het kleinste wiel heeft 20 tanden en het grootste 40.

#### Gevraagd

Bereken de:

- steekcirkelmiddellijn van beide wielen;
- tandhoogte;
- onderlinge asafstand.

#### Oplossing

Steekcirkel  $d_1 = m \cdot z_1 = 6 \times 20 = 120$  mm

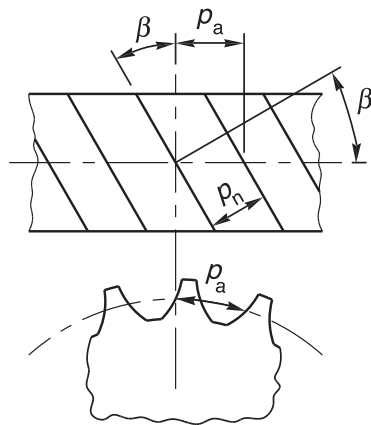
$$\text{Steekcirkel } d_2 = m \cdot z_2 = 6 \times 40 = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Tandhoogte } h = 2,25 m = 2,25 \times 6 = 13,5 \text{ mm}$$

$$\text{Hartafstand } a = \frac{(d_1 + d_2)}{2} = \frac{(120 + 240)}{2} = 180 \text{ mm}$$

## 8.6 Hoofdafmetingen cilindrische tandwielen met schuine tanden

De tandsteek bij schuine tanden is de loodrechte afstand tussen twee op elkaar volgende gelijkstandige tandflanken, gemeten langs de steekcirkel (net als bij rechte tanden). Zie figuur 8.12. Dit noemen we de normaalsteek  $p_n$ .



Figuur 8.12 Tandwiel met schuine tanden

Je kunt de normaalsteek bepalen met de formule:

$$p_n = \pi \cdot m_n \quad (8.17)$$

Met:

- $p_n$  = normaalsteek in mm;
- $m_n$  = de normaalmodulus in mm.

We gaan voor het bepalen van de afmetingen van de tandwielen uit van het omtrekvlak of transversaalvlak. De omtreksteek wordt dan berekend met de formule:

$$p_a = \pi \cdot m_t \quad (8.18)$$

Met:

- $p_a$  = omtreksteek in mm;
- $m_t$  = de omtrekmodulus.

De omtrekmodulus wordt:

$$\mathbf{I} \quad m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (8.19)$$

De middellijn van de steekcirkel is:

$$\mathbf{I} \quad d = z \cdot m_t = z \cdot \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (8.20)$$

Voor de middellijn van de topcirkel vinden we:

$$\mathbf{I} \quad d_a = d + 2 \cdot m_n \quad (8.21)$$

Voor de middellijn van de voetcirkel vinden we:

$$\mathbf{I} \quad d_f = d - 2 \cdot 1,25 \cdot m_n \quad (8.22)$$

### Voorbeeld

#### Gegeven

De normaalmodulus van twee samenwerkende cilindrisch tandwielen met schuine tanden is 5. De tanden staan onder een hoek van  $15^\circ$ . Het drijvende wiel heeft 15 tanden en het gedreven wiel 30.

#### Gevraagd

Bereken de steekcirkelmiddellijn van de wielen.  
Bereken de benodigde onderlinge asafstand.

#### Oplossing

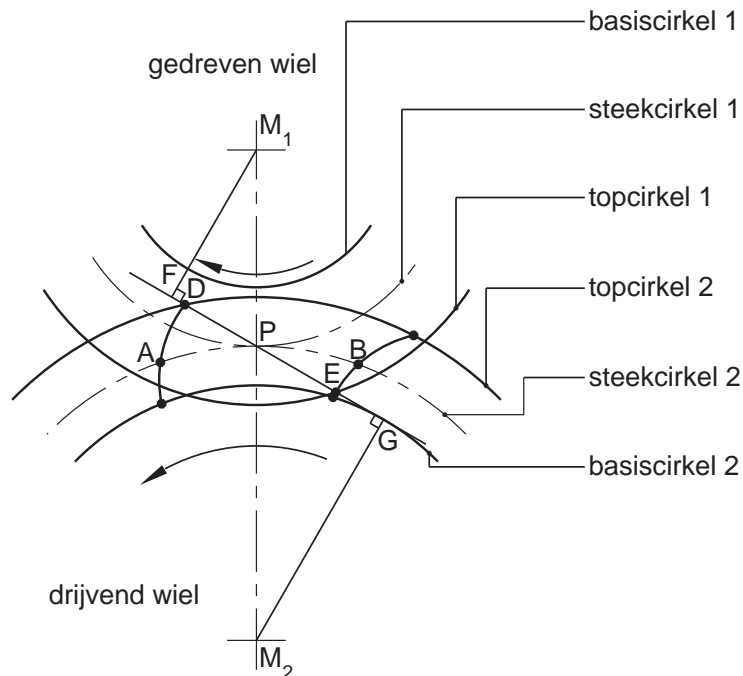
$$\text{Steekcirkel } d_1 = \frac{z_1 \cdot m_n}{\cos \beta} = \frac{5 \times 15}{\cos 15^\circ} = 77,64 \text{ mm}$$

$$\text{Steekcirkel } d_2 = \frac{z_2 \cdot m_n}{\cos \beta} = \frac{30 \times 5}{\cos 15^\circ} = 155,28 \text{ mm}$$

$$\text{Hartafstand } a = \frac{(d_1 + d_2)}{2} = \frac{(77,64 + 155,28)}{2} = 116,46 \text{ mm}$$

## 8.7 Ingrijping

Het deel van de ingrijplijn waar de tandflanken met elkaar in contact zijn, noemen we de ingrijpweg. Zie figuur 8.13.



Figuur 8.13 Ingrijpweg

Bij punt E begint de ingrijping van één tandflank. Dat is waar de topcirkel van het gedreven wiel de ingrijplijn snijdt. Vervolgens wordt de tandflank afgewikkeld, zodat bij punt D het laatste punt van ingrijpen plaatsvindt. De lengte van de ingrijpweg hangt af van de waarde van de modulus.

### Ingrijpquotiënt

Het ingrijpquotiënt bij tandwielen is de verhouding van ingrijpboog AB en de tandsteek. Een tandwieloverbrenging loopt rustiger bij een groter ingrijpquotiënt. Voor langzaam lopende overbrengingen is het beter om het ingrijpquotiënt groter te nemen dan 1,4. Voor snellopende overbrengingen neem je het ingrijpquotiënt groter dan 1,1. De grens tussen langzaam lopende en snellopende overbrengingen ligt ongeveer bij een omtreksnelheid van de steekcirkels van  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Hoe groter het ingrijpquotiënt, des te langer is de periode dat de kracht overgebracht wordt door twee paar tanden. De periode dat maar één paar tanden de belasting moet dragen is dus korter. Dit gaat slijtage tegen. Bij cilindrische tandwielen met rechte tanden nemen we daarom de overbrengingsverhouding  $i$  niet groter dan 10.

### Slijtage

Tandflanken van twee samenwerkende tandwielen slijten. Dat komt doordat ze niet alleen over elkaar rollen, maar ook enigszins langs elkaar glijden. De mate van de slijtage hangt onder andere af van de volgende factoren:

- oppervlaktegesteldheid van de tandflanken;
- smering;
- tandbelasting;
- materiaal van de tanden en hardheid van de flanken.

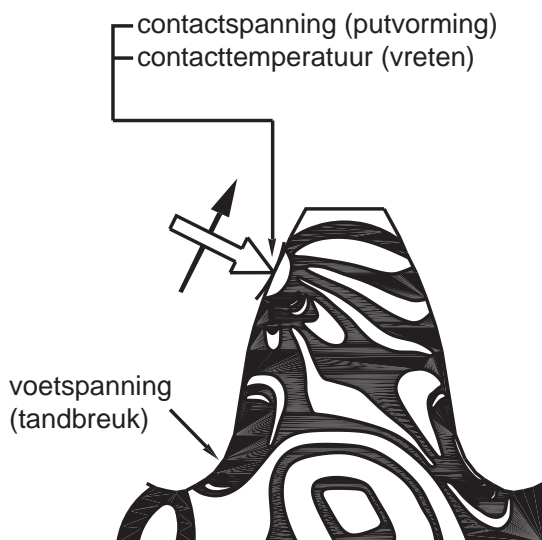
Het smeren van tandwielen is belangrijk om slijtage tegen te gaan. De vorming van een smeerfilm is alleen mogelijk als er voldoende smeermiddel wordt toegevoerd. Daarnaast moet de glij snelheid groot genoeg zijn om een smeerfilm te vormen.

Er is geen slijtage bij tandflanken van een goede oppervlaktekwaliteit die zijn ondergebracht in een gesloten tandwielkast, waarin olie van de juiste viscositeit wordt gebruikt.

Open tandwieloverbrengingen zijn wel zeer gevoelig voor slijtage. Dat komt doordat zij meestal langzaam draaien en onvoldoende gesmeerd worden. Verder neemt het smeermiddel verontreinigingen op.

### Vreten

Bij zeer snel draaiende, hoogbelaste tandwielen zien we soms vreetverschijnselen. Deze vorm van tandflankschade ontstaat als de smeerfilm wordt doorbroken en we metallisch contact krijgen tussen de flanken van de samenwerkende tandwielen. De ontwikkelde warmte wordt dan zo groot dat de flanken aan elkaar lassen. Door het verder wentelen van de tandwielen worden de lassen onmiddellijk weer verbroken. Er ontstaan hierdoor ernstige beschadigingen op de tandflanken. Zie figuur 8.14.



Figuur 8.14 Tandbelasting door kracht en glij snelheid geeft schade

### Tandbreuk

Het ernstigste schadeverschijnsel dat zich aan tandwielen kan voordoen is tandbreuk. Er zijn twee soorten tandbreuk:

- vermoeidheidsstandbreuk;
- geweldstandbreuk.

Het ontstaan van een vermoeidheidsbreuk hangt vooral af van de materiaalsoort en van de belastingswisselingen waaraan het tandwiel is blootgesteld.

Geweldstandbreuk krijgen we als de spanning in de tandvoet hoger is dan de breukspanning van het materiaal. Bijvoorbeeld door het vastlopen van een aangedreven machine.

### Putvorming

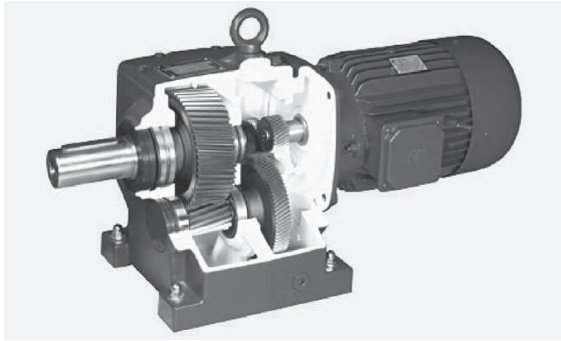
Putvorming (pitting) is het meest voorkomende schadeverschijnsel bij tandwielen. We vinden putvorming op het deel van de flank, dat ligt tussen de rolcirkel (steekcirkel) en de voetcirkel. Putvorming is een vermoeidheidsverschijnsel dat we krijgen als de contactspanning tussen de flanken van de tanden te hoog is en het toelaatbare aantal belastingswisselingen wordt overschreden. Door de hoge contactspanning ontstaan haarscheurtjes in het materiaal onder de tandflank. Deze haarscheurtjes vullen zich met olie. Door het verplaatsen van het contactpunt langs de tandflank wordt de olie in de haarscheurtjes samengeperst, waardoor uiteindelijk materiaaldeeltes uit de flanken breken.

## 8.8 Tandwielkasten

Tandwielen worden niet alleen in open tandwielaandrijvingen, maar vooral ook in samengebouwde tandwielkasten op de markt gebracht (al of niet in combinatie met verschillende typen tandwielen). De tandwielen zijn op assen aangebracht, die (meestal) gelagerd zijn in gietijzeren kasten.

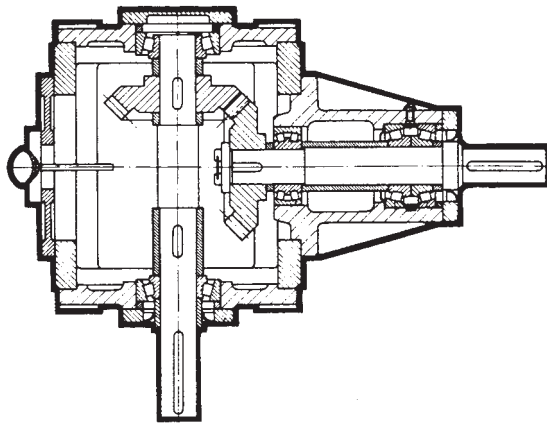
We kunnen tandwielkasten (afhankelijk van de stand van de assen) verdelen in rechte en haakse tandwielkasten. Bij rechte tandwielkasten vindt de overbrenging plaats met cilindrische tandwielen. De in- en uitgaande as liggen soms in elkaars verlengde maar altijd evenwijdig aan elkaar. Zie figuur 8.15.





*Figuur 8.15 Rechte tandwielkast*

Bij haakse tandwielkasten of hoektandwielkasten kruisen de assen elkaar onder een hoek van  $90^\circ$ . De overbrenging vindt plaats met kegeltandwielen. Zie figuur 8.16.



*Figuur 8.16 Doorsnede hoektandwielkast*

Als een grote vertraging vereist is wordt de overbrenging met een wormwiel uitgevoerd. Zie figuur 8.17.



*Figuur 8.17 Haakse tandwielkast met wormwiel*

De tandwielen roteren in een oliebad. De lagers worden gesmeerd door de opspattende olie. De huizen van de tandwielkasten hebben verschillende bevestigingsvlakken, zodat montage in verschillende posities mogelijk is.

### 8.8.1 Keuze tandwielkasten

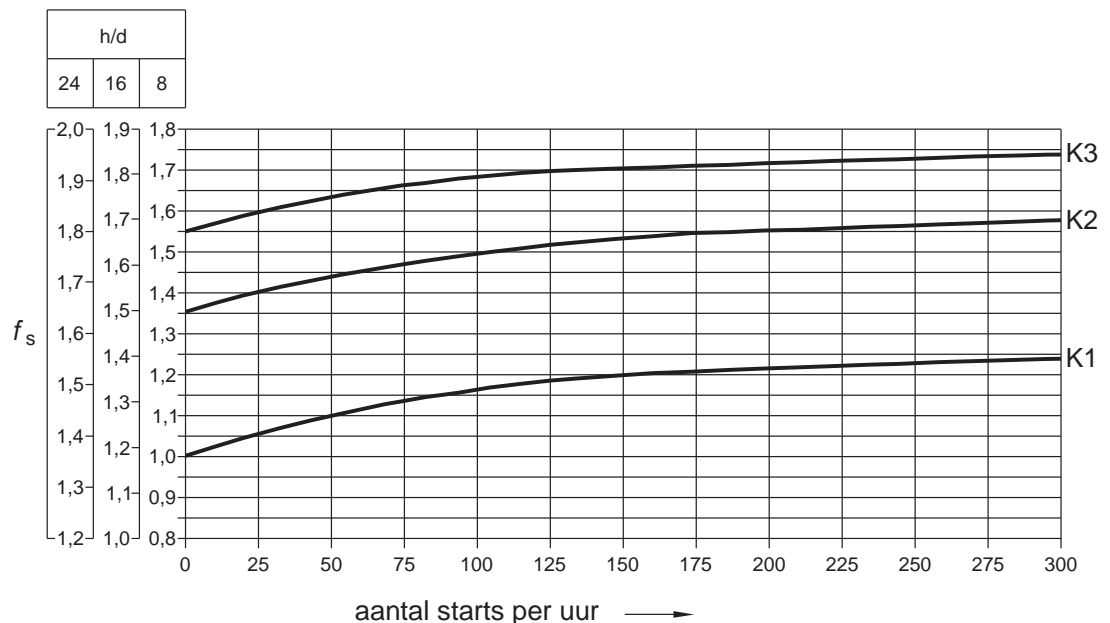
In de praktijk gebruik je de tabellen van de fabrikant om het juiste type en de grootte van een tandwielkast te bepalen. Voor een verantwoorde keuze moeten de volgende gegevens bekend zijn:

- de beschikbare inbouwruimte voor de tandwielkast;
- het moment en vermogen dat je wilt overbrengen;
- de aard van de belasting: gelijkmatig, matig stotend of zwaar stotend;
- het ingaande en uitgaande toerental;
- de omlooptijd per uur;
- de omgevingstemperatuur (in verband met koeling).

#### Servicefactor

We gaan uit van het benodigde moment  $M$  wat we moeten aandrijven. Dit moment corrigeren we met de servicefactor  $f_s$ . Zie figuur 8.18. In deze factor wordt rekening gehouden met:

- de soort belasting (gelijkmatig, licht stotend of zwaar stotend);
- het aantal bedrijfsuren per dag (8/16/24 h);
- het aantal starts per uur.



K1	kromme K1, gelijkmatige belasting
K2	kromme K2, licht stotende belasting
K3	kromme K3, zwaar stotende belasting

Figuur 8.18 Servicefactor  $f_s$

### Moment

Het rekenmoment  $M_r$  aan de uitgaande as wordt:

$$M_r = f_s \cdot M$$

Met behulp van het rekenmoment  $M_r$  bepalen we het vermogen:

$$P_r = \frac{(2 \pi \cdot M_r \cdot n_2)}{\eta'_d}$$

Waarin:

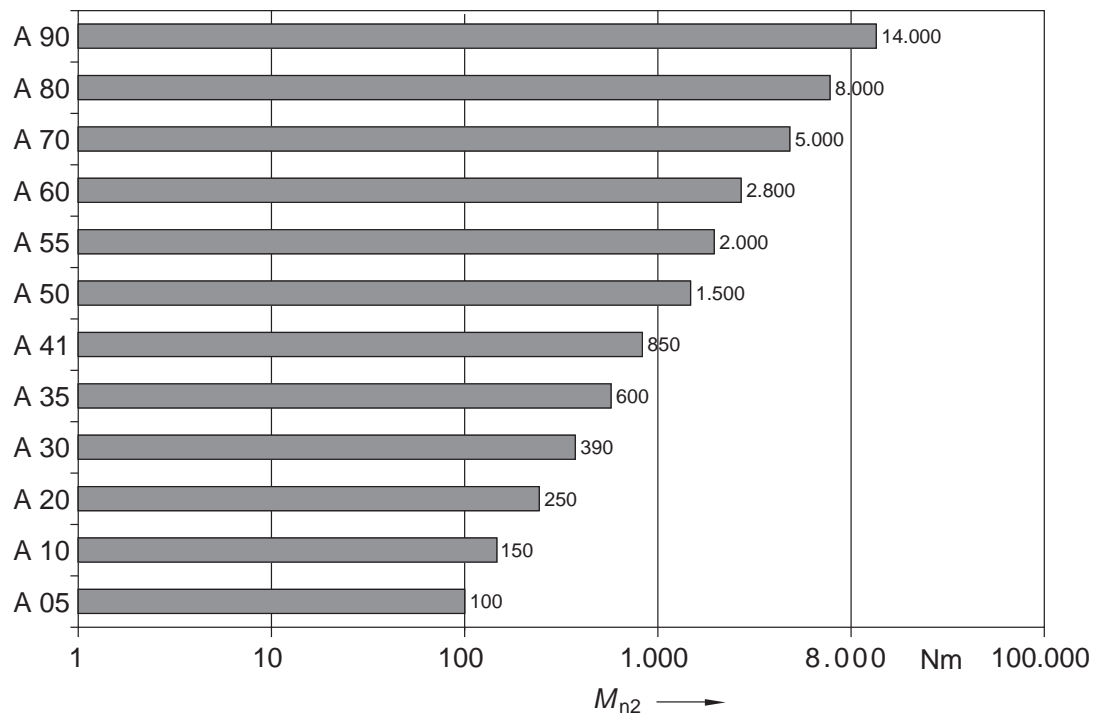
- $P_r$  = vermogen in Watt
- $M_r$  = moment in N·m
- $n_2$  = toerental in omw/min
- $\eta'_d$  = rendement

### Rendement en voorkeuze

Het rendement  $\eta'_d$  is afhankelijk van het aantal stappen van de reductie:

- 2 steps = 94 %
- 3 steps = 91 %
- 4 steps = 89 %

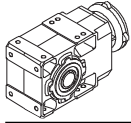
We maken eerst een keuze uit een groep van kastgroottes. Zie figuur 8.19.



Figuur 8.19 Voorkeuze type tandwielkast

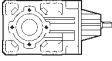

Daarna zoeken we in een selectietabel een tandwielkast die voldoet aan deze voorwaarde. Zie tabel 8.2.

TABEL 10.2 Selectietabel tandwielkasten



A 30

410 Nm

	i	$n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$					$n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$					
		$n_2$ $\text{min}^{-1}$	$Mn_2$ Nm	$Pn_1$ kW	$Rn_1$ N	$Rn_2$ N	$n_2$ $\text{min}^{-1}$	$Mn_2$ Nm	$Pn_1$ kW	$Rn_1$ N	$Rn_2$ N	
A 30 2_ 5.4		517	175	8.1	1130	2480	259	220	6.3	1430	3130	457
A 30 2_ 6.4		437	185	9.0	1120	2630	218	230	5.6	1470	3330	
A 30 2_ 7.0		399	194	8.6	1140	2690	199	245	5.4	1430	3380	
A 30 2_ 8.5		331	200	7.4	1220	2900	165	250	4.6	1570	3660	
A 30 2_ 9.3		301	214	7.2	1140	2950	150	270	4.5	1440	3710	
A 30 2_ 8.5		268	278	8.3	1800	2770	134	340	5.1	2200	3550	
A 30 2_ 11.8		238	230	6.1	1130	3200	119	290	3.8	1420	4030	
A 30 2_ 13.6		206	301	6.9	1830	3030	103	370	4.3	2200	3870	
A 30 2_ 16.3		171	318	6.1	1830	3240	86	385	3.7	2200	4170	
A 30 2_ 18.0		156	327	5.7	1840	3350	78	400	3.5	2200	4290	
A 30 2_ 20.5		136	340	5.2	1830	3510	68	410	3.1	2200	4530	
A 30 2_ 22.8		123	351	4.8	1850	3640	62	410	2.8	2200	4770	
A 30 2_ 26.5		106	367	4.3	1840	3850	53	410	2.4	2200	5150	
A 30 2_ 29.3		96	378	4.0	1847	3980	48	410	2.2	2200	5400	
A 30 2_ 33.4		84	393	3.7	1840	4170	42	410	1.9	2200	5750	
A 30 2_ 36.6		76	404	3.4	1840	4310	38	410	1.7	2200	6010	
A 30 2_ 39.3		71	410	3.3	1810	4430	36	410	1.6	2200	6200	
A 30 2_ 43.4		64	410	2.9	1850	4660	32	410	1.5	2200	6490	
A 30 2_ 48.3		58	410	2.6	1860	4920	29.0	410	1.3	2200	6810	
A 30 2_ 52.7		53	410	2.4	1860	5130	26.6	410	1.2	2200	7080	
A 30 2_ 59.4		47	400	2.1	1890	5500	23.6	400	1.0	2200	7530	
A 30 2_ 66.0		42	390	1.8	1900	5840	21.2	390	0.92	2200	7940	
A 30 2_ 76.5		37	350	1.4	1950	6480	18.3	350	0.71	2200	8690	
A 30 2_ 86.7		32	320	1.2	2000	7010	16.2	320	0.58	2200	9310	
A 30 2_ 97.5		28.7	300	0.96	2020	7480	14.4	300	0.48	2200	9600	
A 30 3_ 109.1		25.7	240	0.71	1300	8240	12.8	300	0.44	1300	9600	
A 30 3_ 120.5		23.2	243	0.65	1120	8540	11.6	300	0.40	1300	9600	
A 30 3_ 137.4		20.4	250	0.59	1300	8950	8.2	315	0.37	1300	9600	
A 30 3_ 150.7		18.6	261	0.56	1170	9210	9.3	330	0.35	1300	9600	
A 30 3_ 161.4		17.3	270	0.54	1300	9410	8.7	340	0.34	1300	9600	
A 30 3_ 178.5		15.7	274	0.49	1210	9600	7.8	345	0.31	1300	9600	
A 30 3_ 198.5		14.1	280	0.45	1300	9600	7.1	350	0.28	1300	9600	
A 30 3_ 216.6		12.9	287	0.43	1240	9600	6.5	360	0.27	1300	9600	
A 30 3_ 244.3		11.5	295	0.39	1300	9600	5.7	370	0.24	1300	9600	
A 30 3_ 271.5		8.3	301	0.36	1280	9600	5.2	380	0.23	1300	9600	
A 30 3_ 314.5		8.9	309	0.32	1300	9600	4.5	390	0.20	1300	9600	
A 30 3_ 356.3		7.9	320	0.29	1300	9600	3.9	370	0.17	1300	9600	
A 30 3_ 400.8		7.0	320	0.26	1300	9600	3.5	360	0.14	1300	9600	

**Voorbeeld****Gegeven**

Een haakse tandwielkast drijft met 100 omw/min een menginstallatie in een bakkerij aan. De menger is 24 uur in bedrijf en wordt gelijkmatig belast. Per uur zijn er 10 stops om te vullen. Een stop duurt telkens één minuut. De omgevingstemperatuur is 40 °C. Het benodigde moment om de mengarm rond te draaien is 200 N·m.

**Gevraagd**

Bereken of bepaal het type tandwielkast.

**Oplossing**

De servicefactor  $f_s = 1,4$  (lijn K1 en 24 h in bedrijf).

Het rekenmoment  $M_r = 1,4 \times 200 = 280 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

De voorkeuze is type A30 waarvan  $M_n = 390 \text{ N} \cdot \text{m}$  maximaal (zie figuur 8.19).

Binnen A30 kiezen we voor type A 30 2... 13.6 (zie 8.2).

Daarvoor geldt  $n_1 = 1400$ ,  $n_2 = 103$  en  $M_n = 370 \text{ N} \cdot \text{m}$ .

**Thermisch vermogen**

Tandwielkasten hebben een zogenaamd thermisch vermogen  $P_t$ . Dat vermogen kan bij een omgevingstemperatuur van 20 °C geleverd worden, zonder dat er schade aan de onderdelen optreedt of de kwaliteit van de olie verminderd. Zie tabel 8.3.

**TABEL 8.3 THERMISCH VERMOGEN  $P_t$** 

<b><math>P_t</math> [kW] @ <math>t_a = 20^\circ\text{C}</math></b>		
	<b><math>n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}</math></b>	<b><math>n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}</math></b>
<b>A 05 2</b>	3.2	2.4
<b>A 10 2</b>	4.8	4.0
<b>A 20 2</b>	6.0	5.4
<b>A 30 2</b>	8.0	6.6
<b>A 35 2</b>	9.5	8.2
<b>A 41 2</b>	11.5	9.6
<b>A 50 2</b>	20	18.0
<b>A 55 2</b>	21	18.0
<b>A 60 2</b>	27	23
<b>A 70 3</b>	31	26
<b>A 80 3</b>	44	39
<b>A 90 3</b>	64	57

Bij een kortere inschakelduur of als de omgevingstemperatuur afwijkt van  $20^\circ\text{C}$  corrigeren we het thermisch vermogen  $P_t$  met een bedrijfsfactor  $f_t$ . Zie tabel 8.4.

**TABEL 8.4 BEDRIJFSFACTOR  $f_t$** 

<b><math>f_t</math></b>					
<b><math>t_a</math> [<math>^\circ\text{C}</math>]</b>	<b>Continubedrijf</b>	<b>Intermitterend bedrijf</b>			
		<b>Relatieve inschakelduur [ I ]</b>			
		<b>80 %</b>	<b>60 %</b>	<b>40 %</b>	<b>20 %</b>
<b>40</b>	0.80	1.1	1.3	1.5	1.6
<b>30</b>	0.85	1.3	1.5	1.6	1.8
<b>20</b>	1.0	1.5	1.6	1.8	2.0
<b>10</b>	1.15	1.6	1.8	2.0	2.3

In deze factor is de invloed van de omgevingstemperatuur en de relatieve inschakelduur verwerkt. De inschakelduur is de verhouding tussen de tijd onder belasting  $t_b$  en de totale tijd ( $t_b + t_r$ ). We berekenen de inschakelduur met de formule:

$$I = \frac{t_b}{t_b + t_r} \times 100 \%$$

**Voorbeeld***Gegeven*

De installatie en de resultaten van het vorige voorbeeld.

*Gevraagd*

Bereken of het benodigde vermogen en het thermisch vermogen van de tandwielkast toereikend zijn.

*Oplossing*

Het rekenvermogen:

$$P_r = \frac{2 \pi \cdot M_r \cdot n_2}{\eta'_d} \Rightarrow$$

$$P_r = \frac{2 \pi \times 280 \times \frac{130}{60}}{0,94} \Rightarrow$$

$$P_r = 3213 \text{ W} = 3,2 \text{ kW}$$

Volgens tabel 8.2 is het vermogen  $P_{n1} = 4,3 \text{ kW}$ .  $P_r = 3,2 \leq 4,3$  dus toelaatbaar.

De relatieve inschakelduur:

$$I = \frac{t_b}{t_b + t_r} \times 100 \%$$

$$I = \frac{50}{50 + 10} = 83 \%$$

De bedrijfsfactor bij  $I = 83$  (neem 80 %) en  $t_a = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  is volgens tabel 8.4:

$$f_t = 1,1.$$

$$P_t = 8,0 \text{ kW (type A30 2 in tabel 8.3)}$$

$$P_r \leq P_t \cdot f_t$$

$3,2 \leq 8,0 \times 1,1$  dus het door ons gekozen type voldoet.

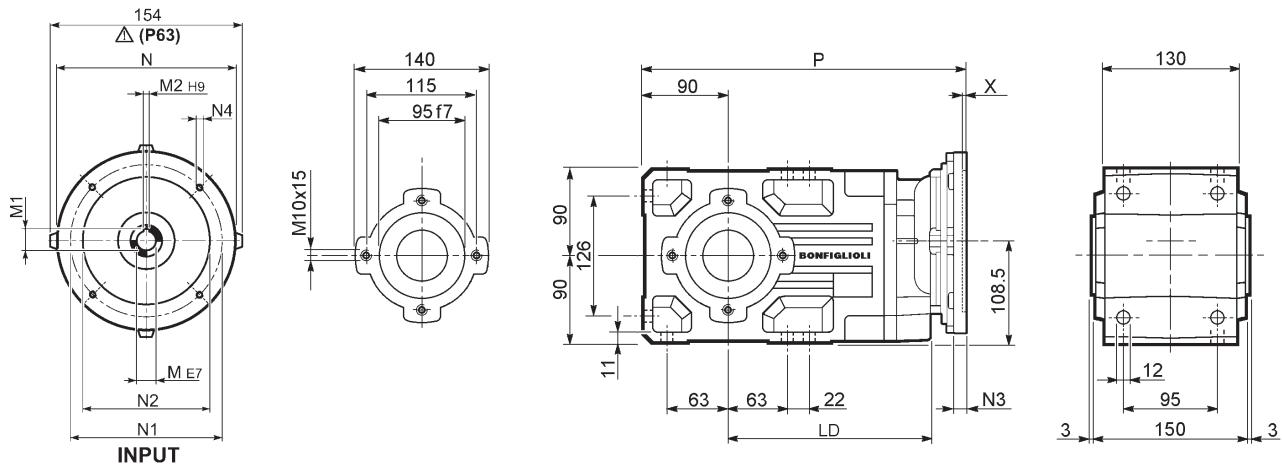
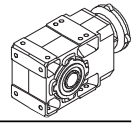
**Afmetingen**

De afmetingen van een tandwielkast kunnen we vinden in de documentatie van de leverancier. Zie tabel 8.5.

TABEL 8.5 AFMETINGEN TANDWIELKASTEN

A 30...P(IEC)

A 30...P(IEC)



		LD	M	M1	M2	N	N1	N2	N3	N4	X	P	Kg
A 30 2	P63	213	11	12.8	4	140	115	95	—	M8x19	4	333	16
A 30 2	P71	213	14	16.3	5	160	130	110	—	M8x16	4.5	333	16
A 30 2	P80	223	19	21.8	6	200	165	130	—	M10x12	4	352.5	17
A 30 2	P90	223	24	27.3	8	200	165	130	—	M10x12	4	352.5	17
A 30 2	P100	223	28	31.3	8	250	215	180	—	M12x16	4.5	362.5	20
A 30 2	P112	223	28	31.3	8	250	215	180	—	M12x16	4.5	362.5	20
A 30 3	P63	—	11	12.8	4	140	115	95	—	M8x19	4	390.5	17
A 30 3	P71	—	14	16.3	5	160	130	110	—	M8x16	4.5	390.5	17
A 30 3	P80	—	19	21.8	6	200	165	130	—	M10x12	4	410	18
A 30 3	P90	—	24	27.3	8	200	165	130	—	M10x12	4	410	18
A 30 3	P100	—	28	31.3	8	250	215	180	—	M12x16	4.5	420	22
A 30 3	P112	—	28	31.3	8	250	215	180	—	M12x16	4.5	420	22

**elsto**  
aandrijftechniek

ELSTO aandrijftechniek • Loosterweg 7 • 2215 TL Voorhout • Tel: +31(0)252 219123 • Email: info@elsto.nl • Site: www.elsto.nl

De bijbehorende afmetingen vergelijken we met de inbouw- of opbouwruimte die we gereserveerd hebben voor de aandrijving.

### Productconfiguratie

Als we een tandwielkast willen bestellen, moeten we een aantal kenmerken van de productconfiguratie weten. Kenmerken die we bij bestelling moeten doorgeven zijn:

- type (bv hoektandwielkast of wormwielkast)
- bouwmaat van de kast
- aantal reductietrappen
- bouwvorm



- uitvoering van de uitgang
- overbrengingsverhouding
- uitvoering van de ingang
- montagepositie

Al deze kenmerken zijn in de typecodering te vinden. Elke leverancier heeft zijn eigen aanduiding. Zie tabel 8.6.

**TABEL 8.6 TYPE-CODERING TANDWIELKASTEN**



**19 Productconfiguratie**

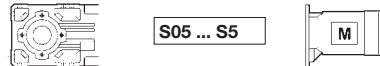
**A 35 2 UH40 F1A 33.2 S3 VA .....**

Optie

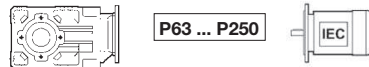
Montage positie

**B3** (Standaard), **B6, B7, B8, VA, VB**

Uitvoering van de ingang



**S05 ... S5**

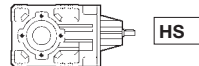


**P63 ... P250**



**SK**

**SC**



**HS**

Overbrengingsverhouding

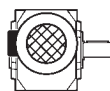
Uitvoering van de uitgang

- F** = Flensuitvoering
- 1,2** = Positie van de flens
- A,B,C** = Flensgrootte

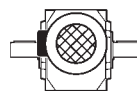
Bouwworm



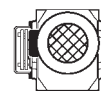
**UH\_**



**UR**  
(A10...A90)



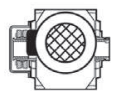
**UD**  
(A10...A90)



**US**  
(A05...A90)



**UV**  
(A20...A60)



**QF**  
(A10...A60)

A 05	A 10	A 20	A 30	A 35	A 41	A 50	A 55	A 60	A 70	A 80	A 90
UH25	UH25	UH30	UH35	UH40	UH45	UH50	UH60	UH60	UH70	UH80	UH90
-	UH30	UH35	UH40	UH35	UH40	UH55	UH50	UH70	UH80	UH90	UH100

Aantal reductietrappen

**2** (A05...A60), **3** (A20...A90), **4** (A50...A90)

Bouwgrootte van de reductor

**05, 10, 20, 30, 35, 41, 50, 55, 60, 70, 80, 90**

Type  
**A**

## 8.8.2 Keuze wormwielkasten

De keuze van een wormwielkast verschilt weinig van die van de haakse tandwielkast. Je kunt deze ook met of zonder motor bestellen. Een aandrijving met motor noemen we een reductor. Ook hier maken we eerst een voorkeuze. Zie tabel 8.7.

**TABEL 8.7 V OORKEUZE REDUCTOREN**




1.5 kW

$n_2$ min <sup>-1</sup>	$M_2$ Nm	S	i	$R_{n_2}$ N						IEC		
15.7	658	3.0	90	16000	—	—	—	—	—	P90	BN90LA4	154
16.8	580	1.1	56	8000	W110_56	S3	M3LA6	142	W 110_56	P100	BN100LA6	143
16.8	597	1.8	56	13200	—	—	—	—	VF 130_56	P100	BN100LA6	146
16.8	606	2.5	56	15500	—	—	—	—	VF 150_56	P100	BN100LA6	152
17.6	553	1.6	80	12600	—	—	—	—	VF 130_80	P90	BN90LA4	146
20.4	540	1.2	69	8000	—	—	—	—	WR 110_69	P90	BN90LA4	144
20.4	498	1.3	46	8000	W110_46	S3	M3LA6	142	W 110_46	P100	BN100LA6	143
20.4	533	2.4	69	13800	—	—	—	—	VFR 130_69	P90	BN90LA4	148
20.4	519	3.4	46	15500	—	—	—	—	VF 150_46	P100	BN100LA6	152
20.4	540	3.4	69	16000	—	—	—	—	VFR 150_69	P90	BN90LA4	154
22.0	455	1.2	64	8000	W110_64	S3	M3SA4	142	W 110_64	P90	BN90LA4	143
22.0	462	2.0	64	12600	—	—	—	—	VF 130_64	P90	BN90LA4	146
23.5	482	1.4	60	8000	—	—	—	—	WR 110_60	P90	BN90LA4	144
23.5	445	2.7	40	13200	—	—	—	—	VF 130_40	P100	BN100LA6	146
23.5	475	2.8	60	13800	—	—	—	—	VFR 130_60	P90	BN90LA4	148
25.2	410	1.5	56	8000	W110_56	S3	M3SA4	142	W 110_56	P90	BN90LA4	143
25.2	415	2.3	56	12600	—	—	—	—	VF 130_56	P90	BN90LA4	146
31	341	1.0	46	7000	W86_46	S3	M3SA4	138	W 86_46	P90	BN90LA4	139
31	346	1.7	46	8000	W110_46	S3	M3SA4	142	W 110_46	P90	BN90LA4	143
31	355	3.0	46	12600	—	—	—	—	VF 130_46	P90	BN90LA4	146
31	357	1.1	45	7000	—	—	—	—	WR 86_45	P90	BN90LA4	140
31	366	1.9	45	8000	—	—	—	—	WR 110_45	P90	BN90LA4	144
35	305	1.1	40	7000	W86_40	S3	M3SA4	138	W 86_40	P90	BN90LA4	139
35	309	2.2	40	8000	W110_40	S3	M3SA4	142	W 110_40	P90	BN90LA4	143
38	293	0.9	37.5	4330	—	—	—	—	WR 75_37.5	P90	BN90LA4	136
38	293	0.9	25	4330	W75_25	S3	M3LA6	134	W 75_25	P100	BN100LA6	135
41	280	1.2	34.5	7000	—	—	—	—	WR 86_34.5	P90	BN90LA4	140
41	280	1.2	23	7000	W86_23	S3	M3LA6	138	W 86_23	P100	BN100LA6	139
47	256	1.1	30	4130	—	—	—	—	WR 75_30	P90	BN90LA4	136
47	235	1.2	30	4270	W75_30	S3	M3SA4	134	W 75_30	P90	BN90LA4	135


Hierna kiezen we het kasttype, afhankelijk van het ingaande toerental  $n_1$ . Zie tabel 8.8.


**T A B E L 8 . 8 G E G E V E N S R E D U C T O R E N**



86

440 Nm

	i	$\eta_s$ %	$n_1 = 2800 \text{ min}^{-1}$						$n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$							
			$n_{2,1}$ $\text{min}^{-1}$	$M_{n2}$ Nm	$P_{n1}$ kW	$R_{n1}$ N	$R_{n2}$ N	$\eta_d$ %	$n_{2,1}$ $\text{min}^{-1}$	$M_{n2}$ Nm	$P_{n1}$ kW	$R_{n1}$ N	$R_{n2}$ N	$\eta_d$ %		
W 86	W 86_7	7	71	400	225	8.4	850	2930	91	200	250	5.9	850	3920	89	176
	W 86_10	10	67	280	260	8.5	850	3490	90	140	290	4.8	850	4620	88	
	W 86_15	15	60	187	295	6.6	850	4200	87	93	330	3.8	850	5510	85	
	W 86_20	20	60	140	285	4.9	850	4900	86	70	320	2.8	850	6380	84	
	W 86_23	23	58	122	285	4.3	850	5250	85	61	320	2.5	850	6800	82	
	W 86_30	30	45	93	320	3.9	850	5740	81	47	370	2.4	850	7000	76	
	W 86_40	40	45	70	295	2.7	850	6670	79	35	330	1.6	850	7000	75	
	W 86_46	46	43	61	305	2.5	850	7000	77	30	340	1.5	850	7000	73	
	W 86_56	56	39	50	265	1.8	850	7000	75	25.0	300	1.1	850	7000	70	
	W 86_64	64	37	44	250	1.6	850	7000	73	21.9	280	0.94	850	7000	68	
	W 86_80	80	33	35	225	1.2	850	7000	69	17.5	255	0.73	850	7000	64	
	W 86_100	100	29	28.0	205	0.92	850	7000	65	14.0	230	0.57	850	7000	59	
				$n_1 = 900 \text{ min}^{-1}$						$n_1 = 500 \text{ min}^{-1}$						
	W 86_7	7	71	129	270	4.1	850	4670	88	71	295	2.6	850	5890	85	
W 86_10	10	67	90	310	3.4	850	5500	86	50	345	2.2	850	6860	82		
W 86_15	15	60	60	355	2.7	850	6520	82	33	390	1.7	850	7000	78		
W 86_20	20	60	45	345	2.0	850	7000	81	25.0	380	1.3	850	7000	77		
W 86_23	23	58	39	345	1.8	850	7000	80	21.7	380	1.2	850	7000	75		
W 86_30	30	45	30	400	1.7	850	7000	73	16.7	440	1.1	850	7000	67		
W 86_40	40	45	22.5	355	1.2	850	7000	71	12.5	390	0.77	850	7000	66		
W 86_46	46	43	19.6	365	1.1	850	7000	69	8.9	405	0.73	850	7000	63		
W 86_56	56	39	16.1	325	0.83	850	7000	66	8.9	355	0.55	850	7000	60		
W 86_64	64	37	14.1	300	0.70	850	7000	63	7.8	330	0.47	850	7000	58		
W 86_80	80	33	11.3	275	0.55	850	7000	59	6.3	305	0.38	850	7000	53		
W 86_100	100	29	9.0	250	0.43	850	7000	55	5.0	275	0.29	850	7000	49		


ELSTO aandrijftechniek • Loosterweg 7 • 2215 TL Voorhout • Tel: +31(0)252 219123 • Email: info@elsto.nl • Site: www.elsto.nl

**Voorbeeld***Gegeven*

Een wormwielkast in een bakkerij drijft een kneedmachine aan. Toerental  $n_1 = 1400$  en toerental  $n_2 = 30$  omw/min. Het benodigde moment om de kneedarm te draaien  $M = 250 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Er wordt in tweeploegendienst gewerkt en de kneedmachine wordt drie keer per uur gevuld. Het vullen van de machine duurt vijf minuten.

*Gevraagd*

Bereken en bepaal het type wormwielkast.

*Oplossing*

De servicefactor is volgens de grafiek in figuur 8.16:  $f_s = 1,18$ .

Uitgaande van  $n_2 = 30$  en  $M = 250$  kiezen we in tabel 8.7 voor type W86\_46.

Uit tabel 8.8 blijkt dat deze keuze juist is want:

- $n_1 = 1400$  omw/min
- $M_n = 340 \text{ N}\cdot\text{m}$
- $P_n = 1,5 \text{ kW}$
- $\eta'_d = 73 \%$

Controleberekening:

$$M_r = f_s \cdot M = 1,18 \times 250 = 295 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$P_r = \frac{(2\pi \cdot M_r \cdot n_2)}{\eta'_d} \Rightarrow$$

$$P_r = \frac{(2\pi \times 295 \times 0,5)}{0,73} \Rightarrow$$

$$P_r = 1269,5 \text{ W} = 1,27 \text{ kW}$$

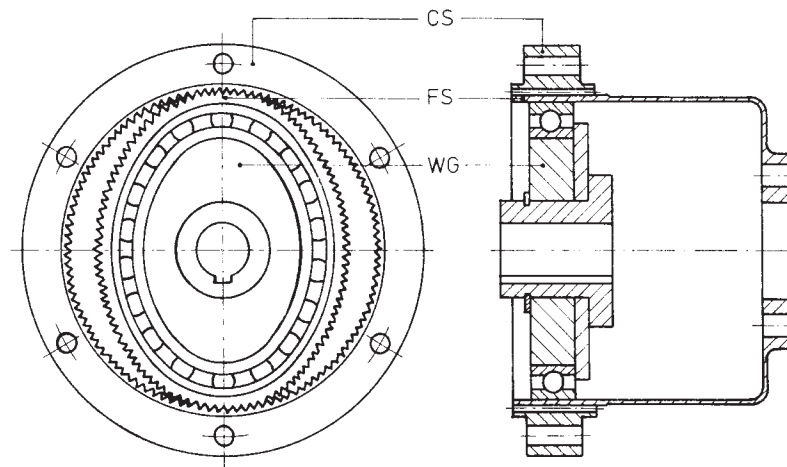
$$P_r = 1,27 \leq P_n = 1,5 \text{ kW} \text{ dus onze keuze is goed.}$$

**8.9 Harmonic drive**

De harmonic drive is een aandrijfmechanisme waarmee we een grote overbrengingsverhouding kunnen krijgen. We gebruiken de harmonic drive onder andere bij:

- industriële robots;
- offsetdrukmachines;
- satellieten;
- raketten.

De scharnieren van een robot moeten een grote overbrenging hebben, omdat de robotarm daardoor nauwkeurig te positioneren is. In figuur 8.20 zie je een eenvoudige harmonic drive.

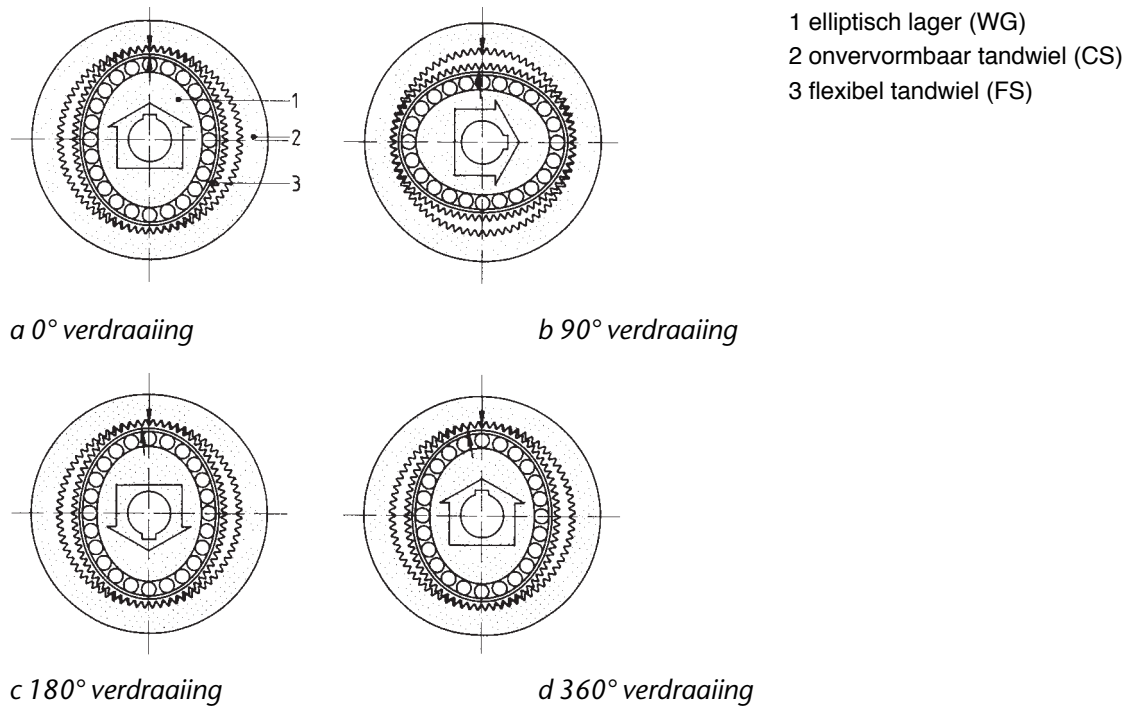


Figuur 8.20 Principe harmonic drive

Deze uitvoering bestaat uit drie delen:

- Wave-generator (WG): deze is ellipsvormig en veroorzaakt tijdens het draaien een golfbeweging in de flexspline (FS).
- Flexspline (FS): dit is een dunwandige, zeer elastische metalen bus met uitwendig een groot aantal groeven. We kunnen ook zeggen dat de FS uitwendig tanden heeft.
- Circular spline (CS): dit is een vormvaste ring met inwendig tanden die identiek zijn aan die van de FS.

Je ziet in figuur 8.20 dat de tanden over de lange as van de ellips aangrijpen. In de praktijk is 15 % van de tanden in aangrijping. De FS heeft 1 tot 2 tanden minder in de omtrek dan de CS. De FS blijft daardoor 1 of 2 tanden achter op de CS als we de WG één omwenteling draaien. In figuur 8.21 zie je dit getekend voor een verschil van 2 tanden over een hoekverdraaiing van  $90^\circ$ .



Figuur 8.21 Werking harmonic drive

Bij een stilstaande CS draait de FS dus tegengesteld aan de WG. Als de CS 320 tanden heeft en de FS heeft 319 tanden, dan geldt voor de overbrengingsverhouding:

$$\frac{FS}{CS - FS} = \frac{319}{320 - 319} = 319 \quad (8.23)$$

Door het aantal tanden van de CS en de FS te variëren kunnen we dus een groot aantal overbrengingsverhoudingen realiseren. In de standaarduitvoeringen van de harmonic drive liggen de overbrengingsverhoudingen tussen 78 en 320, afhankelijk van type en uitvoering.

De harmonic drive heeft de volgende voordelen:

- geschikt voor grote vermogens;
- betrouwbaar en bedrijfszeker met weinig speling;
- kan multifunctioneel gebruikt worden;
- hoog rendement, tot 90 %.

## 8.10 Kernpunten

Om de hartafstand van de assen van een tandwieloverbrenging te bepalen, bereken je eerst de middellijnen van de afzonderlijke tandwielen. Hiervoor gebruik je de formule:

$$d_1 = m \cdot z_1$$

Voor de tandhoogte geldt:

$$h = 2,25 \cdot m$$

Voor conische tandwielen geldt:

$$d_1 = \frac{z_1 \cdot m_n}{\cos \beta}$$

Voor de overbrengingsverhouding geldt:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

Er zijn de volgende typen tandwielen:

- cilindrische tandwielen
- conische- of kegeltandwielen
- schroeftandwielen
- worm- en wormwielen
- planeetwielen

Voor de keuze van tandwielkasten en wormwielkasten gebruik je de gegevens van de leverancier. Uitgangspunten voor de keuze zijn:

- de beschikbare inbouwruimte;
- het over te brengen moment en/of vermogen;
- het uitgaande toerental;
- de aard van de belasting;
- de inschakelduur;
- de omgevingstemperatuur.

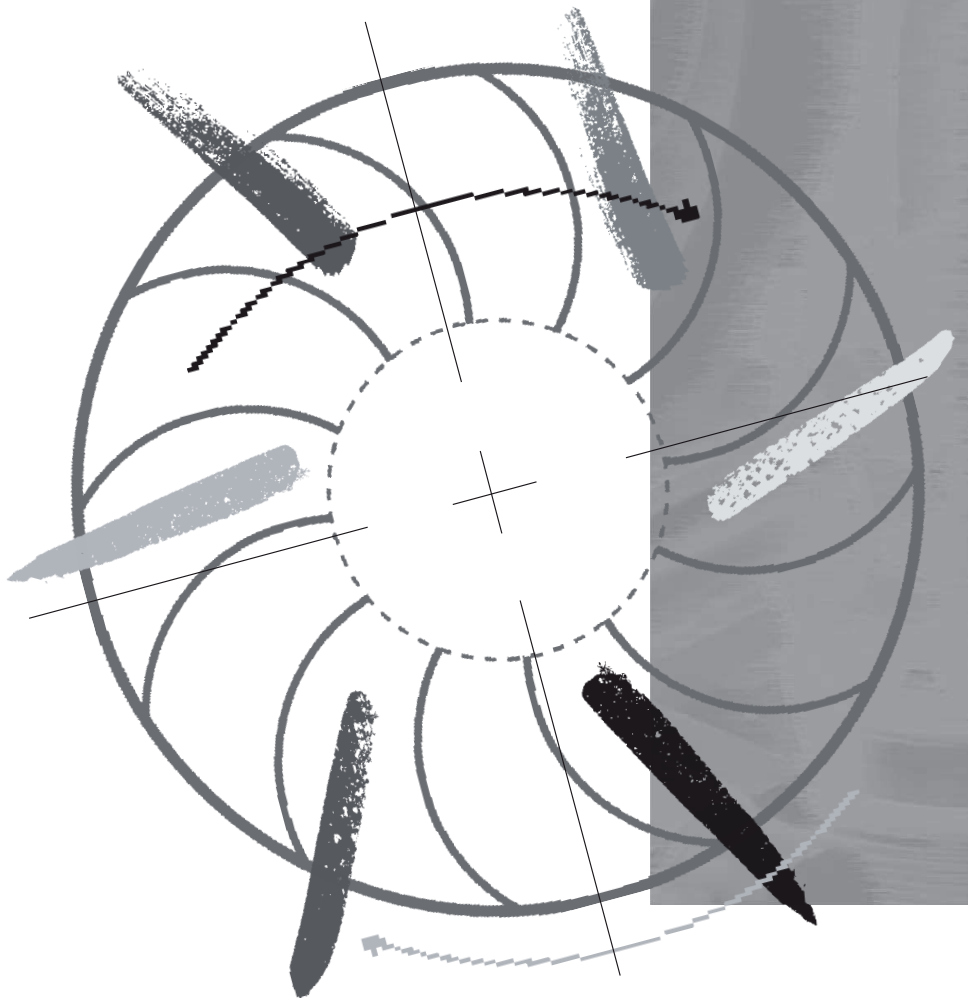
Met een harmonic drive kunnen we grote overbrengingsverhoudingen realiseren. Ze worden onder andere gebruikt in industriële robots, drukmachines, en satellieten.





# Variatoren, bewegings- mechanismen en lineaire systemen

9



## 9.1 Inleiding

De snelheid van aandrijvingen moet vaak worden aangepast aan de omstandigheden. Een beweging moet soms bijvoorbeeld stap voor stap gaan, bijvoorbeeld bij transportbanden voor montage. Soms moet de snelheid continu aangepast kunnen worden. Bijvoorbeeld bij de spindels van CNC-freesmachines.

Je kunt de snelheid aanpassen door de aandrijfwielen te verwisselen, zodat je een andere overbrengingsverhouding krijgt. Je moet het proces dan wel onderbreken, met alle nadelige gevolgen. Het is handiger als je de snelheid tijdens het proces kunt aanpassen. Dat kan met een groot aantal verschillende aandrijfcomponenten. Zie figuur 9.1.



*Figuur 9.1 Verschillende aandrijfcomponenten*

In dit hoofdstuk lees je voor welke situaties je de verschillende aandrijfcomponenten kunt gebruiken.

## 9.2 Variatoren

In geautomatiseerde processen moeten we verschillende aandrijvingen nauwkeurig op elkaar afstemmen. Soms moeten we een toerental constant houden, ondanks het variabele lastmoment of frequentieschommelingen in het elektrische net. Hiervoor kunnen we variatoren gebruiken.

Variatoren zijn apparaten waarmee we rotatiefrequenties traploos tussen bepaalde waarden kunnen regelen. Hierbij wordt de vermogensoverdracht niet onderbroken.

Variatoren worden ook wel regelbare aandrijvingen genoemd. Een variator kan op drie manieren uitgevoerd worden:

- elektronisch;
- mechanisch;
- hydraulisch.

Elektronische variatoren worden vooral gebruikt als naast de snelheidsregeling ook schommelingen in het elektrische net moeten worden opvangen.

Mechanische variatoren hebben de volgende voordelen ten opzichte van elektronische variatoren:

- ze zijn geschikt voor een hoog aanloopmoment;
- bij lage toerentallen wordt het draaimoment groter;
- door robuuste bouw kan een korte overbelasting geen kwaad;
- bedrijfszekere en betrouwbare aandrijving;
- ze zijn goedkoper.

Het instelbereik van een variator is de verhouding tussen het minimumtoerental en het maximumtoerental van de uitgaande as:

$$\text{instelbereik} = \frac{n_{\min}}{n_{\max}} \quad (9.1)$$

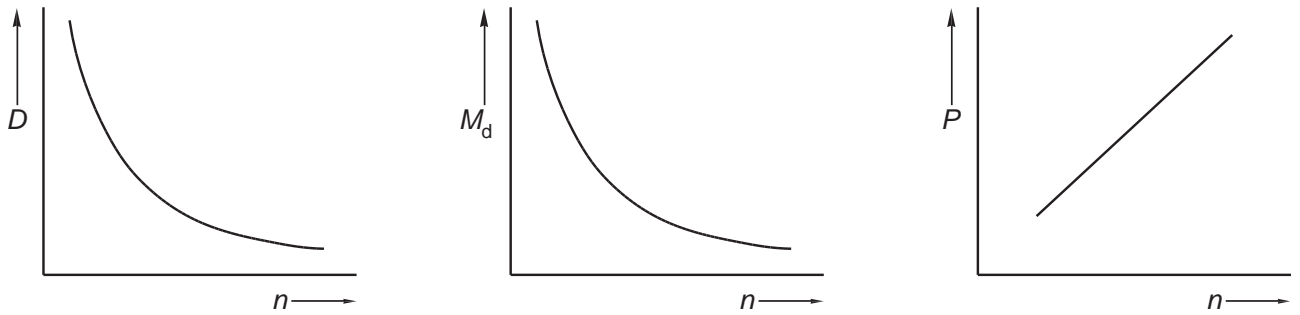
We kunnen het instelbereik van sommige variatoren veranderen door een tandwielkast in de aandrijving op te nemen.

## 9.3 Mechanische variator

De vermogensoverdracht is bij de meeste mechanische variatoren gebaseerd op rollende wrijving. Dit kan via een kogel, een kegel of een riem.

### 9.3.1 Kogelvariator

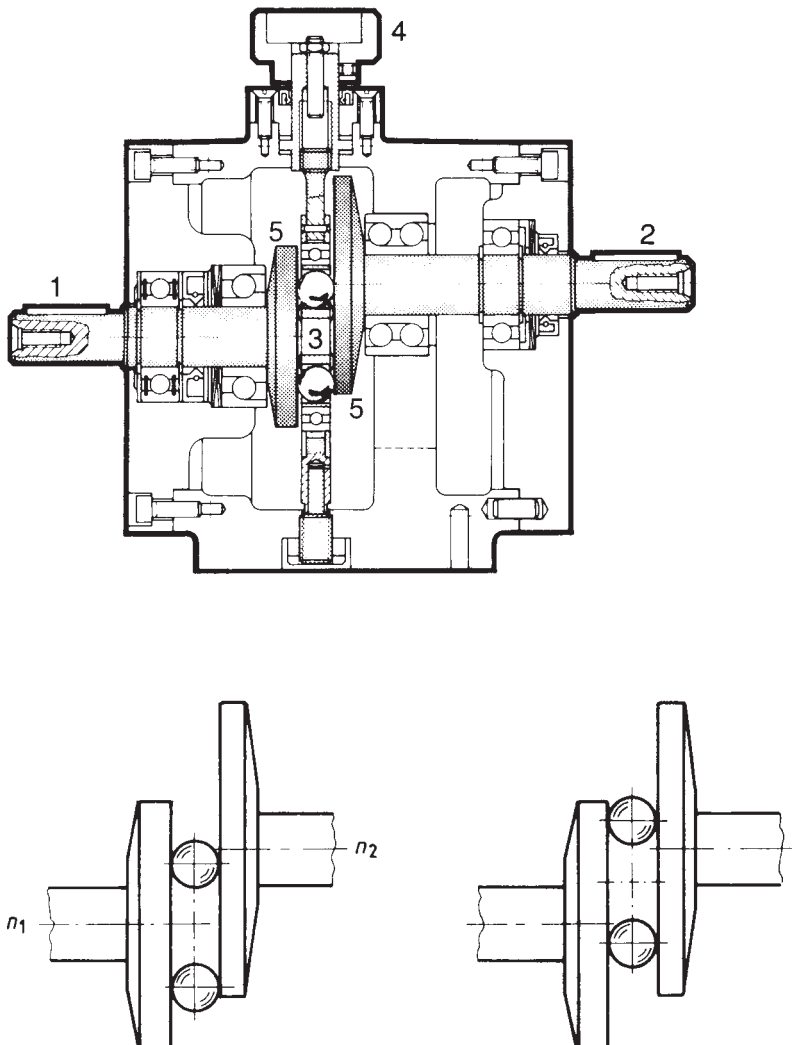
De rol van de ingaande as heeft een constant toerental en draagt zijn omtreksnelheid over aan een kogel. De kogel kan langs de rol verschuiven en draagt zijn omtreksnelheid over op een schijf, die is verbonden met de uitgaande as. We krijgen de normaalkracht door de schijf met een drukveer te belasten. Het is daarvoor geen slipvrije overbrenging. Zie figuur 9.2.



Figuur 9.2 Variabelen bij variator met kogel

Als de kogel door het midden van de schijf wordt verplaatst, gaat de schijf in tegengestelde richting draaien.

Sommige installaties hebben bij elk toerental een constant vermogen nodig. De grootte van de variator wordt dan bepaald door het hoogste vermogen bij het laagste toerental. Bij de montage van de variator liggen de ingaande en de uitgaande as niet in elkaars verlengde. Zie figuur 9.3.



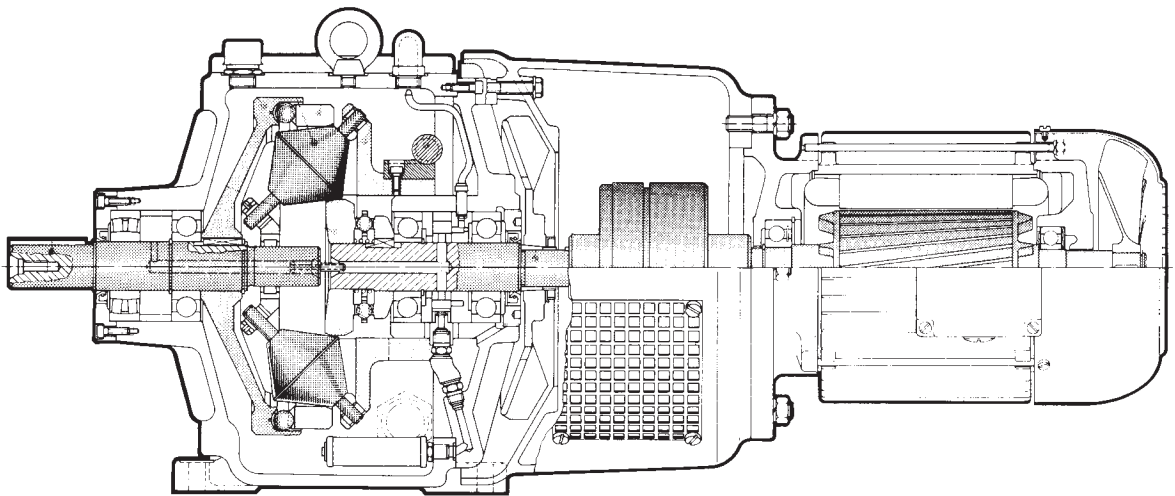
Figuur 9.3 Doorsnede kogelvariator

De eigenschappen van deze variator zijn:

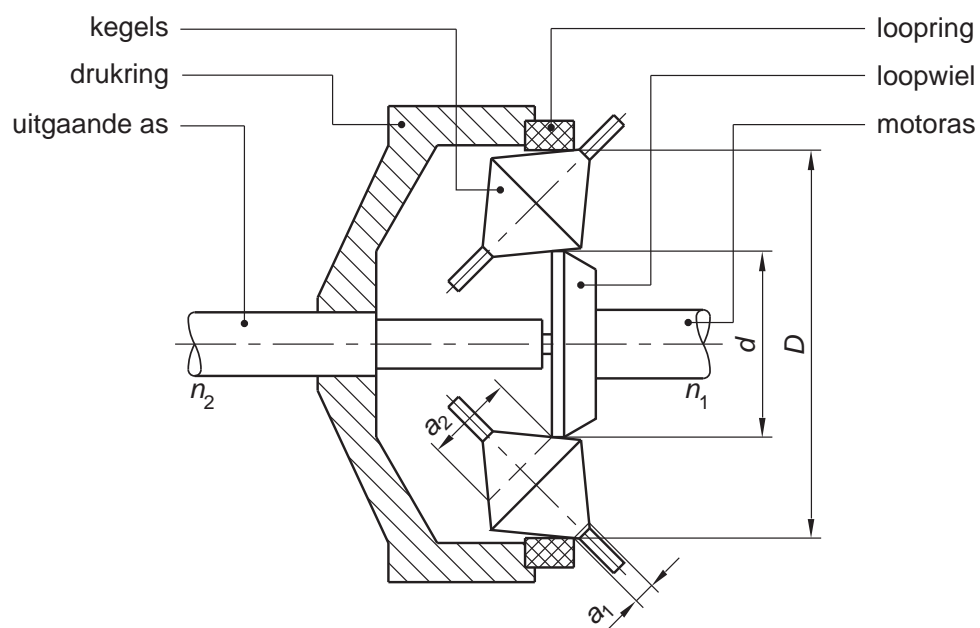
- instelbaar in bedrijf en bij stilstand;
- geschikt voor een laag vermogen tot 0,5 kW;
- geschikt voor zeer hoge toerentallen (tot 8000 min<sup>-1</sup>) van de uitgaande as;
- geschikt voor beide draairichtingen;
- geluidsarm;
- ongevoelig voor stotend bedrijf.

### 9.3.2 Kegelvriator

Een kegelvariator werkt enigszins anders dan een kogelvariator. Zie figuur 9.4.



*a doorsnede*



*b principe*

Figuur 9.4 Kegelvriator

De loopring op de motoras wordt door een aandrukmechanisme tegen de kegels aangedrukt en drijft deze aan. De kegels drijven het loopwiel aan. Door het aandrukmechanisme in de drukring wordt deze loopring tegen de kegels aangedrukt. De drukring is bevestigd op de uitgaande as. Omdat  $D$  en  $d$  constante waarden zijn, kun je de overbrengingsverhouding aanpassen door de kegels te verstellen. Daardoor veranderen de raakcirkels op de kegels.

De kegelvariator is over het grootste deel van het instelbereik geschikt voor het overbrengen van een constant vermogen. Dat komt door een juiste combinatie van kegels, loopring, loopwiel en aandrukmechanisme.

De kegelvariator heeft een aantal opmerkelijke eigenschappen:

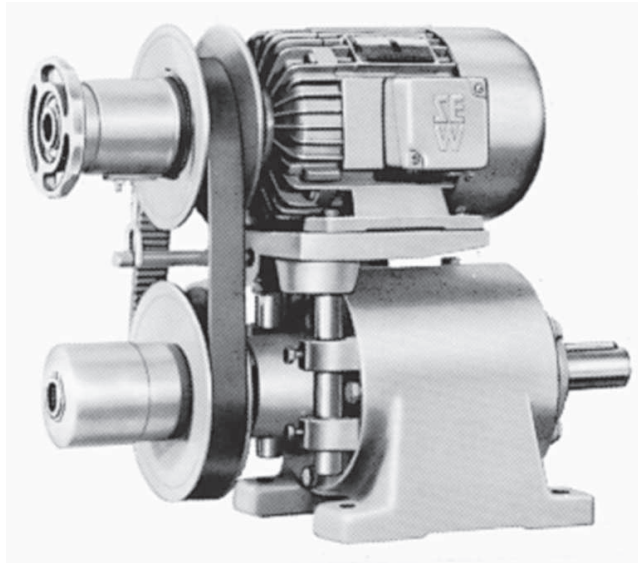
- vermogensbereik tot 7,5 kW;
- groot instelbereik (tot 1 : 12) afhankelijk van de grootte en het afgenomen vermogen;
- hoog constant rendement (tot 90 %) over het gehele instelbereik;
- zeer nauwkeurig instelbaar toerental;
- compacte bouw.

De kogel- en de kegelvariator worden met handverstelling of met mechanische of elektronische verstelmogelijkheden geleverd.

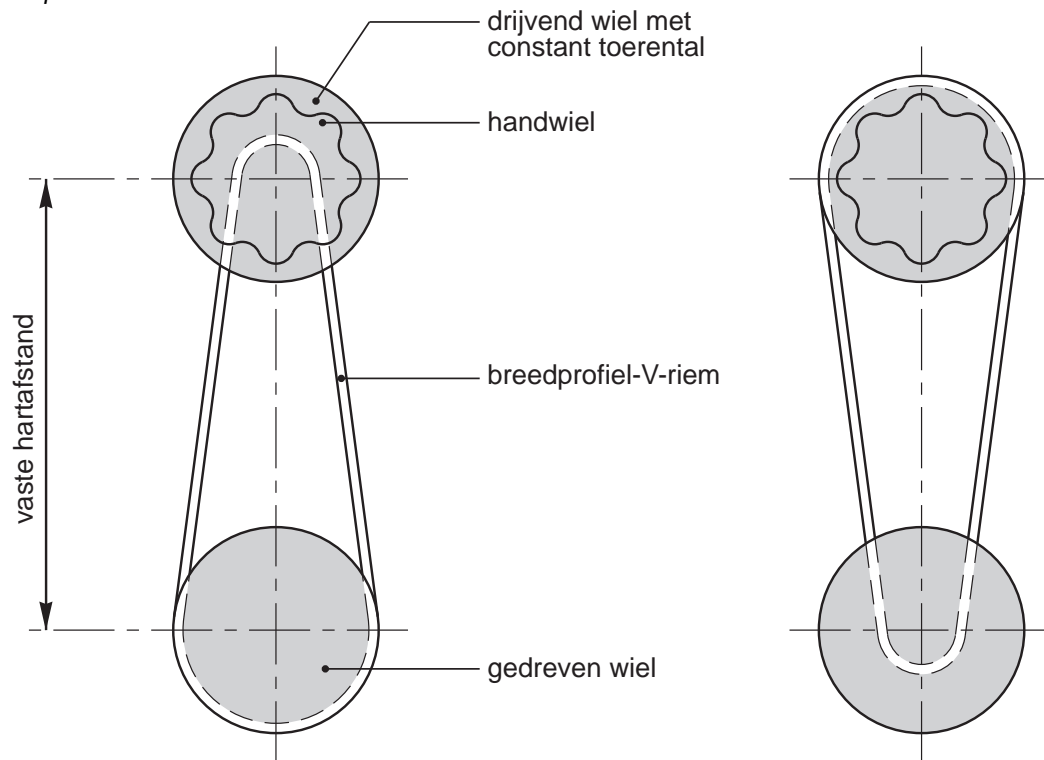
Ze worden gedeeltelijk met olie gevuld om de wrijving te verminderen en om contact tussen de kegels of kogels en de loopringen te vermijden.

### 9.3.3 Open riemvariator

Riemvariatoren kunnen vermogens overbrengen tot 30 kW. Bij de open uitvoering wordt de riem gekoeld met de buitenlucht. De aan de binnenzijde vertande, brede V-riem wordt tussen de beide schijfhelften geklemd. Zie figuur 9.5a.



a open riemvariator



b vertragend

c versnellend

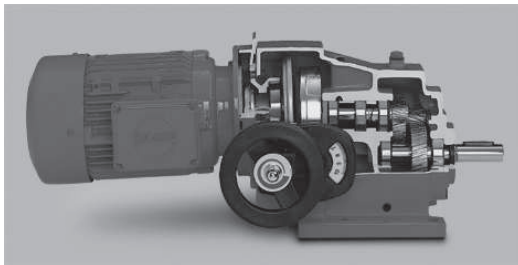
Figuur 9.5 Verstelling open riemvariator

De schijfhelften van het gedreven wiel worden aangespannen met een veer. Je kunt deze schijfhelften van elkaar af of naar elkaar toe brengen. Daarvoor draai je aan het handwiel dat op het drijvend wiel is bevestigd. Door deze verstelling gaat de V-riem over een grotere of over een kleinere middellijn draaien. Daardoor krijgen we een vertraging of versnelling van het toerental. Zie figuur 9.5b en 9.5c.

Je kunt de riemvariator alleen verstellen als deze in bedrijf is. Door de constructie en de beperkte soepelheid van de V-riem is het instelbereik beperkt. Afhankelijk van de grootte van de variator is het instelbereik 1 : 4 tot 1 : 8. Door het beperkte instelbereik worden open riemvariators meestal geleverd met aangebouwde reductiekast. Zie figuur 9.5a.

#### 9.3.4 Gesloten riemvariator

Aandrijvingen die worden gebruikt in de levensmiddelenindustrie moeten volledig gesloten zijn, zodat er geen vuil en stof in kan komen. Bij de gesloten riemvariator is de hele aandrijving in een gesloten kast gemonteerd. De aandrijving loopt in een oliebad, zodat er weinig geluidshinder kan ontstaan. Zie figuur 9.6.



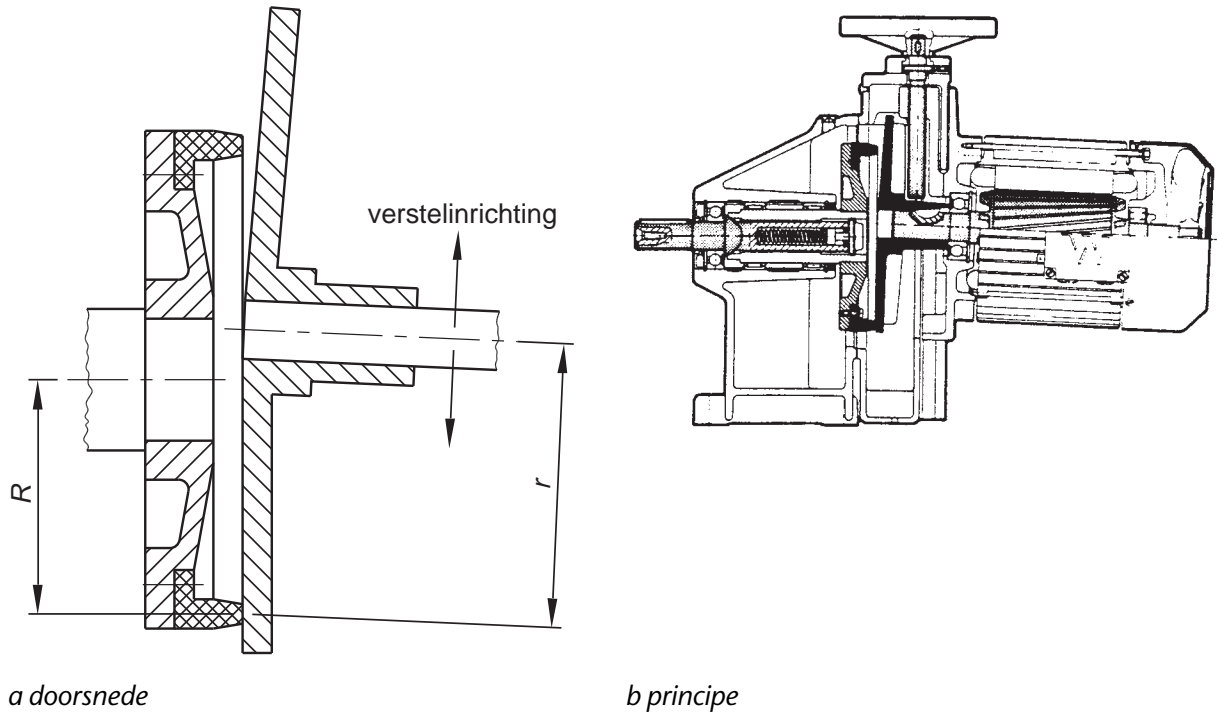
*Figuur 9.6 Gesloten riemvariator*

Op de uitgaande as kunnen we met een flensverbinding een reductiekast aansluiten. Als we het handwiel vervangen door een servomotor wordt afstandsbediening van de variator mogelijk.

#### 9.3.5 Schijfvariator

De schijfvariator is geschikt voor vermogens tot 10 kW en heeft een instelbereik van 1 : 4 tot 1 : 5. Zie figuur 9.7.





Figuur 9.7 Schijfvariator Varimot

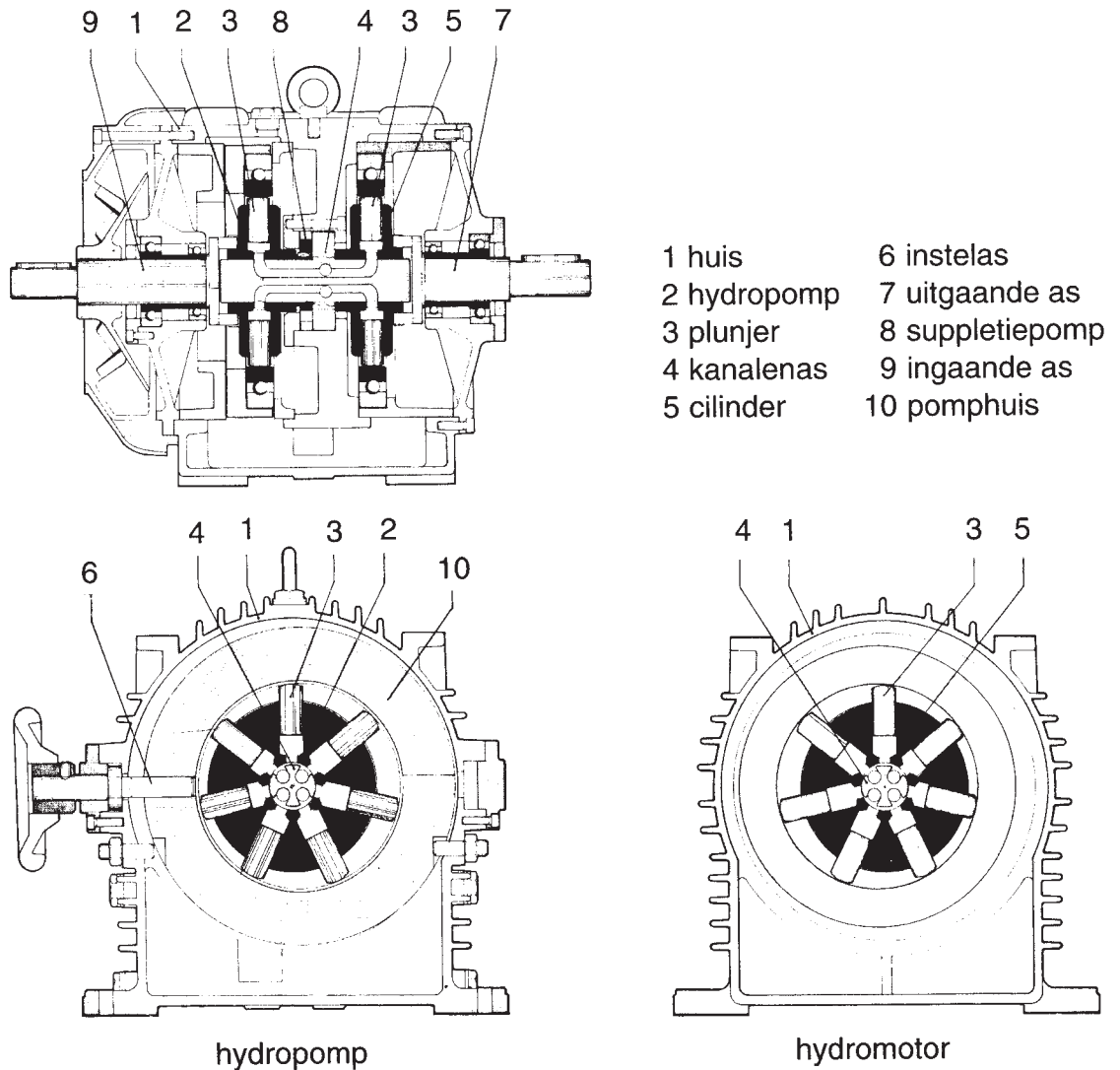
Met het handwiel kunnen we de motor met de conisch gevormde wrijvingschijf verticaal plaatsen. Door de conische schijf te verplaatsen stellen we de grootte van de straal  $r$  in. Daardoor bepalen we ook het toerental van de wrijvingsring op de uitgaande as van de variator. Zie figuur 9.7a.

Een drukveer drukt de wrijvingsring van de uitgaande as tegen de conische schijf en veroorzaakt zo de normaalkracht.

Door de constante veerkracht is ook de wrijvingskracht constant. Hierdoor geeft deze variator bij voldoende motorvermogen een constant draaimoment.

## 9.4 Hydraulische variator

Bij een hydraulische variator zijn een hydropomp en een hydromotor in één huis ingebouwd. De hydropomp drijft de hydromotor aan. De hydropomp heeft radiaal geplaatste plunjers met een regelbare opbrengst. De plunjers van de hydromotor hebben een vast slagvolume. Een hydraulische variator werkt traploos.



Figuur 9.8 Hydraulische variator

De opbrengst van de pomp wordt bepaald door de excentriciteit van de cilinder waarin de plunjers draaien. Deze excentriciteit kunnen we met een instelas instellen. Bij excentriciteit nul is de opbrengst van de pomp nul en staat de uitgaande as stil. Het toerental van de uitgaande as hangt dus af van de opbrengst van de hydropomp. Als de excentriciteit zodanig wordt verplaatst dat zij een tegengestelde waarde krijgt, beweegt de uitgaande as in tegengestelde richting.

Een voordeel van de hydraulische variator is dat de rotatie doorgegeven wordt zonder axiale krachten in de constructie. De hydraulische variator is geschikt voor vermogens tot 20 kW en wordt meestal met aangebouwde elektromotor geleverd.

## 9.5 Mechanismen voor oscillerende bewegingen

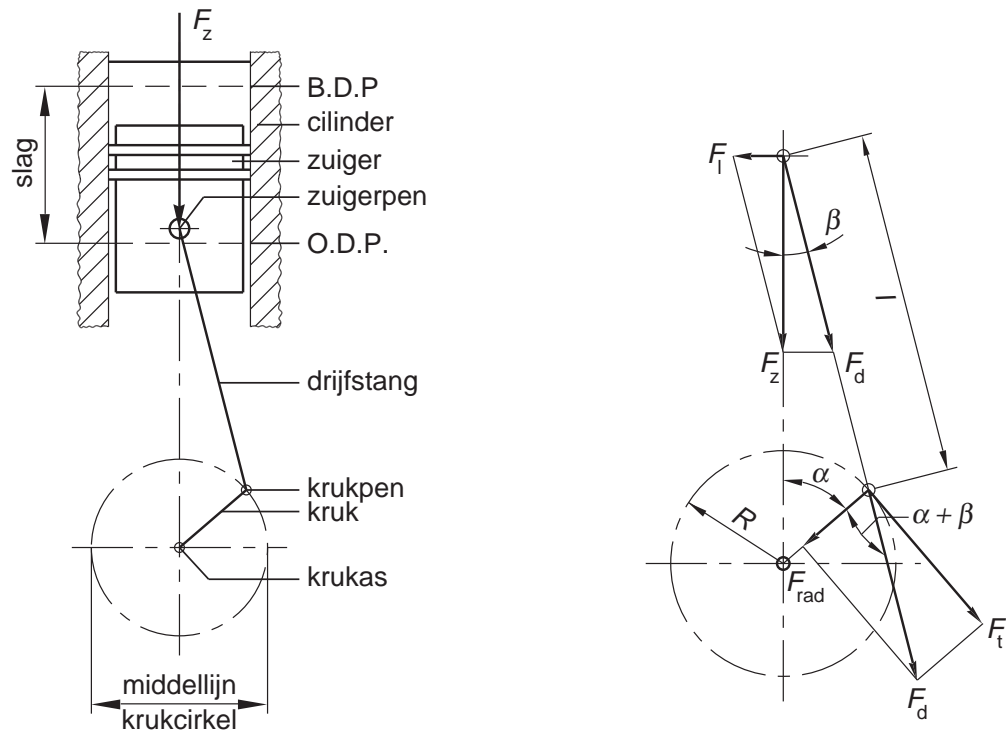
Bij mechanismen voor oscillerende bewegingen is er sprake van een gedwongen beweging. Elk punt van het mechanisme beschrijft een van tevoren nauwkeurig bepaalde baan.

Sommige mechanismen zijn omkeerbaar. Met het kruk-drijfstangmechanisme kun je bijvoorbeeld een translatie omzetten in een rotatie en omgekeerd.

### 9.5.1 Kruk-drijfstangmechanisme

Bij pompen en compressoren, bij beugelzaagmachines en bij transportsystemen wordt een rotatie omgezet in een translatie. Daarvoor wordt een kruk-drijfstangmechanisme gebruikt.

Bij het berekenen van de krachten op een kruk-drijfstangmechanisme gaan we uit van de kracht op de pen van de drijfstang. Zie figuur 9.9.



Figuur 9.9 Belangrijkste onderdelen kruk-drijfstangmechanisme

De kracht op de pen is bij zuigerpompen en compressoren niet constant. Dat komt doordat de druk boven de zuiger varieert met de zuigerstand. Bij andere toepassingen (zoals in balenpersen en hefinrichtingen) is deze kracht nagenoeg constant.

De kruk is over een hoek  $\alpha$  vanuit de topstand gedraaid. De kracht  $F_z$  bereken je voor pompen, motoren en compressoren als volgt:

$$\mathbf{I} \quad F_z = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot p \quad (9.3)$$

Met:

- $F_z$  = nuttige zuigerkracht in N;
- $d$  = zuigermiddellijn in m;
- $p$  = overdruk in de cilinder in Pa.

Als we de krukstraal  $R$ , de drijfstanglengte  $l$  en de hoek  $\alpha$  weten, kunnen we de hoek  $\beta$  berekenen. Er geldt:

$$\sin \beta = \frac{R}{l} \cdot \sin \alpha$$

De drijfstangkracht  $F_d$  volgt uit:

$$F_d = \frac{F_z}{\cos \beta}$$

De drijfstangkracht wordt door de drijfstang overgedragen op de krukpen. Daar veroorzaakt de drijfstangkracht een tangentiale kracht  $F_t$  en een radiale kracht  $F_{\text{rad}}$ .

De tangentiale kracht  $F_t$  kunnen we berekenen met:

$$F_t = F_d \cdot \sin (\alpha + \beta)$$

Het draaimoment dat het kruk-drijfstangmechanisme moet leveren bereken je als volgt:

$$M_d = F_t \cdot R$$

De radiale kracht  $F_{\text{rad}}$  die op de lagers werkt kun je berekenen met:

$$F_{\text{rad}} = F_d \cdot \cos (\alpha + \beta)$$

**Voorbeeld***Gegeven*

Het persgedeelte van een balenpers wordt aangedreven door een kruk-drijf-stangmechanisme. De maximale perskracht  $F_z = 2000$  N. De persslag is 200 mm en vindt elke seconde plaats. De lengte van de drijfstang  $l = 600$  mm.

*Gevraagd*

- Bereken de kracht  $F_t$  aan de kruk.
- Bereken het benodigde draaimoment van de krukas.
- Bereken het aandrijfvermogen aan de krukas.

*Oplossing*

$$\sin \beta = \frac{R}{l} \cdot \sin \alpha \Rightarrow$$

$$\sin \beta = \frac{100}{600} \times \sin 45^\circ = 0,1179 \Rightarrow$$

$$\beta = 6,80$$

$$F_t = F_d \cdot \sin(\alpha + \beta) = \frac{F_z}{\cos \beta} \cdot \sin(\alpha + \beta) \Rightarrow$$

$$F_t = \frac{2000}{\cos \beta} \times \sin(45 + 6,8) = 1582 \text{ N}$$

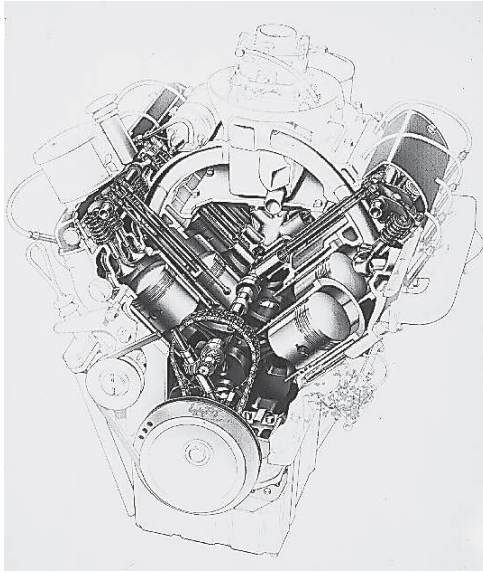
$$M_d = F_t \cdot R = 1582 \times 0,1 = 158,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$P = M_d \cdot 2\pi \cdot n = 158,2 \times 2\pi \times 1 = 994 \text{ Watt}$$

**9.5 Nokken- en curvenschijven**

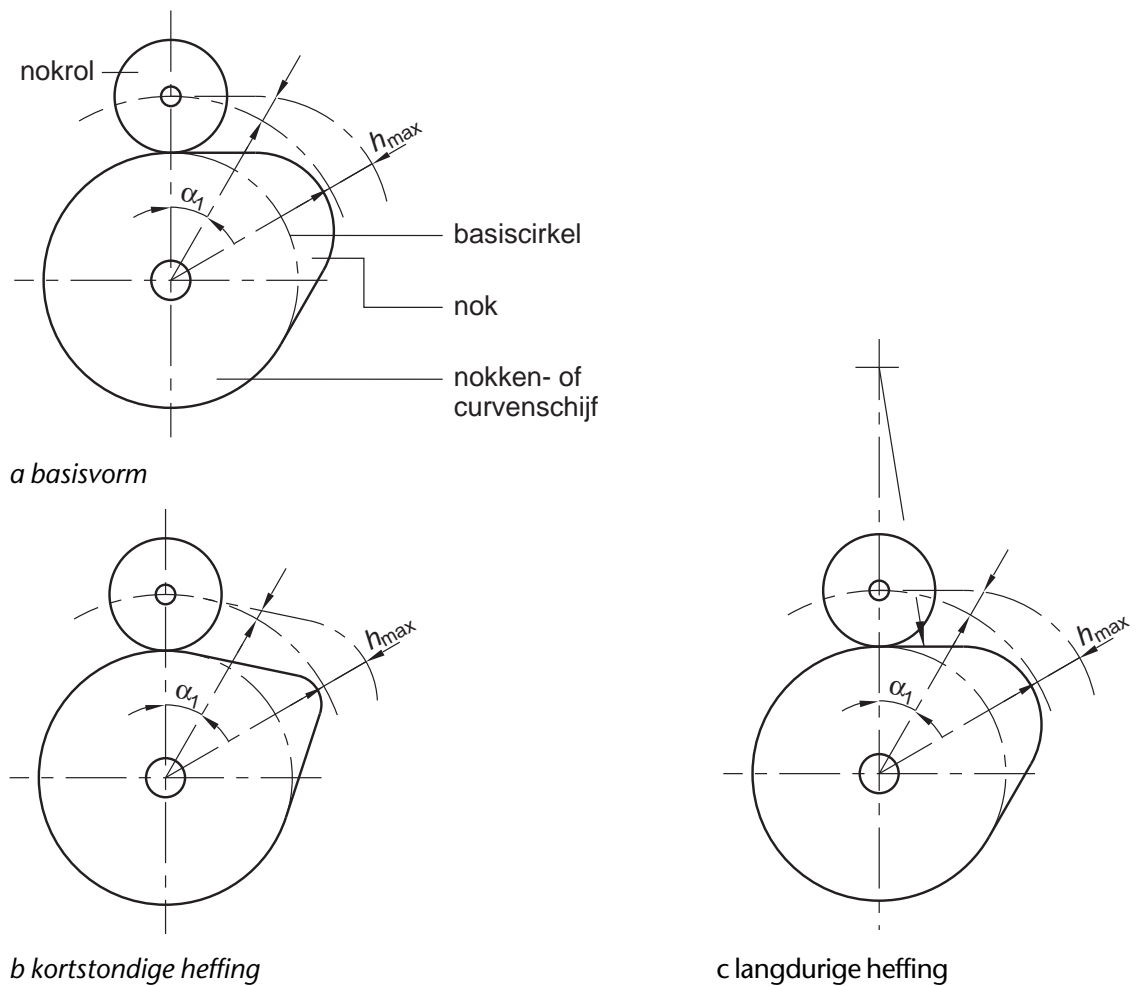
Soms moeten lineaire en niet-lineaire bewegingen precies voldoen aan vooraf gestelde specificaties. Dan gebruiken we een systeem met een nokken- of curvenschijf en bijbehorende volgers en hulpstangen.

Met een nok kun je meestal geen grote directe verplaatsing bereiken. In figuur 9.10 zie je een indirecte klepaandrijving door een nokkenas en kleplichers.



Figuur 9.10 Indirecte klepaandrijving

De curvenschijf draait onder de nokrol door en zorgt dat de nokrol verplaatst wordt. De vorm van de curvenschijf zorgt voor een bepaalde heffing met verschillende snelheden en versnellingen. Zie figuur 9.11.



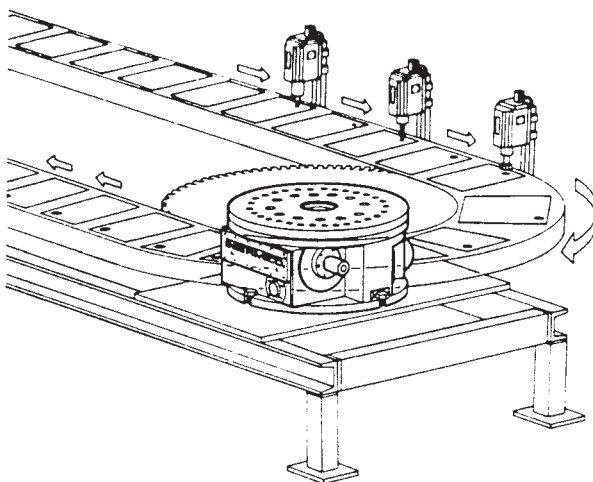
Figuur 9.11 Verschillen in nokvorm

Omdat een kleine middellijn van de nokrol en de curvenschijf gewenst is, zijn deze gelagerd met naaldlagers. De buitenring is dikwandig uitgevoerd om bij hoge belastingen vervorming en beschadiging van het lager te voorkomen. Nokkenmechanismen worden vooral bij apparaten met starre automatisering gebruikt.

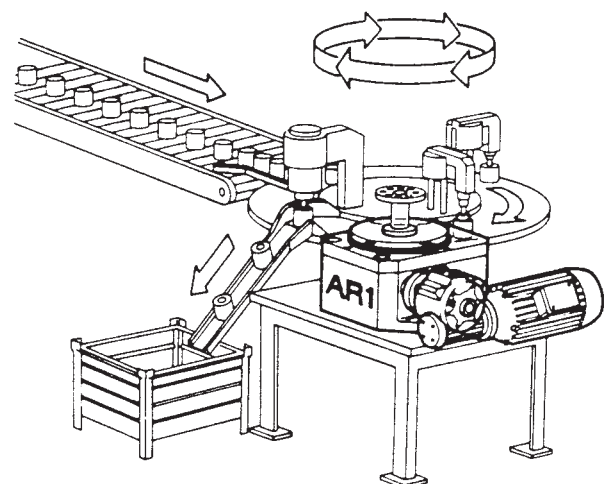
## 9.6 Mechanismen voor intermitterende bewegingen

Bij een intermitterende beweging worden perioden van beweging afgewisseld door perioden van rust. Er zijn verschillende benamingen voor dit soort mechanismen. Ze worden ook wel stappenmechanismen en indexeermechanismen genoemd.

Een voorbeeld is de verdeeltafel in een productiecel. Het halffabricaat wordt aangevoerd en ondergaat verschillende bewerkingen op een aantal bewerkingsstations. De verdeeltafel moet dus over een bepaalde hoek kunnen draaien om de producten bij de werkstations af te leveren en ze na de bewerking weer af te voeren. Voor het stapsgewijze transport kunnen we verschillende mechanismen gebruiken. In figuur 9.12a zie je een draaitafel die een palletband aandrijft. Op pallets gemonteerde onderdelen worden van bewerkingsstation naar bewerkingsstation getransporteerd. In figuur 9.12b zie je een draaitafel met vier stops die wordt gebruikt als hart van een bewerkingsmachine.



*a draaitafel als aandrijving van een palletband*

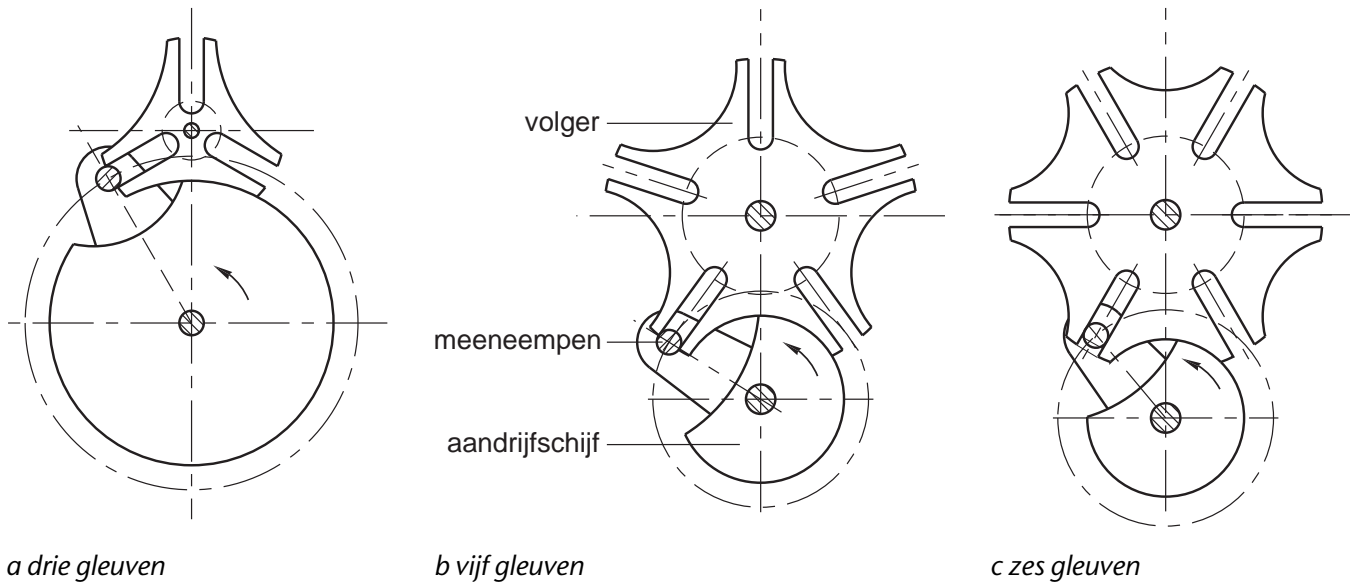


*b draaitafel als hart van een bewerkingsmachine*

*Figuur 9.12 Stappenaandrijving*

### 9.6.1 Maltezer kruis

Bij een Maltezer kruis grijpt de meeneempen radiaal in een gleuf van de volger en neemt deze mee. De meeneempen verlaat de gleuf ook weer radiaal. Door het maanvormige deel van de drijver wordt de volger geblokkeerd tijdens de omgang van de pen. De schakelhoek van de volger van een Maltezer kruis is afhankelijk van de vorm en het aantal gleuven. Zie figuur 9.13.



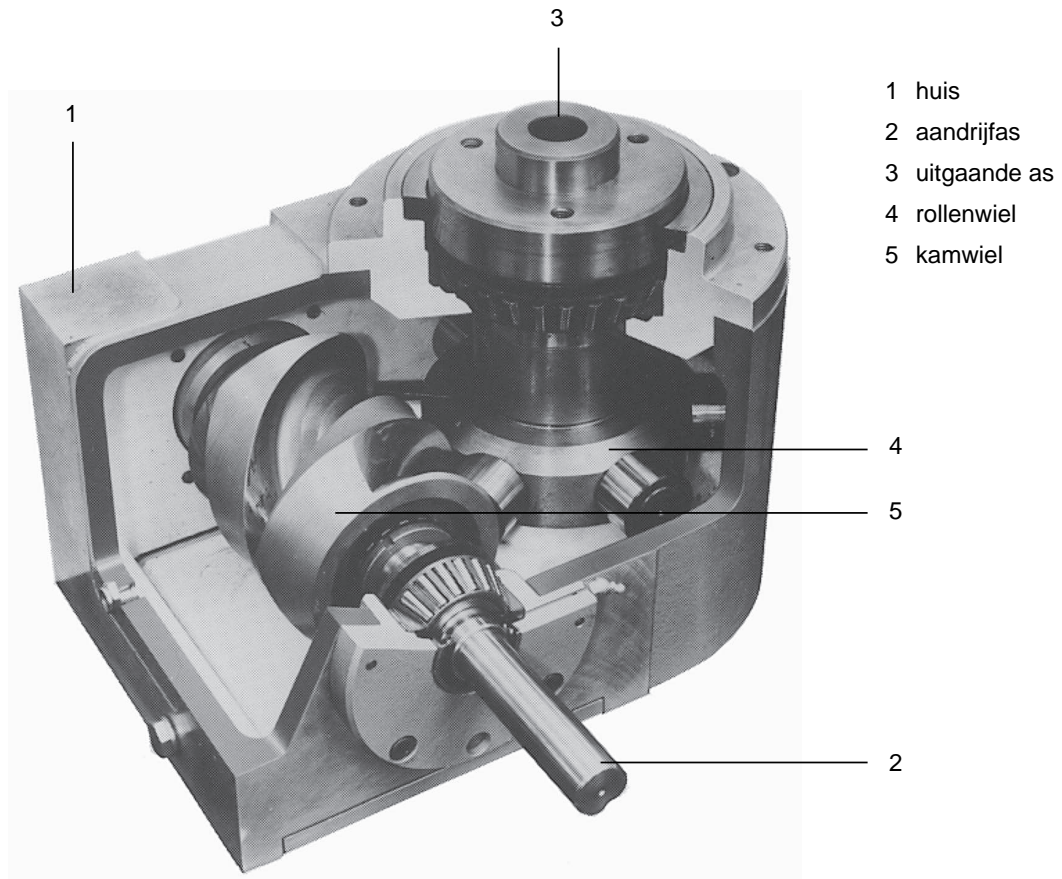
Figuur 9.13 Maltezer kruisen met verschillende aantallen gleuven

Een nadeel van het Maltezer kruismechanisme is dat het erg grote snelheden en versnellingen veroorzaakt. Het mechanisme is minder geschikt voor het verplaatsen van grote massa's en voor hoge snelheden. Het wordt dan ook steeds minder toegepast.

### 9.6.2 Omzettafel

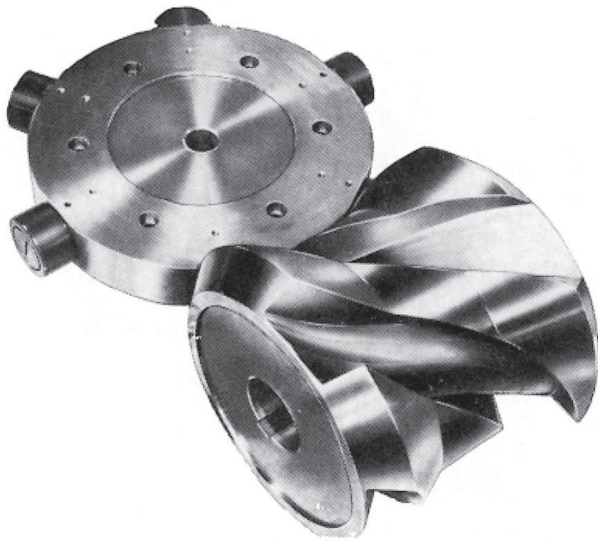
De omzettafel is een veelgebruikt mechanisme dat ook bekend is onder de merknamen Manifold en Rotoblock. Zie figuur 9.14.



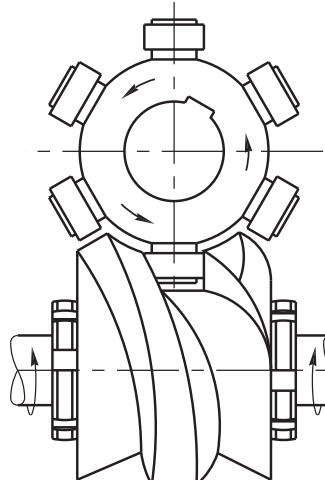


Figuur 9.14 Omzettafel (Rotoblock)

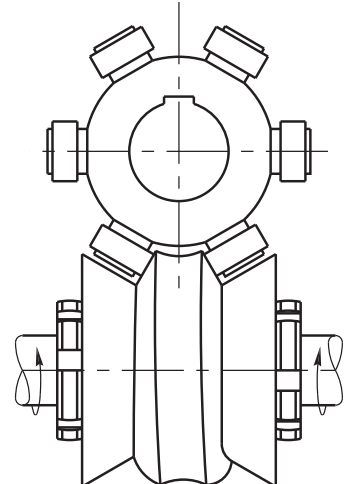
Een omzetmechanisme bestaat uit een huis (1) met aandrijfas (2) en uitgaande as (3). De cilindrische schijf of het rollenwiel (4) heeft aan de omtrek een aantal rollen en wordt aangedreven door een curvenrol of kamwiel (5) met de vorm van een worm. Op het rollenwiel zit de uitgaande as. Daarop kunnen we bijvoorbeeld een ronde tafel monteren. Deze beweegt zich dan stapsgewijs in dezelfde richting. Het kamwiel (de curvenrol) is een soort cilinder met nokken over de omtrek. Zie figuur 9.15a.



a uitvoering



b schroefvormig deel



c tangentiaal deel

*Figuur 9.15 Samenspel van kamwiel en rollenwiel*

Het bewegingsverloop is een zich herhalend ritme stilstand>beweging>stilstand, steeds in dezelfde draairichting.

Het curvenverloop bestaat uit drie delen:

- Het eerste deel is schroefvormig om de eerstvolgende rol op te nemen en naar het curvencentrum te verschuiven. Zie figuur 9.15b.
- Het tweede deel is tangentiaal, zodat er geen beweging op de cilindrische schijf wordt overgedragen. Zie figuur 9.15c.
- Het derde deel is synchroon met het eerste deel, waardoor de rol weer uit het curvencentrum geschoven wordt. Tegelijkertijd wordt in het eerste deel de volgende rol opgenomen.

De schakeltijd en de versnellingen die we daarbij krijgen zijn afhankelijk van de vorm van de curve. Door de constructie kan het snelheidsverloop bij een omzettafel niet veranderen.

De voordelen van dit mechanisme zijn:

- grote constructievrijheid;
- hoge schakelsnelheid;
- nauwkeurige en vormvaste positionering;
- geen of weinig dode tijd.

## 9.7 Lineaire geleidingen

Geleidingssystemen worden gebruikt om machinedelen langs een rechte weg te verplaatsen. Er zijn twee groepen:

- lineaire lagereenheden waarvan we de langs beweging als onbegrensd kunnen beschouwen, zoals kogelbussen, looprollen en omloopspillen;
- lineaire lagereenheden met een beperkte slaglengte, zoals de naaldkooigeleiding of naaldstripgeleiding.

### 9.7.1 Kogelbusgeleidingen

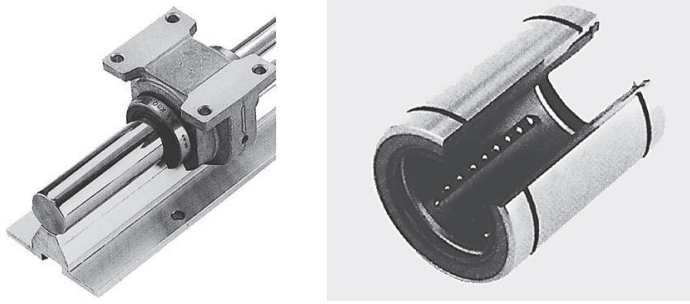
Een kogelbusgeleiding werkt door middel van een kogelbus op een draagas. Zie figuur 9.16.



*Figuur 9.16 As en kogelbus*

Je kunt kogelbussen voor lineaire asgeleidingen gebruiken op plaatsen waar een grote positioneer-nauwkeurigheid nodig is. Kogelbuslagers hebben een kleine wrijving met een stickslipvrije loop. De lagerwrijving hangt af van de belasting op het lager en van het gebruikte smeermiddel.

Kogelbussen worden geleverd in nasmeerbare lagerhuizen en tot een complete lagereenheid samengesteld. De lagerhuizen hebben bevestigingsmogelijkheden, bijvoorbeeld bout- en draadgaten. Zie figuur 9.17.

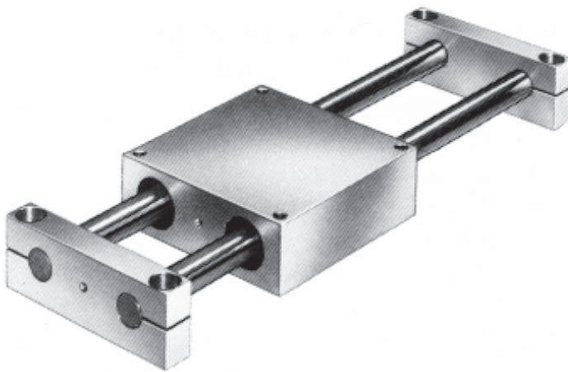


Figuur 9.17 Open kogelbussen met lagerhuis

We monteren kogelbussen met een schuifpassing in de lagerhuizen. Gesloten kogelbussen worden meestal met een borgveer geborgd tegen axiale verschuiving. Open kogelbussen worden axiaal en radiaal geborgd met een stelschroef of kerfstift.

Meestal gebruiken we kogelbusgeleidingen voor horizontale opstellingen. De leverancier van kogelbussen stelt belastingsdiagrammen beschikbaar waarin de belasting ten opzichte van de positie van de kogelbus wordt aangegeven. Behalve de normale kogelbus als lineair lager kunnen ook zelfinstellende kogelbussen geleverd worden. De binnenbus van het zelfinstellend lager is van kunststof, waardoor de kogelbus zichzelf instelt bij een kleine asdoorbuiging of een uitlijnfout van de as.

Een complete kogelbusgeleiding bestaat uit twee draagassen, vier kogelbussen en een montagetafel. Zie figuur 9.18.

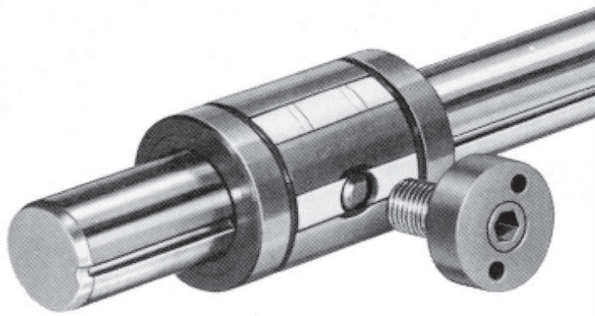


Figuur 9.18 Kogelbusgeleiding met montagetafel

De draagas is gemaakt van corrosiebestendig staal, waarvan de oppervlakte gehard is. De uiteinden van de draagassen worden meestal ondersteund door een asblok.

Voor het goed functioneren van de lineaire geleiding zijn een juiste montage en nauwkeurige uitlijning van de aansluitende delen belangrijk. De fabrikant van kogelbusgeleidingen stelt montage- en onderhoudsvorschriften beschikbaar.

Soms maakt de constructie het onmogelijk om een dubbele kogelbusgeleiding te gebruiken. Dan kunnen we in sommige gevallen een draaimomentkogelbus gebruiken. Zie figuur 9.19.

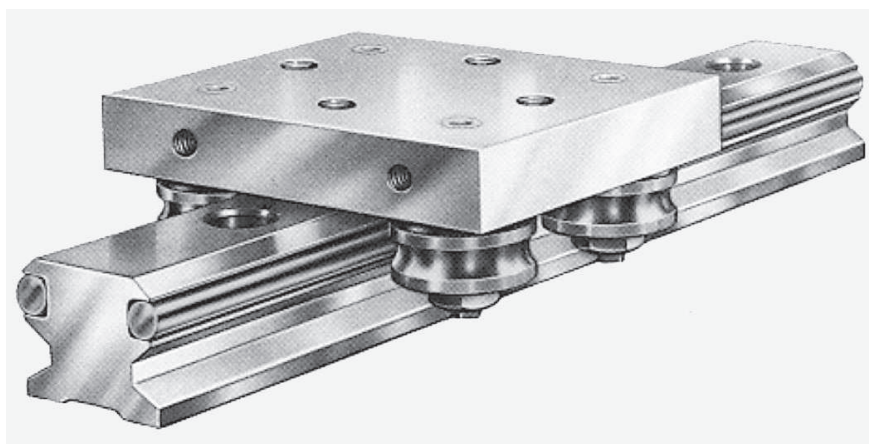


*Figuur 9.19 Draaimoment-kogelbus*

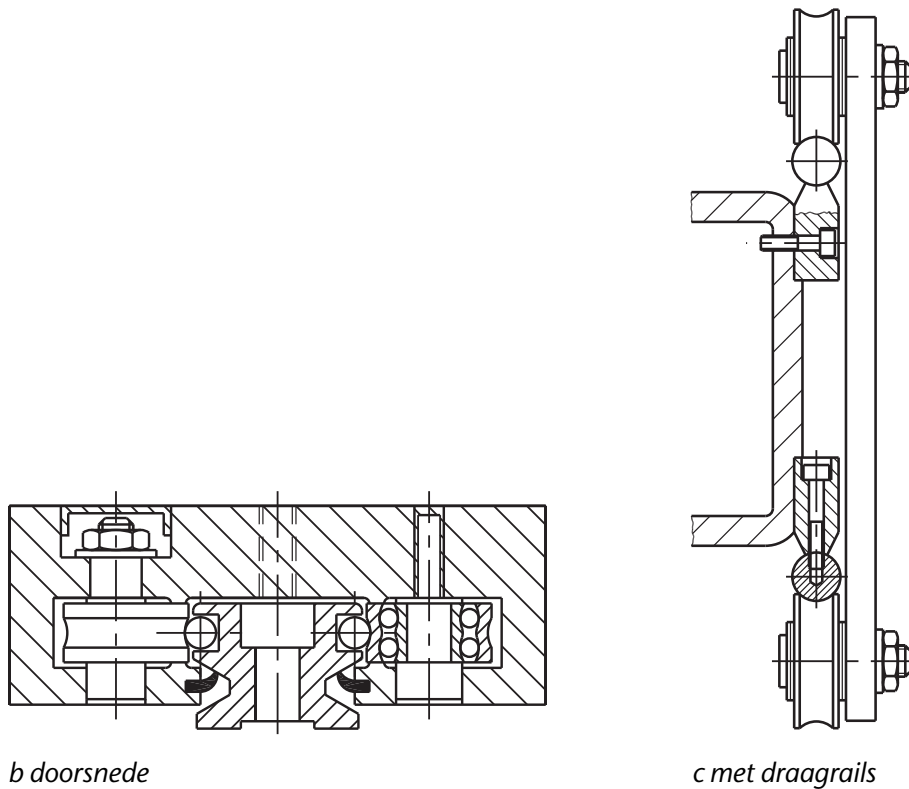
Bij de draaimomentkogelbus is in de as een kogelgroef aangebracht. Daarin monteren we spelingvrij een dieper gezette kogelrij met een stelschroef. De kogelbus kan hierdoor niet draaien om de as. Bij grotere belastingen gaat de voorkeur uit naar een twee-assige kogelbusgeleiding.

### 9.7.2 Looprolgeleidingen

Looprolgeleidingen bestaan vaak uit een aluminium railprofiel, waarin gehard stalen en geslepen assen zijn bevestigd. Over de assen worden geprofileerde looprollen met dubbelrijige hoekcontact-kogellagers geleid. Zie figuur 9.20a.



*a uitvoering*

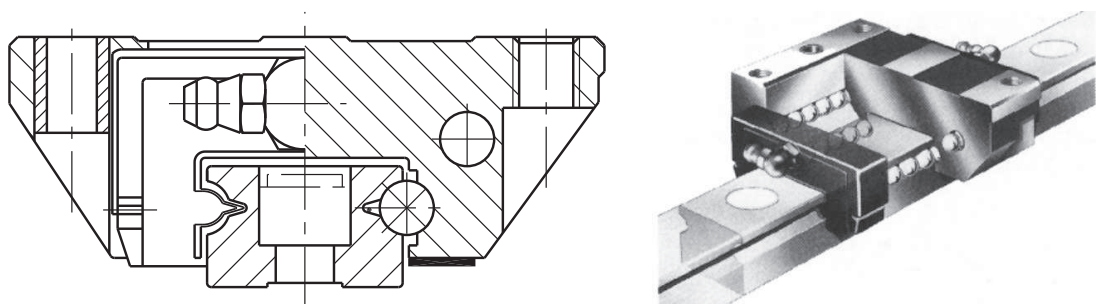


Figuur 9.20 Looprolgeleiding

De excentrische tappen waarop de lagers zijn gemonteerd, zorgen ervoor dat we de looprolgeleiding spelingvrij kunnen afstellen. Zie figuur 9.20b. Bij grotere geleidingsafstanden worden de loopwielen geleid door draagrails, bijvoorbeeld bij transport- en geleidingsbanen. Zie figuur 9.20c.

### 9.7 Kogel- en rollenomloopeenheden

Bij een kogelomloopsysteem geleiden we de kogels via een omloop terug naar het contactvlak. Zie figuur 9.21.

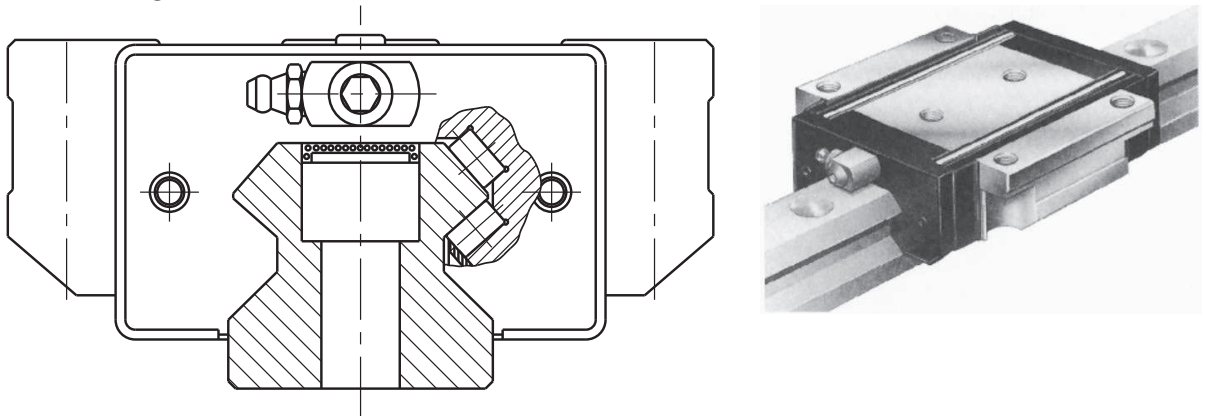


Figuur 9.21 Kogelomloopeenheid



Kogelomloopenheden monteren we spelingvrij. De kogellichamen zijn in alle dwarsrichtingen belastbaar. De leidwagens waarin het kogelomloopsysteem is aangebracht zijn rondom afgedicht. Ze kunnen zowel met olie als met vet worden gesmeerd. Door hun hoge precisie en compacte bouw hebben kogelomloopenheden een hoge kwaliteit. Leidwagens met een kogelomloopsysteem kunnen een lineaire snelheid bereiken van  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Ook bij rollenomloopenheden worden krachten opgenomen in alle richtingen. Zie figuur 9.22.

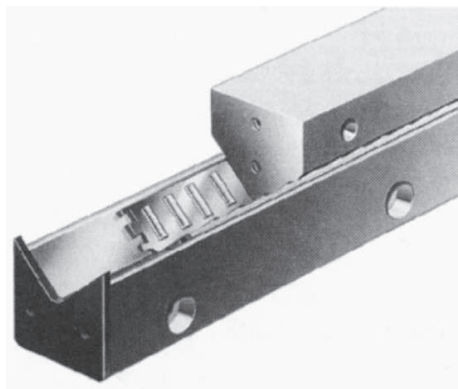


Figuur 9.22 Rollenomloopenheid

Doordat voor rollenomloopenheden cilindrische rollen worden gebruikt in plaats van kogels, is de belastbaarheid veel hoger dan bij kogelomloopsystemen. Rollenomloopenheden worden vooral gebruikt in langsgelidingen van gereedschapsmachines.

#### 9.7.4 Railgeleidingen

Railgeleidingen bestaan uit naalden of rollen die met strips of kooien in positie worden gehouden. Zie figuur 9.23.



Figuur 9.23 Naaldkooigeleiding

Door het grote aantal naalden of rollen zijn deze railgeleidingen hoog belastbaar. Ze hebben echter een beperkte slagengte.

Het montagevlak (machineframe) voor de montage van railgeleidingen moet een grote stijfheid en paralleliteit hebben. Dit moet vervorming tijdens het belasten tegengaan. Railgeleidingen worden meestal gesmeerd met olie en aangesloten op het smeersysteem van de machine of het werktuig. Ze worden vooral gebruikt bij zware belastingen en zeer hoge nauwkeurigheid.

In tabel 9.1 zie je een overzicht van de toepassingen en eigenschappen van diverse lineaire geleidingen.

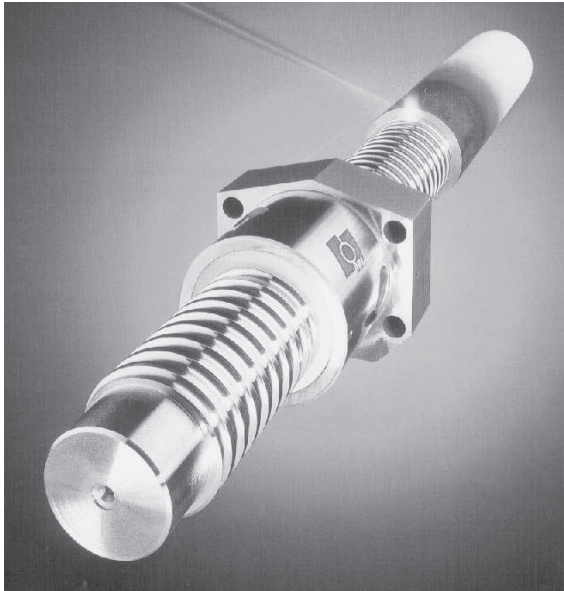
**TABEL 9.1 TOEPASSINGSGEBIEDEN EN RELATIEVE EIGENSCHAPPEN VAN DIVERSE LINEAIRE GELEIDINGEN**

	nauwkeurigheid	snelheid	stijfheid	belastbaarheid	wrijving	meetmachines	slijpmachines	erodeermachines	zware bewerkingscentra	lichte bewerkingscentra	freemachines	draaibanken	plaatbewerkingscentra	robots, manipulators	toevoersystemen	transportsystemen	persen/stansmachines	beschermingskappen	
naaldkooigeleiding	■			■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
rolblok		■		■															
rollenomschoen		■		■															
rollenomschoenen		■		■															
kogelomschoenen lichte uitv.		■		■															
kogelomschoenen zware uitv.		■		■															
looprol		■		■															
kogelbus (zelfinstellend)		■		■															
kogelbus		■		■															
glijlagerbus		■		■															
looprolgeleiding		■		■															



## 9.8 Lineaire aandrijvingen

Een lineaire aandrijving is een aandrijfelement dat een draaiende beweging van een spil omzet in een langs beweging van een moer. Zie figuur 9.24.



*Figuur 9.24 Kogelomloopspil*

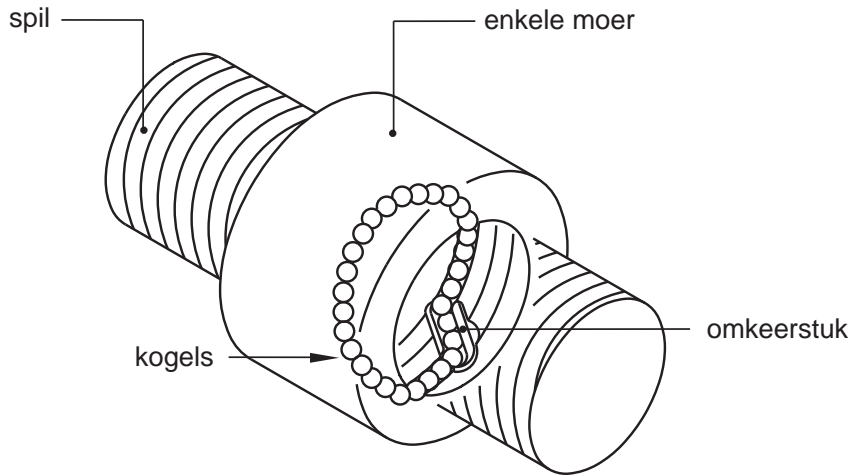
De belangrijkste functies van lineaire aandrijvingen zijn:

- overbrengen van krachten;
- transporteren;
- positioneren.

Lineaire aandrijvingen hebben een lage wrijvingscoëfficiënt en daardoor een vrij hoog rendement.

### 9.8.1 Kogelomloopspil

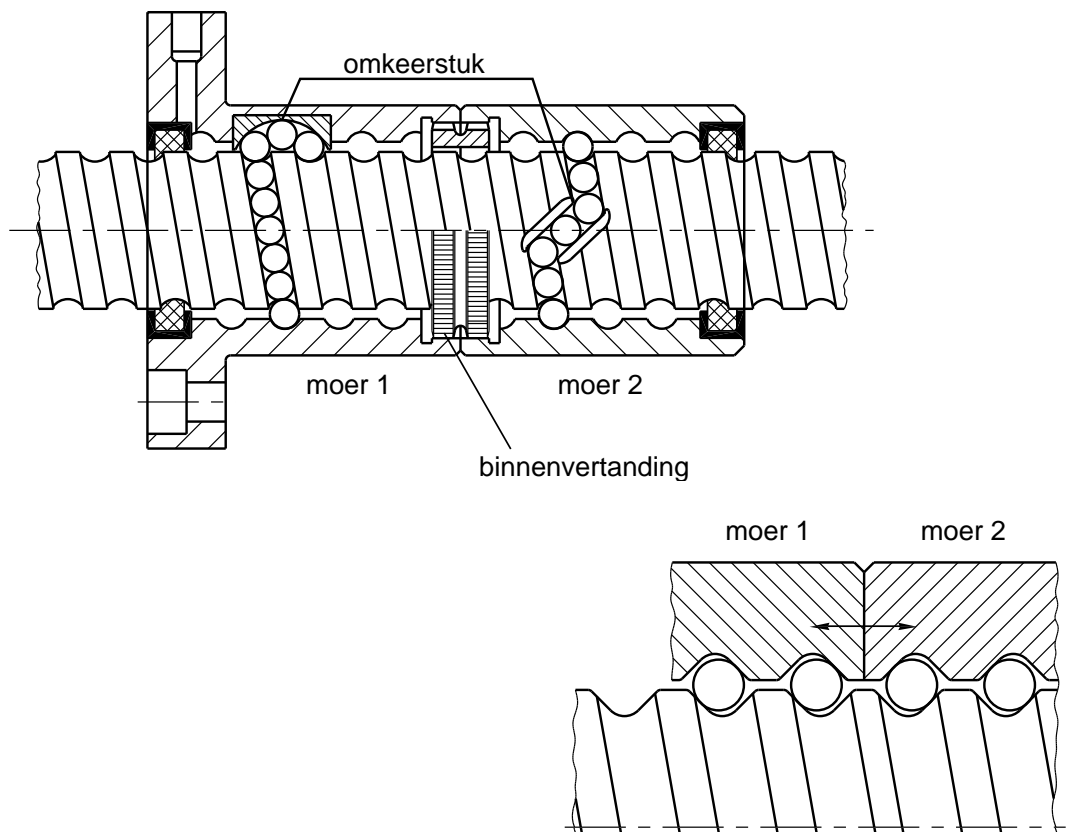
Bij een kogelomloopspil zorgt een intern gemonteerd omkeerstuk ervoor dat de kogels telkens naar een omloop van de moer of spil teruggeleid worden. Zie figuur 9.25.



Figuur 9.25 Onderdelen kogelomloopspil

De loopbaan van de kogels heeft een gebogen profiel. Zonder dat het tot blokkeren komt, wordt daarmee de axiale speling tussen de moer en spil klein gehouden.

Kogelomloopspillen met een dubbele moer worden voorgespannen. In elke moerhelft zitten een aantal kogels. Deze kogels worden tegengesteld gericht tegen de loopbaan in de spil aangedrukt. Zie figuur 9.26.

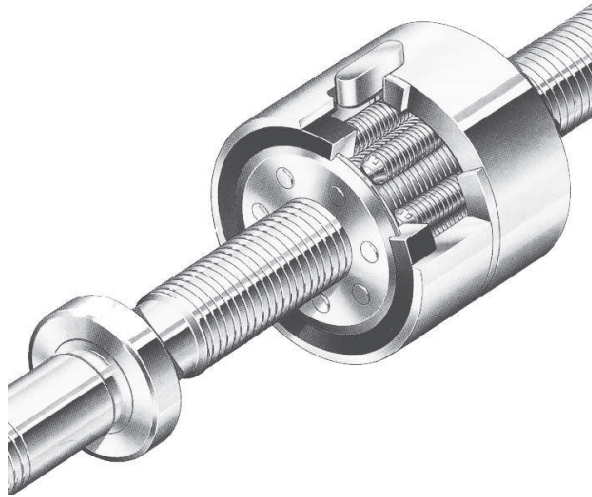


Figuur 9.26 Voorgespannen moeren van een kogelomloopspil

Een binnenvertanding verbindt beide moerhelften met elkaar. De moerhelften worden op een zodanige lengte geslepen, dat de speling tussen de loopbanen en de kogels praktisch opgeheven wordt.

### 9.8.2 Rollenloopspil

Een rollenloopspil bestaat uit een draadspil, een draadmoer en draadrollen die parallel aan de as zijn gemonteerd. Zie figuur 9.27.



*Figuur 9.27 Rollenloopspil*

Ten opzichte van de kogelomloopspil heeft een rollenloopspil de volgende voordelen:

- er is een grotere axiale belasting mogelijk;
- een rollenloopspil heeft een grotere stijfheid;
- er zijn hogere toerentallen mogelijk.

De draadmoer is gedeeld en ongedeeld leverbaar. De gedeelde moer wordt tijdens de montage voorgespannen. Rollenloopspillen zijn leverbaar in spilafmetingen tot ongeveer 250mm.

## 9.9 Kernpunten

Enkele mechanische variatoren zijn:

- de kogelvariator;
- de kegelvariator;
- de riemvariator;
- de schijfvariator.

De hydraulische variator is een combinatie van een hydromotor en een hydro-pomp.

Bij oscillerende bewegingen zetten we een roterende beweging om naar een heen en weergaande beweging.

Voorbeelden van mechanismen voor oscillerende bewegingen zijn:

- krukstangmechanismen;
- nokkenassen en curvenschijven.

De drijfshoek  $\beta$  bereken je met:  $\sin \beta = \frac{R}{l} \cdot \sin \alpha$

De tangentiële kracht  $F_t$  aan de kruk bereken je met:

$$F_t = F_d \cdot \sin (\alpha + \beta) = \frac{F_z}{\cos \beta} \cdot \sin (\alpha + \beta)$$

Het draaimoment van de kruk bereken je met:  $M_d = F_t \cdot R$

Het benodigde vermogen aan de kruk bereken je met:  $P = M_d \cdot 2\pi \cdot n$

Het Maltezer kruismechanisme en het Rotoblock zijn voorbeelden van mechanismen voor intermitterende bewegingen.

Voor lineaire geleidingen gebruiken we:

- kogelbusgeleidingen;
- looprolgeleidingen;
- kogel- en rollenomeenheden;
- railgeleidingen.

Lineaire aandrijvingen dienen voor het overbrengen van krachten, het transporteren en het positioneren. We kunnen dit doen met een kogelomloopspil of een rollenomloopspil.