



Technische beschrijving aandrijven



1. Algemene beschrijving p. 2**2. Opbouw, functie, eigenschappen** p. 3

- 2.1 Opbouw en functie
- 2.2 Voorspanning
- 2.3 Toekenning van as- en kogeldiameter
- 2.4 Wrijvingscoëfficiënt

3. Aanwijzingen voor de constructie en inbouw p. 5

- 3.1 Belangrijke aanwijzingen voor de constructie
- 3.2 Bevestiging van de geleidebus
- 3.3 Bevestiging van de geleideas
- 3.4 Inbouw van de kogelkooi
- 3.5 Specials

4. Onderhoud en levensduur p. 9

- 4.1 Smering
- 4.2 Droogloop
- 4.3 Slijtage
- 4.4 Onderhoudsintervallen
- 4.5 Levensduur

5. Berekening van de kogelgeleiding p. 10

- 5.1 Slaglengte en aangrijpingstrajecten
- 5.2 Draagkracht bij een radiale belasting
- 5.3 Specifieke draaggetal C_{10}
- 5.4 Toelaatbare versnellingen van de lineaire beweging
- 5.5 Toelaatbare toerentallen voor de kogelkooi

6. Bijlage p. 18

- 6.1 Tekens
- 6.2 Internationale maateenheden en materiaalaanduidingen

1. Algemene beschrijving

De hoognauwkeurige kogelgeleiding heeft zich in de laatste decennia niet alleen in stansmachines bewezen maar ook in de machine- en apparatenbouw, in de fijnmechanica en optica en op vele specialistische gebieden met nauwkeurige lineaire en roterende bewegingen.

In de loop van deze ontwikkeling ontstonden er rekenmodellen die op een lange ervaring gebaseerd zijn en in samenwerking met verschillende technische hogescholen bewezen zijn. Deze kennis dient de constructeur om de kogelgeleiding voor een toepassing te optimaliseren. Het resultaat onderscheidt zich door een zeer nauwkeurige geleiding, hoge bedrijfszekerheid en lange levensduur.

De nauwkeurigheid waarmee de kogelgeleidingen worden geproduceerd, garandeert de gebruiker de uitwisselbaarheid van de componenten. Op deze manier worden de hoognauwkeurige kogelgeleiding bij de machine- en constructie-elementen gerekend.

Kenmerken

De belangrijkste kenmerken van hoognauwkeurige kogelgeleidingen zijn:

Uitermate nauwkeurige geleiding

De hoognauwkeurige kogelgeleiding biedt een zeer nauwkeurige geleiding voor zowel lineaire en ook voor roterende bewegingen. Dit wordt bereikt door zeer fijn bewerkte loopvlakken van de as en de bus waarvan de nauwkeurigheid, wat betreft de rondheid en cilindriciteit, binnen 1/3 van de ISO-tolerantieklasse IT 3 ligt, evenals door het gebruik van stalen kogels die uitsluitend van kwaliteitsklasse Grade 5, type P0 volgens DIN 5401 resp. ISO 3290 zijn.

Spelingsvrije geleiding

De onder een voorspanning enkele μm tussen as en bus afrollende kogels garanderen dat de geleiding spelingsvrij is. De optimale voorspanning wordt al in de fabriek ingesteld door het paren van de as, kogelkooi en bus. Daardoor is de montage eenvoudiger.

Soepele loop

De hoognauwkeurige kogelgeleiding maakt een zeer nauwkeurige geleiding samen met een extreem geringe wrijving mogelijk. Een zuivere afrolbeweging van de kogels op zeer fijn bewerkte oppervlakken leidt tot wrijvingwaardes tussen 0,001 en 0,008 en garandeert soepele loopeigenschappen.

Hoge belastbaarheid en geleidingstijfheid

Door de dichte kogelschikking en de hoge vorm- en maatnauwkeurigheid van de hoognauwkeurige kogelgeleiding wordt een groot aantal draagpunten en daarmee een gelijkmatige verdeling van de krachten in de geleiding gerealiseerd. De constructeur kan de aanwezige constructieruimte optimaal benutten. De bedrijfszekerheid van de geleiding wordt aanzienlijk verhoogd.

Snelle bewegingen, grote versnellingen

Door het krachtige afrolproces bij de laagste wrijvingswaarden zijn snelle bewegingen met grote versnellingen mogelijk. Kunststof kooien zijn vanwege hun geringe massa zeer geschikt voor hoogfrequente lineaire en roterende bewegingen.

Lange levensduur

Door een zorgvuldige materiaalkeuze, warmte behandeling en de in de hoogste kwaliteitsklasse geproduceerde loopvlakken kan de MarMotion hoognauwkeurige kogelgeleiding nagenoeg onverslijtbaar genoemd worden.

Minimaal onderhoud

Een dunne film van kogellagervet is in de meeste gevallen voldoende voor maandenlang continubedrijf. Het onderhoud tijdens gebruik is minimaal.

Uitwisselbaarheid

Bij alle losse delen is door de zeer nauwkeurige productie van as en bus, het gebruik van stalen kogels met uitsluitend kwaliteitsklasse P0 en een continue kwaliteitsbewaking de uitwisselbaarheid gegarandeerd. Hierdoor is langdurige probleemloos gebruik gewaarborgd.

Specials

De zeer omvangrijke catalogus van de hoognauwkeurige kogelgeleidingen biedt passende oplossingen voor vele toepassingsgebieden. Bovendien kunnen voor speciale toepassingen resp. bijzondere eisen specials volgens tekening gemaakt worden. Andere mogelijkheden ontstaan door het gebruik van andere materialen.

2. Opbouw, functie, eigenschappen

2.1 Opbouw en functie

Hoog nauwkeurige kogelgeleidingen bestaan uit de cilindrische geleidings-elementen bus en as evenals stalen kogels als rolmedium die in een messing of kunststof buis opgesloten zitten maar soepel kunnen draaien. Geleideas, kogels en geleidingsbus zijn gehard en zeer fijn bewerkt. De structuur is door een zorgvuldige warmtebehandeling gestabiliseerd. De kogels rollen met een voorspanning maar met soepele loopeigenschappen tussen bus en as. Lineaire en roterende bewegingen en gecombineerde bewegingen zijn mogelijk. Doordat de kogels kracht-gesloten tussen de as en de bus bewegen, volgt de kooi dwangmatig de wetten van de kinematica.

2.2 Voorspanning

De exact ingestelde voorspanning is een vereiste voor probleemloos functioneren. De voorspanning wordt door de productietoleranties doelbewust geproduceerd en gedefinieerd. De voorspanning (v) is het verschil tussen de maat van twee tegenover elkaar liggende kogels die de as raken en de binnendiameter van de geleidingsbus $D1$.

Maatvoering van de voorspanning

Voor de meeste toepassingen raden wij voorspanningen uit onderstaande tabel aan. De waarden zijn gebaseerd op theoretische kennis en ervaring.

Voorspanningswaarden

D	v (µm)	D (mm)	v (µm)
2,5/3	0,5 - 2	14/ 25	4 - 7
4/ 5	1 - 3	30/ 42	4 - 8
6/ 8	2 - 4	50/ 63	6 - 10

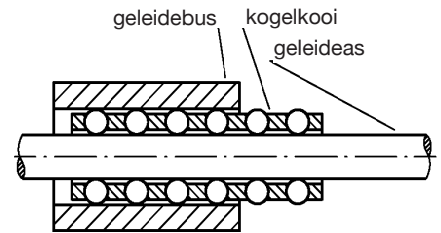
Met deze voorspanningswaarden krijgt de kogelgeleiding een grote stijfheid gecombineerd met soepele loopeigenschappen. Bij bestelling van complete kogelgeleidingen, bestaand uit geleideas, kogelkooi en geleidebus, worden de componenten reeds in de fabriek gepaard. Daardoor is een gelijkmatige, optimale voorspanning gegarandeerd. Door de strooibreedte van de productie-toleranties (IT 3) kunnen door het willekeurig paren van assen, kogelkooien en bussen ongunstige, van de tabel afwijkende voorspanningen ontstaan. Kogelkooien uit de Mini-serie moeten altijd gepaard worden besteld.

Belang van de voorspanning

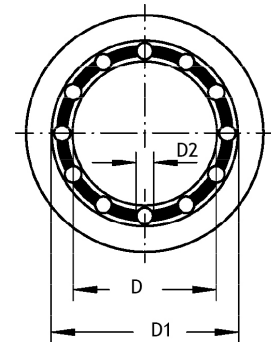
De voorspanning garandeert het absoluut spelingsvrij zijn van de hoognauwkeurige kogelgeleidingen. Voor toepassingen met bijzondere voorwaarden kan de gewenste voorspanning bij de bestelling worden aangegeven.

Een kleine voorspanning maakt een zeer soepele gang van de kogelgeleiding mogelijk, echter hierdoor wordt de stijfheid begrensd. Met een grotere voorspanning neemt de belastbaarheid en de stijfheid toe. Een zeer grote voorspanning leidt tot afname van de soepele loopeigenschappen.

Door een te hoge voorspanning wordt de loop ruw en zwaar. De kogelgeleiding kan door een te grote oppervlaktedruk overbelast raken. Door de nauwkeurige productietoleranties wordt dit voorkomen. De geleidebus mag daarom niet in de opnameboring gerperst of met drukschroeven geborgd worden.



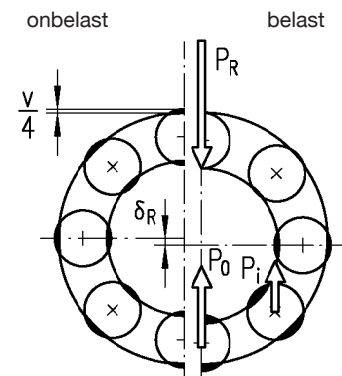
Afb. 1



$$v = D + 2 \cdot D2 - D1 \text{ (mm)}$$

$$D1 = D + 2 \cdot D2 - v \text{ (mm)}$$

Afb.2



Geleidebus, vaststaand
 P_R = radiale kracht op de as werkend
 P_0 = kracht op de tegenover liggende kogel
 P_i = kracht op een kogel buiten het centrum van de kracht
 δ_R = radiale verschuiving tussen de middellijn van de bus en de as
 V = voorspanning

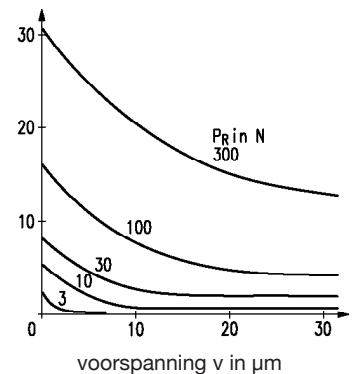
Afb.3

2. Opbouw, functie, eigenschappen

Optimale voorspanning

Wordt de kogelgeleiding radiaal met een kracht P_R belast, dan treedt een verschuiving met de waarde δ_R van de assen van de geleidebus en de as op. De toelaatbare waarde δ_R is afhankelijk van de aanwezige voorspanning v waarvan de optimale maatvoering wordt berekend met inachtneming van de levensduur, loopeigenschappen en geleidingsstijfheid.

Het diagram (afb. 4) laat de roterende verschuiving van het middelpunt van een kogelgeleiding zien in samenhang met de voorspanning en de radiale last. Bij een bepaalde radiale kracht is de verschuiving van het middelpunt bij een kleine voorspanning relatief groot: de geleiding is zacht. In het bereik van grotere voorspanningen is de verschuiving van het middelpunt met dezelfde radiale kracht duidelijk geringer: de geleiding is hard. Met inachtneming van de Hertz'sche persing, de productietoleranties en de vervormingen van de componenten bij het inbouwen en het gebruik van de kogelgeleiding en die van de gunstigste veeringsverhoudingen van de kogelgeleiding, werd aan het berekeningsmodel de formule $\delta_R = 0,5 \cdot v$ toegevoegd. Daarmee wordt aan de eis »hoognauwkeurig« tegemoet gekomen. Voor de aangegeven »specifieke draaggetallen« C_{10} is aan deze voorwaarde voldaan.



Afb. 4

2.3 Toekenning van as- en kogeldiameter

Uit de wetten van de rollende wrijving is bekend dat de kogeldiameter k invloed heeft op de grootte van de wrijving. Een grotere kogel rolt lichter dan een kleine. Aan de andere kant geven meerdere kleinere kogels een betere demping van trillingen dan enkele grote kogels. Daarom en vanwege de vaak beperkte inbouwruimte wordt aan een kleinere kogel veelal de voorkeur gegeven. Bovendien heeft de kogeldiameter nauwelijks invloed op de loopeigenschappen bij een geringe ruwheid en een hoge geometrische vormnauwkeurigheid van de walscomponenten. Voor de hoognauwkeurige kogelgeleidingen werd de verhouding van as- en kogeldiameter en het aantal kogels op basis van uitgebreid onderzoek volgens optimale maatstaven vastgelegd.

2.4 Wrijvingscoëfficiënt μ

De wrijvingscoëfficiënten μ gelden voor aanloop en beweging.

Beïnvloedingsfactoren:

- Oppervlaktegesteldheid van de walselementen
- Hoogte van de voorspanning en belasting
- Aantal kogels
- Wrijving van de kooi

Hoognauwkeurige kogelgeleidingen lopen stick-slip-vrij. Bij een radiale belasting gelden de volgende wrijvingscoëfficiënten:

hoog $\mu = 0,001-0,002$

middel $\mu = 0,003-0,004$

laag $\mu = 0,005-0,008$

De rolweerstand van een kogelgeleiding ontstaat door een interne belasting van de voorspanning en de inwerking van externe radiale krachten. Bij een geringe radiale belasting overheerst het aandeel uit voorspanning en kooiwrijving. Daardoor stijgt de wrijvingscoëfficiënt μ bij een vermindering van de radiale belasting. Bij een kleine radiale last en vraag naar extreem lichte loopeigenschappen wordt daarom met een kleine voorspanning gewerkt.

3. Aanwijzingen voor de constructie en bouw

3.1 Belangrijke aanwijzingen voor de constructie

Zoals hiervoor beschreven werd, is de voorspanning v een belangrijk criterium voor de functionaliteit van de hoognauwkeurige kogelgeleiding. De belastbaarheid en de soepele loopeigenschappen zijn afhankelijk van de voorspanning, bij het overschrijden van de aanbevolen waarden ook de levensduur.

Voor het inbouwen moeten onderstaande aanwijzingen in acht genomen worden:

- Kogelgeleiding meer met een radiale kracht belasten dan met een moment om plaatselijke overbelasting van de kogels te vermijden.
- Bij grote momenten meerdere geleidingszones met een tussenruimte achter elkaar maken.
- Indien noodzakelijk, de gemeenschappelijke draagbuis voorzien van aanschroefflenzen.
- De aandrijfkraft zoveel mogelijk in het centrum van het geleidingsvlak laten aangrijpen (zie ook hoofdstuk 5.2)
- Stootbelastingen vermijden. Stoten kunnen zelfs op de geharde loopvlakken kogelafdrukken achterlaten.

3.2 Bevestiging van de geleidebus

Inpersen vermijden!

Door het inpersen wordt de met zeer hoge nauwkeurigheid geproduceerde binnendiameter D1 van de geleiding vervormd. De bus past zich aan de opnameboring aan. Vervorming en een verhoogde voorspanning zijn het gevolg. Het functioneren van de kogelgeleiding wordt in ieder geval negatief beïnvloed. Om dezelfde redenen zijn ook klemverbindingen en drukschroeven niet geschikt.

De tolerantie van de buitendiameters D2 van de Mparts geleidebussen komt overeen met ISO-n4 (resp. ISO-h6 voor type DE18). De tolerantie van de opnameboring moet zo gekozen worden dat inpersen wordt vermeden.

Wij adviseren u het volgende:

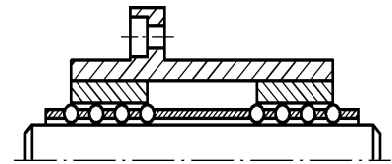
- Mechanisch bevestigen met flens, borgplaten, Seegerringen, of vergelijkbaar.
- Lijmen met 1 of 2 componentenlijm welke in de handel verkrijgbaar is. Daarbij moeten de lijmvoorschriften van de producent betreffende lijmspleet, hardingstijd, enz. in acht worden genomen. De ervaring heeft geleerd dat een langzaam uit hardende lijm van voordeel is.
- Wanddikte van de bus niet te dun uitvoeren. Dunwandige bussen zijn moeilijk te produceren en vervormen gemakkelijk bij de montage. Richtwaarde voor de wanddikte: binnendiameter D1 · 0,1.
- De noodzakelijke wanddikte wordt mede door de wijze van bevestiging bepaald.

Inbouw met afdichting

Inbouw met afdichting is noodzakelijk indien sterke vervuiling en in het bijzonder in de vorm van schurende stoffen niet uit te sluiten is of indien zeer hoge eisen worden gesteld aan de soepele loopeigenschappen, rustige loop of de levensduur.

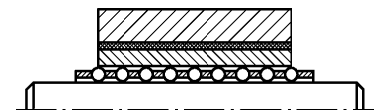
Afdichtingsmogelijkheden:

- Dichtringen (zie type DE19)
- Schraapringsen (zie type DE18)
- Vouwbalgen (zie type xxx)



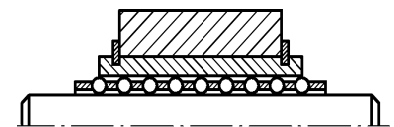
Gescheiden kogelzones

Afb. 5



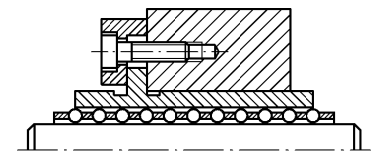
Lijmspleet

Afb. 6



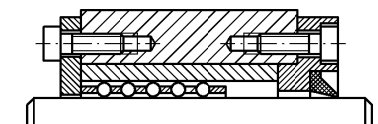
Seegerring

Afb. 7



Flens met borgplaat

Afb. 8



Afsluitdeksel dichtringen, schraapringsen

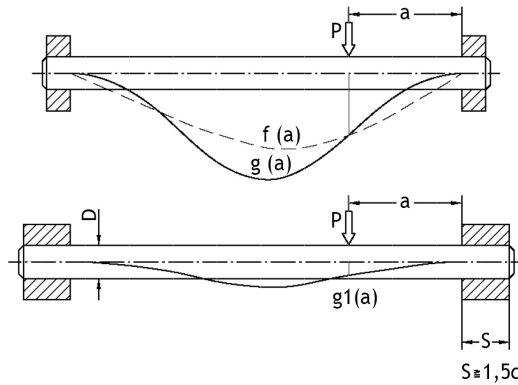
Afb. 9

3. Aanwijzingen voor de constructie en bouw

3.3 Bevestiging van de geleideas

De geleideas kan in tegenstelling tot de geleidebus geklemd of ingeperst worden. Een radiaal belaste kogelgeleiding ondergaat elastische vervormingen aan de walsvlakken en ook aan de geleideas. De manier van inspanning van de geleideas is van grote invloed op de stijfheid van de geleideas. Bij een relatief hoge belasting, grote aslengtes en vraag naar een hoge geleidingsnauwkeurigheid over de gehele slaglengte moet minimaal één van de houders met een inspanlengte $s \geq 1,5 \cdot d_w$ worden uitgevoerd. Bij eenzijdige inspanning het lastzwaartepunt zoveel mogelijk bij de inspanzijde leggen.

Dragers »op twee steunen« (losse oplegging)
 f(a) Doorbuiging bij krachtaangrijpingspunt A
 g(a) buiglijn



Ingespannen drager

Afb. 10

Inpersen

Opnameboring, bijv. ISO-R6, maken. De afwijking van twee parallel liggende assen mag niet groter zijn dan de waarde van de voorspanning.

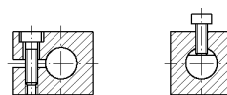
Klemmen in opneemboring bijv. ISO-H6

- Indirect met een sleuf en spanbout.
- Direct met een drukschroef. Daarvoor de aseinden iets afvlakken, aanboren of afdraaien voor borging in de langsrichting.

Klemmen in een prisma

- met klemstuk
- met spanbout

Klemmen in een opneemboring



Klemmen in een prisma



Afb. 11

Lijmen

Om spanningen op de as en kogelgeleiding bij slecht uitgelijnde opneemboringen te vermijden, kunnen de opneemboringen voor de as met een passingtolerantie gemaakt worden, bijv. ISO F7-H7. De as vervolgens bij de eindmontage samen met de kogelgeleiding verlijmen en uitgelijnd laten uitharden. De voorschriften van de lijmproducent betreffende de lijmspleet, uithardingstijd, enz. moeten in acht worden genomen.

3. Aanwijzingen voor de constructie en inbouw

3.4 Inbouw van de kogelkooi

Indien kogelkooien samen met open geleidebussen toegepast worden, moet de kogelkooi samen met de geleideas in de bus inlopen. Omdat een ondermaat aanwezig is (voorspanning), is dit de enige manier die het glijden van de kogels tussen de bus en de as voorkomt.

Bij kogelgeleidingen met gesloten geleidebussen moet de geleideas tegen de voorspanningsdruk worden ingevoerd. Om afvlakken van de kogels te vermijden, is smering met vet noodzakelijk.

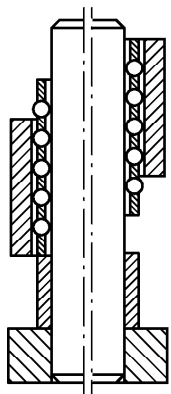
Vooraf bij grotere kogelkooien moet erop gelet worden dat tijdens de montage de kooi in de geleidebus wordt gecentreerd.

Slagbegrenzungen voor de kogelkooi

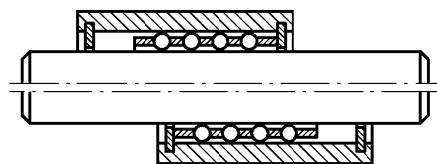
Ondanks een goede geleiding kan de stand van de kogelkooi in de lengterichting veranderen. In kogelgeleidingen met een open geleidebus moet de slag van de kooi dusdanig begrensd worden dat de kogelkooi niet uit de geleiding kan schuiven. Dit is mogelijk met een vaste of verende aanslag.

- Aanslagbus die los over de as wordt geschoven en de kooi bij het omkeren van de slagrichting tegenhoudt.
- Klembus die op iedere gewenste plaats op de as gefixeerd kan worden.
- Seegerringen die de gedefinieerde weg begrenzen.
- Drukveren.

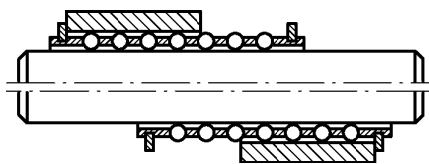
Vaste aanslagen



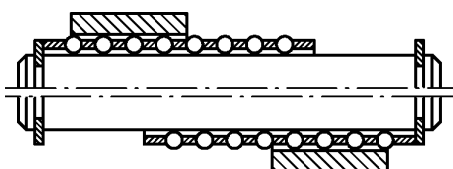
aanslagbus
Afb. 12



borgringen in de bus
Afb. 14

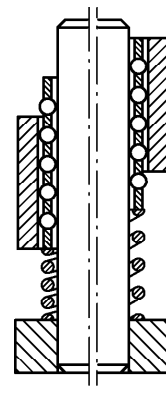


borgringen op de kogelkooi
Afb. 15

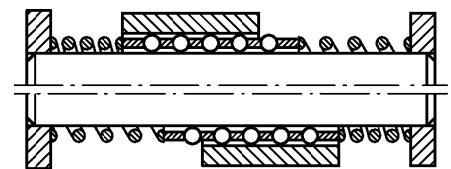


borgringen op de as
Afb. 13

Verende aanslagen



drukveer aan 1 zijde
Afb. 16



drukveren aan beide zijden
Afb. 17

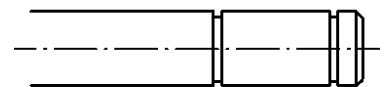
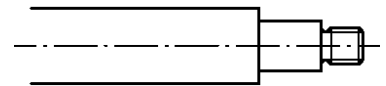
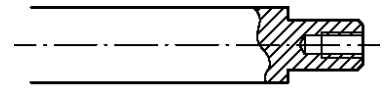
3. Aanwijzingen voor de constructie en inbouw

3.5 Specials

Afwijkend van standaard maten kunnen alle geleidingselementen aan uw wensen worden aangepast en volgens tekening worden geproduceerd.

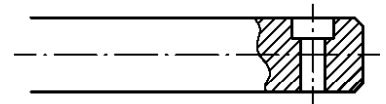
Voorbeelden voor de geleideas:

- Geleideassen met speciale lengtes
- Schroefdraad aan de binnenzijde
- Borst met schroefdraad aan binnen- of buitenzijde
- Groeven voor Seegerringen
- Borst voor klemming aan de bovenzijde
- Dwarsboring voor het monteren van een prisma
- Geleideassen van roestvast kogellagerstaal 1.4112



Voorbeelden geleidebus:

- Van de standaard afwijkende maten D1, D2, L
- Met groeven voor de bevestiging van Seegerringen
- Met een flens voor een eenzijdige axiale bevestiging
- Van roestvrij kogellagerstaal 1.4112



Afb. 18

Voorbeelden kogelkooien:

- Kogelkooien met afwijkende maten D, L, D2
- Kogelkooien met meer kogels voor zeer hoge belastingen
- Kogelkooien met kogels van roestvast kogellagerstaal 1.4112 of andere materialen.

4. Onderhoud en levensduur

Hoog nauwkeurige kogelgeleidingen zijn nagenoeg onderhoudsvrij. Ze worden met een corrosiewerende laag geleverd. Deze kan met oliehoudende reinigingsmiddelen worden afgewassen. Daarna is de kogelgeleiding klaar voor gebruik.

4.1 Smering

In principe gelden dezelfde voorschriften als bij kogellagers. Een dunne smeerfilm is, afhankelijk van de belasting, voldoende voor langdurig gebruik. De tegenwoordig in de handel verkrijgbare kogellagersmeermiddelen - alleen deze mogen worden toegepast - hebben alle eigenschappen om een storingsvrij gebruik van de kogelgeleiding te garanderen. Kogellagersmeermiddelen hebben een goede consistentie, zijn chemisch neutraal, niet harsend en vrij van schurende stoffen. Toevoegingen in de smeerstoffen dienen volgens de gebruiksvoorwaarden (temperatuur, druk, toerental, corrosie, enz.) gekozen te worden. Vetten en oliën zijn in principe gelijkwaardig. Er dient op gelet te worden dat maar een heel klein beetje van vetten toegepast mag worden om temperatuurontwikkeling door klontering te voorkomen. Bij voorkeur gebruikt u vetten voor een levensduursmering. Eventueel aanwezige centrale smerinstallaties kunnen uiteraard ook voor kogelgeleidingen worden gebruikt.

4.2 Droogloop

Er zijn toepassingen bekend waarbij smeren verboden is, zoals in de levensmiddel- of textielindustrie of bij gebruik in hoogvacuüm. Uitgaande van een geringe belasting is de hoog nauwkeurige kogelgeleiding vanwege het nauwkeurige productieproces ook geschikt voor drooglopen. Uitvoeringen van niet roestend kogellagerstaal 1.4112 (specials) hebben hier voordelen.

4.3 Slijtage

De slijtage van kogelgeleidingen is bij het naleven van de onderhoudsinstructies zo gering dat hij te verwaarlozen is. Treden er desondanks slijtageverschijnselen op, bijvoorbeeld in de vorm van duidelijk zichtbare loopsporen, kunnen deze de volgende oorzaken hebben.

- De geleiding is met schurende of abrasieve stoffen vervuild.
- Door condenswater corroderen de contactplaatsen tussen de kogel, as en bus.
- Grote momenten leiden tot een gedeeltelijke overbelasting. Bij snelle lineaire bewegingen of hoge toerentallen kan het boven

4.4 Onderhoudsintervallen

Bij open of gedeeltelijk gesloten kogelgeleidingen heeft regelmatig reinigen en aansluitend invetten voordelen. Het verbetert de eigenschappen en levensduur van de kogelgeleiding.

4.5 Levensduur

Hoog nauwkeurige kogelgeleidingen zijn voorgespannen walslagers. Daarom gelden dezelfde natuurkundige wetten als bij kogellagers.

Levensduur van walslagers

De rekenkundige levensduur van een walslager is het aantal bedrijfsuren dat 90% van vergelijkbare lagers onder dezelfde bedrijfsvoorwaarden minimaal bereiken, maar voor een deel ook wezenlijk overschrijden terwijl 10% eerder onbruikbaar worden. Dientengevolge is de levensduur een waarschijnlijkheidswaarde.

Levensduur van hoog nauwkeurige kogelgeleidingen

De in deze catalogus genoemde draaggetallen C_{10} werden uit het oogpunt van een zeer nauwkeurige geleiding vastgesteld. Ze zijn niet de belastbaarheidsgrenzen. Onder de voorwaarde dat de kogelgeleiding absoluut vrij van vervuilingen blijft en een geschikte smering gegarandeerd is, kan men van een bijna onbegrensde levensduur uitgaan. Daarbij mag de hoogst belaste kogelzone met niet meer dan $P_{10} \leq C_{10}$ worden belast. De zekerheid stijgt in de mate waarmee het draaggetal C_{10} groter is dan de met P_{10} meest belaste kogelzone.

5. Berekening van de kogelgeleiding

Deze rekenvoorbeelden maken het de constructeur mogelijk voor een specifieke constructie de juiste kogelgeleiding te bepalen. De berekening van de kogelgeleidingen gaat in principe van de voor kogellagers geldende natuurkundige wetten uit. De vorm is wezenlijk anders omdat bij kogelgeleidingen de beweging met 2 vrijheidsgraden kan verlopen en daardoor de langsafmetingen en de versnellingen meegeteld moeten worden. Bovendien zijn de contactvlakken wezenlijk anders dan bij de meeste kogellagers. Wanneer een geschikte kogelgeleiding bepaald moet worden, zijn de volgende kenmerken en eigenschappen van belang:

- geen speling
- geleidingsnauwkeurigheid
- soepele loopeigenschappen
- draagkracht
- lineaire en roterende frequentie
- levensduur
- hoofdafmetingen

Te bepalen grootten zijn:

- asdiameter D
- buslengte L₁
- kooilengte L

Uit de nominale maat D en het kooitype ontstaat het specifieke draaggetal C₁₀. De lengten van de geleidebus en de kogelkooi bepalen het aangrijpingstraject van de kogelgeleiding. Uit deze waarden ontstaat de draagkracht van de kogelgeleiding in de toepassing.

5.1 Slaglengte en aangrijpingstrajecten

De lengte waaroverd de kogelgeleiding draagt wordt bepaald door de onderlinge positie van de geleidebus, kogelkooi en geleideas aan het einde van de slag. Het samenspel van de lengten l_{bus} en l_{kooi} tijdens de lineaire bewegingen bepaalt verschillende toepassingsmogelijkheden.

Open kogelgeleiding (zie afb. 19)
 Kooilengte L gelijk of groter dan de buslengte L.
 Slaglengte: $H = 2 (l_{kooi} - l_{bus})$

Gesloten kogelgeleiding (zie afb. 20)
 Buslengte l₃ groter dan kooilengte l₂, de kogelkooi blijft in de bus.
 Slaglengte: $H = 2 (l_{bus} - l_{kooi})$

Voor beide toepassingsmogelijkheden is het streven over de totale slag (in iedere stand) een gelijkblijvend aangrijpingstraject E te behouden. Bij gesloten kogelgeleidingen is dit altijd het geval. Bij open kogelgeleidingen dient de kopse kant van de bus aan het einde van de slag gelijk te liggen aan die van de de kooi. Indien de bus voorbij het kooi-einde loopt, verkleint het aangrijpingstraject en daarmee de draagkracht van de kogelgeleiding.

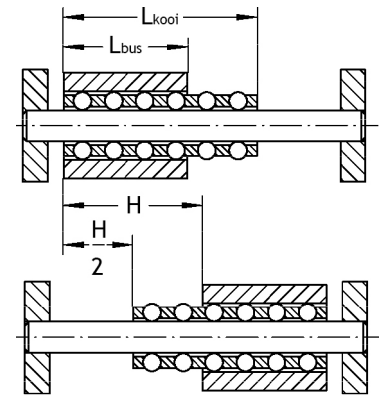
Het kleinste toelaatbare kogelaangrijpingstraject E moet door berekening van de draagkracht worden bepaald. De draaggetallen van de kogelkooien kunnen daarbij als richtwaarden worden aangenomen.

Aangrijpingstraject e

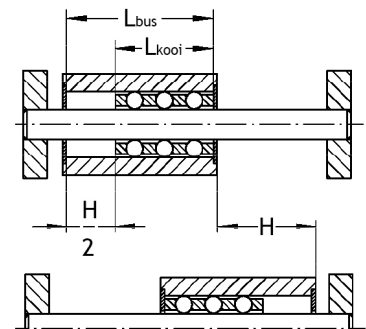
Voor de berekening van een kogelgeleiding is het noodzakelijk het aangrijptraject e = kogelaangrijpingstraject bij een ongunstige lastverdeling te bepalen. (zie afb. 23 en 24)

Bij minimale belasting

Voor kogelgeleidingen met een nauwkeurige geleiding zonder wezenlijke belasting worden in verhouding met D de volgende waarden E aangeraden: zie tabel in afb. 21.



Afb. 19



Afb. 20

D (mm)	E (mm)		DD14
	DD15-16 <small>(kunststof)</small>	DD15 <small>(messing)</small>	
3	-	-	5
4 - 5	-	10	8
6 - 8	-	12	10
10 - 12	-	15	12
14 - 16	-	18	15
18 - 20	-	18	15
25	12	20	-
32 - 40	15	22	-
50 - 63	-	30	-

Afb. 21

5. Berekening van de kogelgeleiding

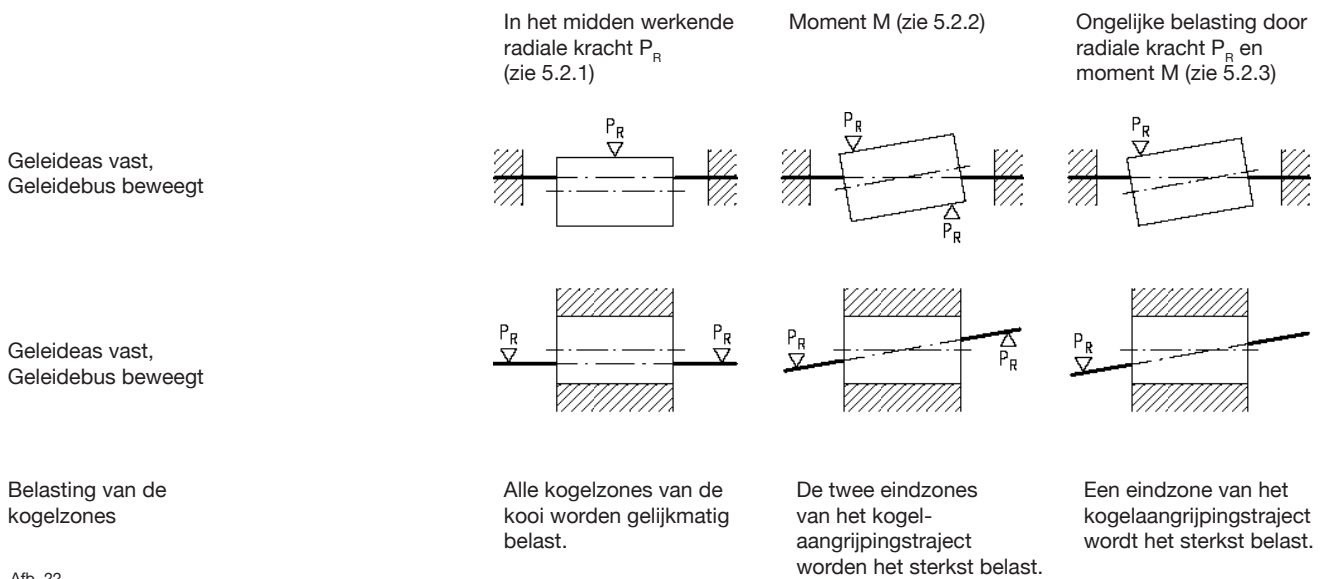
5.2 Draagkracht bij een roterende belasting

De radiale belasting van een kogelgeleiding wordt bepaald door de plaats van het aangrijpingspunt van de radiale kracht P_R ten opzichte van het midden van het kogelaangrijpingspunt e .

De radiale kracht P_R kan ook het resultaat van meerdere krachten zijn. Afhankelijk van het krachtaangrijpingspunt ontstaan de in het overzicht weergegeven vormen van de radiale belasting.

Het overzicht houdt rekening met de kanteling van de kogelgeleiding onder belasting welke wordt bepaald door de elastische vervorming van de kogels en de walsvlakken van de geleidebus en de geleideas. De middellijnen van de geleidebus en de geleideas worden als star gezien. De doorbuiging van de as moet daarom nog meegerekend worden.

Belasting van de kogelgeleiding



Afb. 22

De statische radiale belasting kan op verschillende manieren voorkomen.

1. De radiale belasting is constant en gelijkmatig verdeeld en komt overeen met een in het midden aangrijpende radiale kracht P_R .
2. De radiale belasting is over de lengte ongelijkmatig verdeeld. In bijzondere gevallen bestaat hij uit een zuiver moment M .

Bij de diverse soorten radiale belasting worden de kogelzones verschillend belast. De berekening van de draagkracht is gebaseerd op de hoogste radiale kracht P_{10} werkend op een 10 mm lange kogelzone. Voor de verschillende vormen van de statische radiale belasting worden onderstaand de verhoudingen tussen de uiterste belasting P_R resp. M en deze specifieke radiaalkracht P_{10} aangegeven.

De elastische vervorming van de kogelzones veroorzaakt een verschuiving van de middellijn van de kogelgeleiding. In overeenstemming met de belasting is ook de elastische vervorming van de kogelzones verschillend. Bij een specifieke radiaalkracht P_{10} wordt de radiale verschuiving van de middellijn van de hoogst belaste 10 mm kogelzone gedefinieerd als specifieke verschuiving A_{10} . Hiermee is de te verwachten verschuiving van de as op het krachtaangrijpingspunt A te berekenen.

5.2.1 Gelijkmatige constante roterende belasting

Het radiale krachtaandeel van iedere 10 mm lange kogelzone bedraagt: $P_{10} = \frac{P_R}{e} \cdot 10$ [N] P_R in N,
kogelaangrijpingstraject e in mm

De te verwachten parallelle verschuiving van de as bedraagt: $A_{10} = P_{10} \cdot R_{10}$ [μm] P_{10} in N, R_{10} in $\mu\text{m}/\text{N}$
uit de tabel afb. 27 resp. 28.

5. Berekening van de kogelgeleiding

5.2.2 Roterende belasting als zuiver moment

De eindzones van het kogelaangrijpingstraject e worden zowel bij enkele als ook bij twee-delige kogelgeleidingen het sterkst belast.

Moment $M = P_R \cdot l$ [Nm]
 P_R in N, l in m

Specifieke roterende kracht

$P_{10} = g \cdot M$ [N]
 g in m^{-1}

De factor g wordt uit het diagram in afb. 25 genomen. Bij een enkelvoudig kogelaangrijpingstraject geldt $l_i = 0$.

De te verwachten verschuiving van het aangrijpingspunt van de radiale kracht P_R :

Verschuiving $A = \frac{l}{e} \cdot P_{10} \cdot R_{10}$ [μm]

R_{10} in $\mu m/N$ uit de tabel in afb. 27
 Met de doorbuiging van de as wordt geen rekening gehouden.

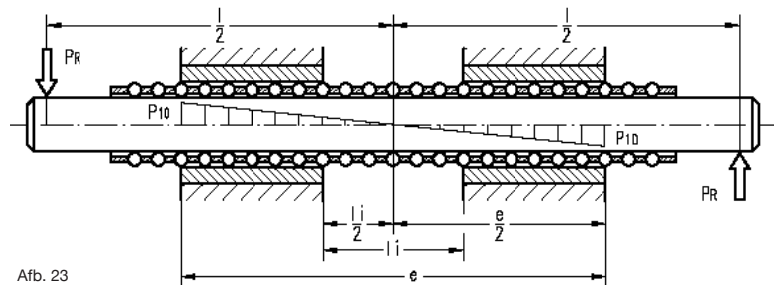
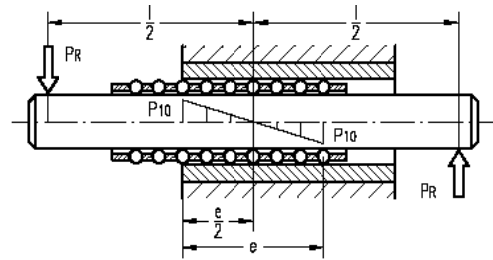
5.2.3 Ongelijkmatige radiale belasting

De kogelzone aan de zijde van het radiale krachtaangrijpingspunt is het sterkst belast. De specifieke radiale kracht P_{10} bestaat uit de delen van het moment M en de radiale kracht P_R .

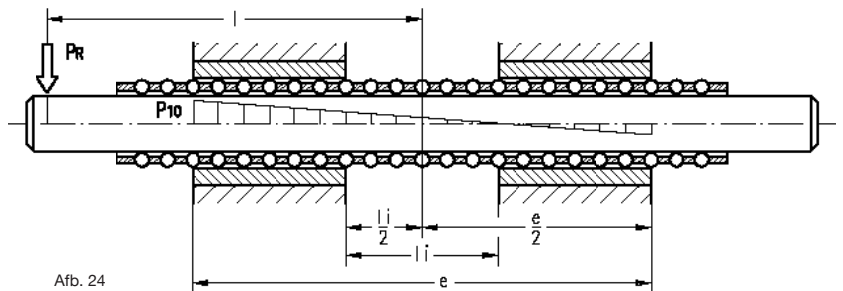
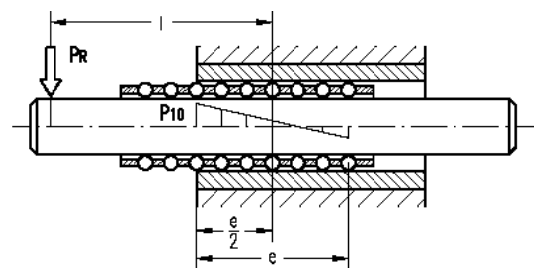
Specifieke radiale kracht
 $P_{10} = g \cdot M + h \cdot P_R$ [N]

g in m^{-1} , h zonder dimensie,
 M in Nm, P_R in N

De factoren g en h worden in overeenstemming met de afstand l_i uit de diagrammen afb. 25 en afb. 26 genomen. Bij een enkelvoudig kogelaangrijpingstraject is $l_i = 0$.



Afb. 23



Afb. 24

5. Berekening van de kogelgeleiding

Na de berekening van P_{10} laat de uitkomst van de vergelijking met het specifieke draaggetal C_{10} (tabellen afb. 27 en afb. 28) zien of de kogelgeleiding juist gedimensioneerd is.

Eis: $P_{10} \leq C_{10}$

De verschuiving A wordt zoals in hoofdstuk 5.2.2 berekend.

Rekenvoorbeeld:

Gevraagd: belasting van de meest belaste kogelzone

Gegeven: eenzijdig werkende radiale kracht

$$P_R = 1000 \text{ N}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

Aangrijpingstraject $e = 200 \text{ mm}$

Afstand tussen de kogelzones $l_i = 100 \text{ mm}$

Formule: $P_{10} = g \cdot M + h \cdot P_R$

$$M = P_R \cdot l$$

$$= 1000 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} = 300 \text{ Nm}$$

$$g = 2 \text{ m}^{-1} \text{ (uit diagram afb.25)}$$

$$h = 0,11 \text{ (uit diagram afb. 26)}$$

$$P_{10} = 2 \text{ m}^{-1} \cdot 300 \text{ Nm} + 0,11 \cdot 1000 \text{ N}$$

$$P_{10} = 710 \text{ N}$$

5.3 Specifieke draaggetal C_{10}

Definitie

Het specifieke draaggetal C_{10} is de radiale belastbaarheid van een 10 mm lange kogelzone van een hoognauwkeurige kogelgeleiding waarbij rekening gehouden wordt met de nominale diameter D, de voorspanning v en het kooitype DD14, DD15, DD16 of DD17.

Uitgaande van de belasting van de kogelgeleiding wordt in hoofdstuk 5.2 de specifieke radiale kracht P_{10} bepaald.

Er moet altijd gelden:

$$P_{10} \leq C_{10}$$

C_{10} is afhankelijk van de nominale diameter D, kogeldiameter D2 en het aantal kogels, de voorspanning v en de criteria voor de oppervlaktedruk op de aanrakingsvlakken tussen de walslichamen en de walsvlakken van de as en de bus (Hertz'sche persing), en ook de elastische verschuiving van de middenlijn van de as uit de 0-stand, te berekenen met de waarde R_{10} -vering van een 10 mm lange kogelzone. De vaststelling van de specifieke draaggetallen C_{10} van de kogelkooien DD16 en DD15 in de tabellen afb. 27 en afb. 28 vond plaats met de garantie van de eisen aan een hoognauwkeurige kogelgeleiding. De elastische verschuiving mag onder belasting $P_{10} = C_{10}$ niet groter zijn dan de halve waarde van de voorspanning v. $\delta_{R, \max} = 0,5 v$ [μm]

De waarden C_{10} en R_{10} in de tabellen zijn, afhankelijk van de voorspanning v, zo aangegeven dat er aan deze voorwaarde voldaan wordt. De vering R_{10} [$\mu\text{m}/\text{N}$] is de verschuiving van de middellijn in een 10 mm lange kogelzone met een radiale belasting van 1 N. De verschuiving van een 10 mm lange kogelzone wordt als volgt berekend: $A_{10} = P_{10} \cdot R_{10}$ [μm]

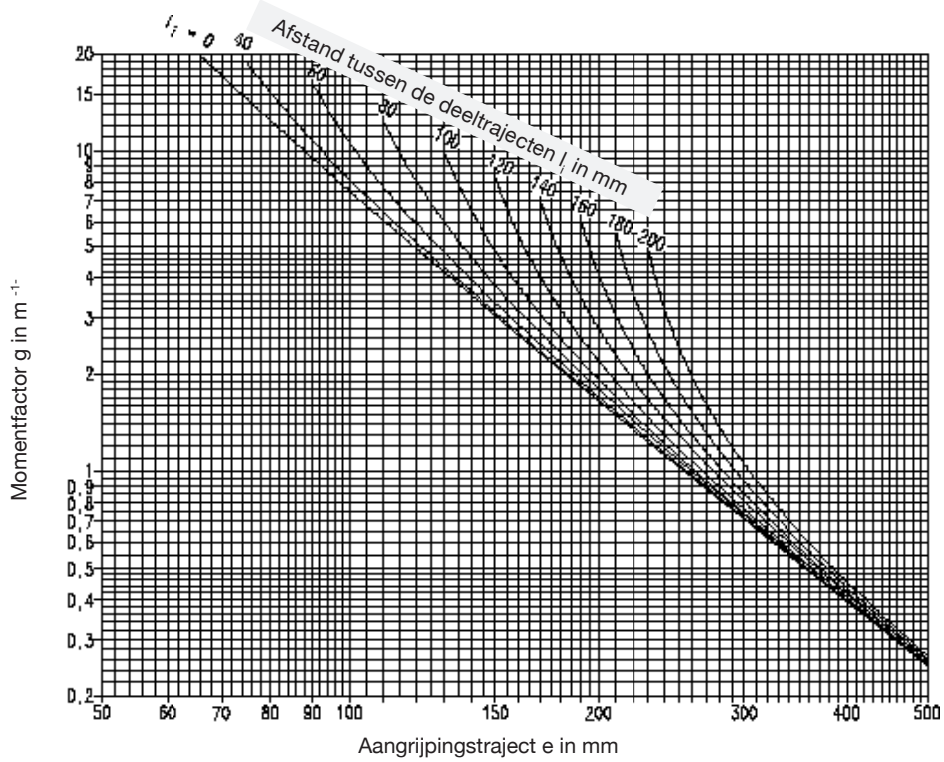
Berekeningsmethode I

Na de bepaling van de specifieke radiale kracht P_{10} wordt uit één van de tabellen de bijbehorende nominale diameter D genomen waarvoor een net zo grote of grotere waarde C_{10} van toepassing is.

Berekeningsmethode II

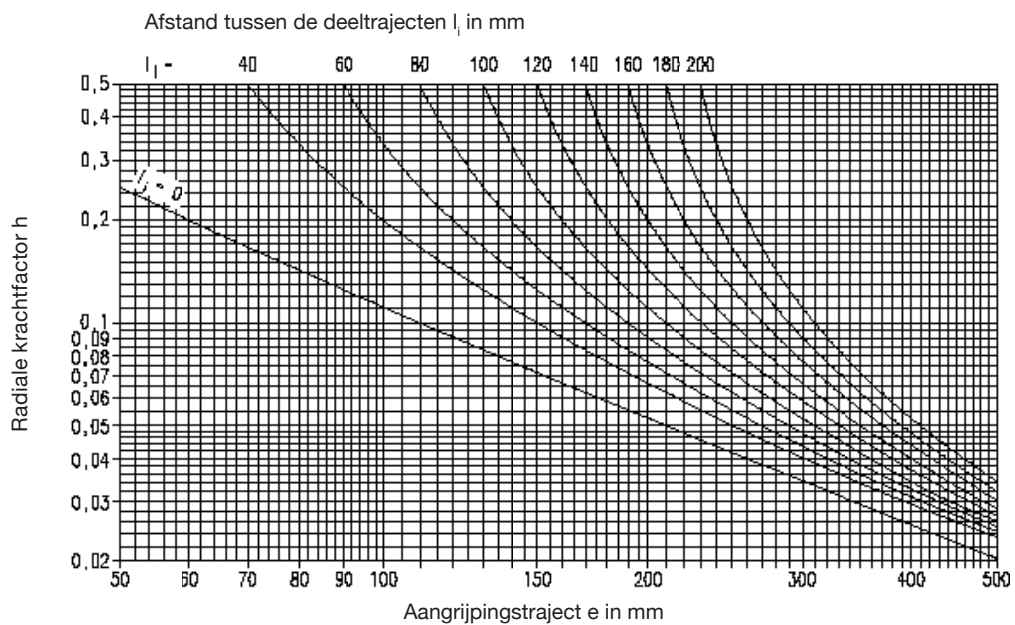
Via de gegeven nominale diameter D wordt uit één van de tabellen C_{10} genomen en voor de verdere berekening als toelaatbare specifieke radiale kracht P_{10} toegepast.

5. Berekening van de kogelgeleiding



Afb. 25

Opmerking: Bij een aangrijpingstraject $e < 60$ mm is de formule voor P_{10} (hoofdstuk 5.2.2) niet meer te gebruiken omdat de momentfactor g op basis van de empirische bepaling een te grote afwijking heeft.



Afb. 26

5. Berekening van de kogelgeleiding

Kogelkooi type DD15 (messing): specifiek draaggetal C_{10} en vering R_{10}

Nominale maat	C_{10} [N]	Voorspanning v [μm]															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	
4	R_{10} [μm/N]																
	C_{10}	12	25	42													
6	R_{10}	0.007	0.055	0.042													
	C_{10}	-	25	45	70												
8	R_{10}	-	0.042	0.035	0.03												
	C_{10}	-	-	50	75	101											
10	R_{10}	-	-	0.033	0.03	0.027											
	C_{10}	-	-	-	78	110	144										
12	R_{10}	-	-	-	0.027	0.025	0.023										
	C_{10}	-	-	-	92	130	170										
14-16	R_{10}	-	-	-	0.023	0.021	0.019										
	C_{10}	-	-	-	-	141	185	233	285								
18-20	R_{10}	-	-	-	-	0.02	0.018	0.017	0.015								
	C_{10}	-	-	-	-	163	215	270	331								
24-25	R_{10}	-	-	-	-	0.017	0.015	0.014	0.013								
	C_{10}	-	-	-	-	-	276	350	424	500							
30-32	R_{10}	-	-	-	-	-	0.012	0.011	0.011	0.01							
	C_{10}	-	-	-	-	-	-	380	462	560	650						
40-42	R_{10}	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	0.009	0.009						
	C_{10}	-	-	-	-	-	-	410	495	590	690	910					
50-52	R_{10}	-	-	-	-	-	-	0.009	0.009	0.009	0.008	0.007					
	C_{10}	-	-	-	-	-	-	-	552	658	770	1030					
63	R_{10}	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.008	0.007	0.006					
	C_{10}	-	-	-	-	-	-	-	-	670	780	1050	1370				
80	R_{10}	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.007	0.006	0.006				
	C_{10}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	846	1110	1430	1720			
100	R_{10}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.007	0.006	0.006	0.005			
	C_{10}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1230	1560	1880	2280	2660	
R_{10}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	

De waarden C_{10} en R_{10} zijn steeds voor de toelaatbare voorspanningen aangegeven.

Afb. 27

Kogelkooi type DD16 (kunststof): specifiek draaggetal C_{10} en

Nominale maat	C_{10} [N]	Voorspanning v [μm]							
		5	6	7	8	9	10	12	
18-20	R_{10} [μm/N]								
	C_{10}	188	248	312	382				
24-25	R_{10}	0.014	0.013	0.012	0.011				
	C_{10}	-	300	370	460	550			
30-32	R_{10}	-	0.01	0.009	0.009	0.009			
	C_{10}	-	-	380	470	560	660		
38-42	R_{10}	-	-	0.01	0.009	0.009	0.008		
	C_{10}	-	-	443	540	645	750	1000	

De waarden C_{10} en R_{10} zijn steeds voor de toelaatbare voorspanningen aangegeven.

Afb. 28

Technische beschrijving

5. Berekening van de kogelgeleiding

5.4 Toelaatbare versnellingen van de lineaire beweging

Bij snelle lineaire bewegingen kunnen grote krachten op de kogelkooi optreden. Bij een sinusachtige beweging zijn de krachten in de eindstanden het grootst. De hoogte van de krachten wordt door de volgende factoren beïnvloed:

- kooimateriaal messing of kunststof
- langsversnelling b
- kooilengte L
- inbouwpositie horizontaal of verticaal

Het noodzakelijke kogelaangrijpingstraject E is te bepalen met de hulp van q in de berekening:

$$E = q \cdot \frac{b \cdot L}{100} \text{ [mm]}$$

b [m/s²]; L [mm]; q [s²/m]

Versnelling b bij een sinusvormige beweging

$$b = \left(\frac{\pi \cdot f}{30}\right)^2 \cdot \frac{H}{2000} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

H [mm]; f [min⁻¹]

Het quotiënt q kan uit de volgende tabel genomen worden.

De berekende waarde voor E [mm] moet worden vergeleken met de aanbevelingen in de tabel in afb. 21. De grootste waarde wordt bij de verdere berekening toegepast. De tabellen bevatten richtlijnen voor de toelaatbare langsversnelling bij een volledige aangrijping van de kogelkooi. Deze waarden zijn gemiddelde waarden die bijvoorbeeld door het verhogen van de voorspanning v overschreden kunnen worden.

5.5 Toelaatbare toerentallen voor de kogelkooi

Toerentalberekening

Bij een roterende beweging wordt het kooitoerental n_k als volgt berekend – dit betreft steeds het stilstaande lagerdeel:

As draaiend

$$n_k = \left(1 - \frac{k}{k + d_w}\right) \cdot \frac{n_w}{2} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

Bus draaiend

$$n_k = \left(1 + \frac{k}{k + d_w}\right) \cdot \frac{n_b}{2} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

D [mm] = asdiameter

D2 [mm] = kogeldiameter

n_w [min⁻¹] = toerental van de as

n_b [min⁻¹] = toerental van de bus

Richtwaarden voor de toelaatbare toerentallen

Het hoogst toelaatbare toerental van een kogelgeleiding is afhankelijk van de voorspanning v, de belasting, de smering en de warmteafvoer. De aangegeven waarden zijn richtwaarden voor zuivere roterende bewegingen. Komt er een extra lineaire beweging bij dan worden de verhoudingen afhankelijk van de lengte en frequentie van deze beweging ongunstiger, zodat gerekend moet worden met duidelijk lagere toelaatbare toerentallen. Bij snelle lineaire / roterende bewegingen is het beter deze bewegingen te scheiden.

D [mm]	I n -			
	horizontaal		verticaal	
	q [s ² /m]	b _{max} [m/s ²]	q [s ² /m]	b _{max} [m/s ²]
kogelkooi van kunststof DD16				
18 -19	0,5	200	1,35	75
24 -25	0,5	200	1,4	71
30 -32	1,1	91	3,1	32
40 -42	1,1	91	3,2	31
kogelkooi van messing DD15				
4	0,7	150	0,9	110
6	1	100	1,4	70
8 - 12	1,5	67	2	50
14 - 16	1,75	57	2,3	43
18 - 20	2	50	2,6	38
24 - 25	2,5	40	3,3	30
30 - 32	3,3	30	4,4	23
40 - 42	4	25	5,3	19
50 - 52	5	20	6,7	15
63	6,6	15	8,6	11
80	10	10	13	7,6
100	10	10	14	7

Afb. 29

D [mm]	Kooitoerentallen N _{k,max} [min ⁻¹]
4 - 8	15000
10 -12	14000
14 -16	12000
18 -20	10000
25	8000
32	6000
40	4000
50	2500
63	2000
80	1500
100	1000

Afb. 30

6. Bijlage

6.1 Tekens

	Eenheid	Verklaring
A	µm	Verschuiving van de middellijn bij het krachtaangrijpingspunt
A ₁₀	µm	Verschuiving van de middellijn in een 10 mm-kogelzone
C	N	Draaggetal bij een gelijkmatig radiale belasting
C ₁₀	N	Specifiek draaggetal, betreft een 10 mm lange kogelzone
δ _R	µm	Radiale verschuiving van de middellijn tussen de as en de bus
D	mm	Nominale maat van de kogelgeleiding = asdiameter
e	mm	Huidige kogelaangrijpingstraject
E	mm	Noodzakelijk kogelaangrijpingstraject
g	m ⁻¹	Momentfactor, bij een momentbelasting
h	–	Radiaal factor, bij een a-symmetrische belasting
H	mm	Slaglengte van de kogelgeleiding
D2	mm	Kogeldiameter
l	mm	Hefboom bij een momentbelasting
l _i	mm	Afstand tussen de aangrijpingstrajecten
L _{bus}	mm	Lengte van de geleidebus
l _{kooi}	mm	Lengte van de kogelkooi
l ₃	mm	Afstand tussen de aanloopschijven van een gesloten geleidebus
M	Nm	Moment welke de kogelgeleiding belast
P _R	N	Radiale kracht welke de kogelgeleiding belast
P ₁₀	N	Specifieke radiale kracht, betreft de hoogst belaste 10-mm-kogelzone
R ₁₀	µm/N	Vering van een 10-mm-kogelzone
v	µm	Voorspanning

6.2 Internationale maateenheden en materiaalaanduidingen

Lengte:

1 in = 25,4 mm	1 mm = 0,03937 in
1 in = 25400 µm	1 µm = 0,00003937 in

Temperatuur:

$$5/9 \times (°F - 32) = °C \quad (9/5 \times °C) + 32 = °F$$

Kracht:

1 ozf = 0,2781 N	1 N = 3,5957 ozf
1 lbf = 4,4497 N	1 N = 0,2247 lbf

Moment:

1 ozf in = 0,007064 Nm	1 Nm = 141,5612 ozf in
1 lbf in = 0,1130 Nm	1 Nm = 8,8478 lbf in

Internationale Werkstofaanduidingen:

100 Cr 6 (1.2067 / 1.3505)	komt overeen met AISI L3 / AISI E 52100
X155 CrVMo 12 1 (1.2379)	komt overeen met AISI Type D2 gereedschapstaal
X90 CrMoV 18 (1.4112)	komt overeen met AISI 440B