

# Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (15) "Plaatsbepaling van assen in wentellagers, consequenties voor de afrolling van wrijvingswielen"

**Citation for published version (APA):**

Rosielle, P. C. J. N., Reker, E. A. G., & Koster, M. P. (1993). Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (15) "Plaatsbepaling van assen in wentellagers, consequenties voor de afrolling van wrijvingswielen". *Mikroniek*, 33(6), 169-174.

**Document status and date:**

Published: 01/01/1993

**Document Version:**

Publisher's PDF, also known as Version of Record (includes final page, issue and volume numbers)

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Plaatsbepaling van assen in wentellagers, consequenties voor de afrolling van wrijvingswielen

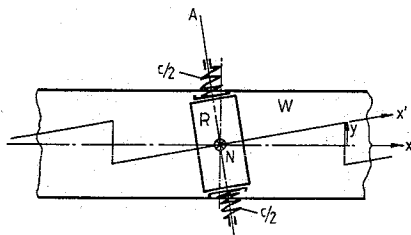
# Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (15)

P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker, M.P. Koster

## Het spoorprobleem

Het lagere van wrijvingswielen en rollen verdient bijzondere aandacht. De situatie in figuur 168 is die van figuur 170: R is de rol en W is het wiel. De wielas A dient zuiver loodrecht te staan op de rijrichting x. Zoniet, dan rolt het wiel in de richting x' (Las A) totdat de lagerconstructie, met axiale stijfheid c, zover is ingedrukt (y) dat  $c y > \mu N$  (N is de normaalkracht). Daarna slijpt het wiel terug en ontstaat de in de figuur aangegeven zaagtandbeweging.

Bij voorkeur treedt dwarsslip op, op een ogenblik in de machinecyclus (he- laas steeds op dezelfde plaats) dat N een relatief lage waarde bereikt. Er zal



Figuur 168

zich op die plaats slijtage aftekenen en de zorgvuldig geconstrueerde rechtgeleiding of wrijvingswielaandrijving vertoont een andere voorkeurstand.

In zeer geringe mate kan het snelheidsverschil in dwarsrichting door elastische vervorming in het contact worden opgenomen, zonder dat het tot volledige slip hoeft te komen. In een deel van het contactvlak treedt dan wel micro-slip op.

Nokrollen, zie figuur 169a, zijn nooit exact evenwijdig met de nokas. De nokrollen zouden dus in een schroeflijn willen afrollen. De zijdelingse stijfheid van de hefboom verzet zich daartegen: de rol slijpt periodiek terug (in axiale richting) met name op de momenten dat de aanlegdruk relatief klein is. Men heeft dan kans op slijtplekken op de nok op de plaatsen A, in plaats van de in geval van hoge nokrolbelasting eerder te verwachten "pitting" op de plaatsen B.

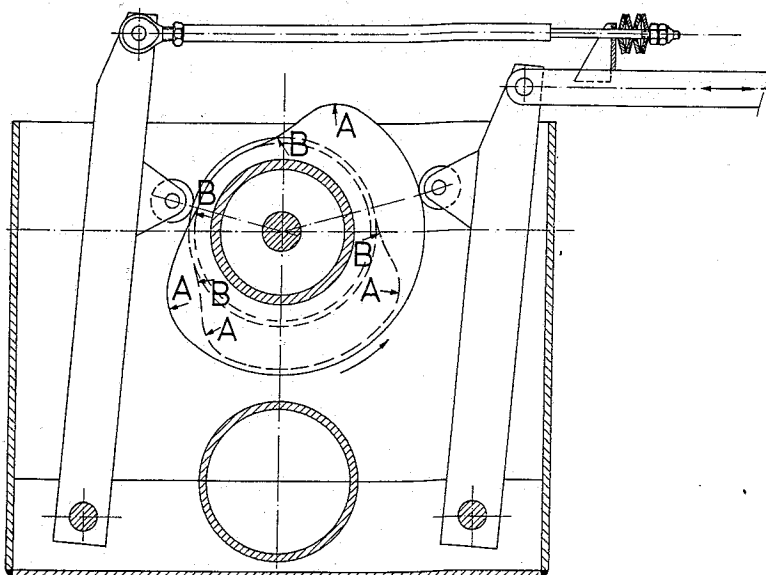
Als de hefboom zijdelings zeer stijf is kan hij de uitwijking niet opsparen tot een laagbelaste plaats A voorbij komt en slijpt de rol voortdurend. Bij de voor

nokrollen in zuivere afrolling nog toelaatbare vlaktedruk is een gemiddelde zijdelingse slipsnelheid in de orde van 10 mm/sec al vaak funest.

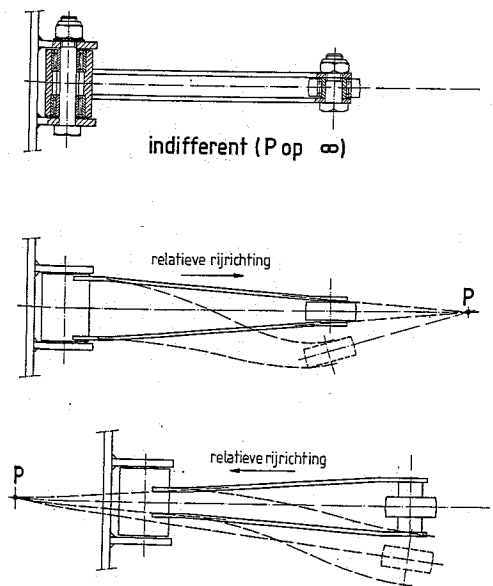
Afhankelijk van onder andere de smeertoestand kunnen dan 1 tot 10 mm<sup>3</sup> materiaal per uur van de nok en nokrol afslijten. Dit dwingt ons om vooral bij hoge afrolsnelheden (dus bij grote nokschijfdiameter en bij snellopende machines) de drie betrokken assen (nokas, nokrolas en hefboomas) goed parallel te monteren.

Meestal zijn er veel onderdelen en dus opteltoleranties in het geding. Om dan toch een evenwijdigheid van 10<sup>-3</sup> tot 10<sup>-4</sup> [rad] te kunnen realiseren zal men eventueel moeten zorgen voor instelmogelijkheden en een instelvoorschrift met de bijbehorende meetmogelijkheden. Het is evenwel heel lastig om de evenwijdigheid van korte ontoegankelijke asstompjes te meten.

Er is verschil tussen de toestand bij de rechter rol en hefboom in figuur 169a en die bij de linker. Als de zijdelingse stijfheid in de hefboom het toelaat, loopt de rechterrol over de (van de hefboomlagering af draaiende) nokschijf zoals een caravan achter een auto.



Figuur 169a



Figuur 169b boven, c midden, d onder.

Onevenwijdigheid van de assen leidt tot een zijdelingse afwijking, waarbij de hoekfout van de nokrolas afneemt zodat de toestand zich stabiliseert en de rol in een vast spoor gaat lopen. De linker rol daarentegen is in een instabiele toestand zoals een caravan bij achteruitrijden; hoe groter de zijdelingse uitwijking wordt, hoe groter de scheefstand van de assen.

Wanneer men zeker weet dat de machine nooit achteruit zal draaien, dan kan men een goede poollinging combineren met een lage zijdelingse hefboomstijfheid. Het instelgebied is dan groot en uitgaand van grof getolereerde onderdelen en vlotte montage zonder in- en afstellen is men toch verzekerd van een slijpvrije stabiele loop.

Een hefboom uit twee staalplaten combineert zeer hoge stijfheid van het eigenlijke nokmechanisme met zeer lage dwarsstijfheid.

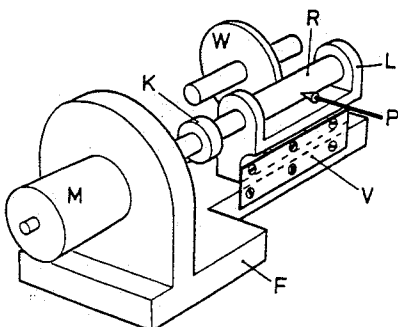
Door de hefboom als stangenmechanisme te beschouwen kan men de helling van de zijplaten zo kiezen dat de pool aan de gewenste kant komt te liggen; zie de figuren 169b, c en d.

### Wrijvingswieloverbrengingen

Figuur 170 toont het principe. De rondselas R wordt door de voorspanveer tegen het wiel W gedrukt. De koppeling K laat kleine dwarsverplaatsingen van R toe.

Bij dit soort constructies treedt het spoorprobleem ten volle op. Zorgvuldig construeren met het doel de assen evenwijdig te houden is dan een vereiste.

Hieronder volgt een voorbeeld, de aandrijving van een precisie-goniometer.



Figuur 170. [A.J.J. Franken]

In de slede is een wrijvingswieloverbrenging ingebouwd. Bij het aanbrengen van de voorspanning tussen de wrijvingswielen zijn de assen door middel van elastische scharnieren in de zijplaten evenwijdig gehouden. Figuur 171a toont de wagen met zijn looprollen en (elastisch) voorspanmechanisme.

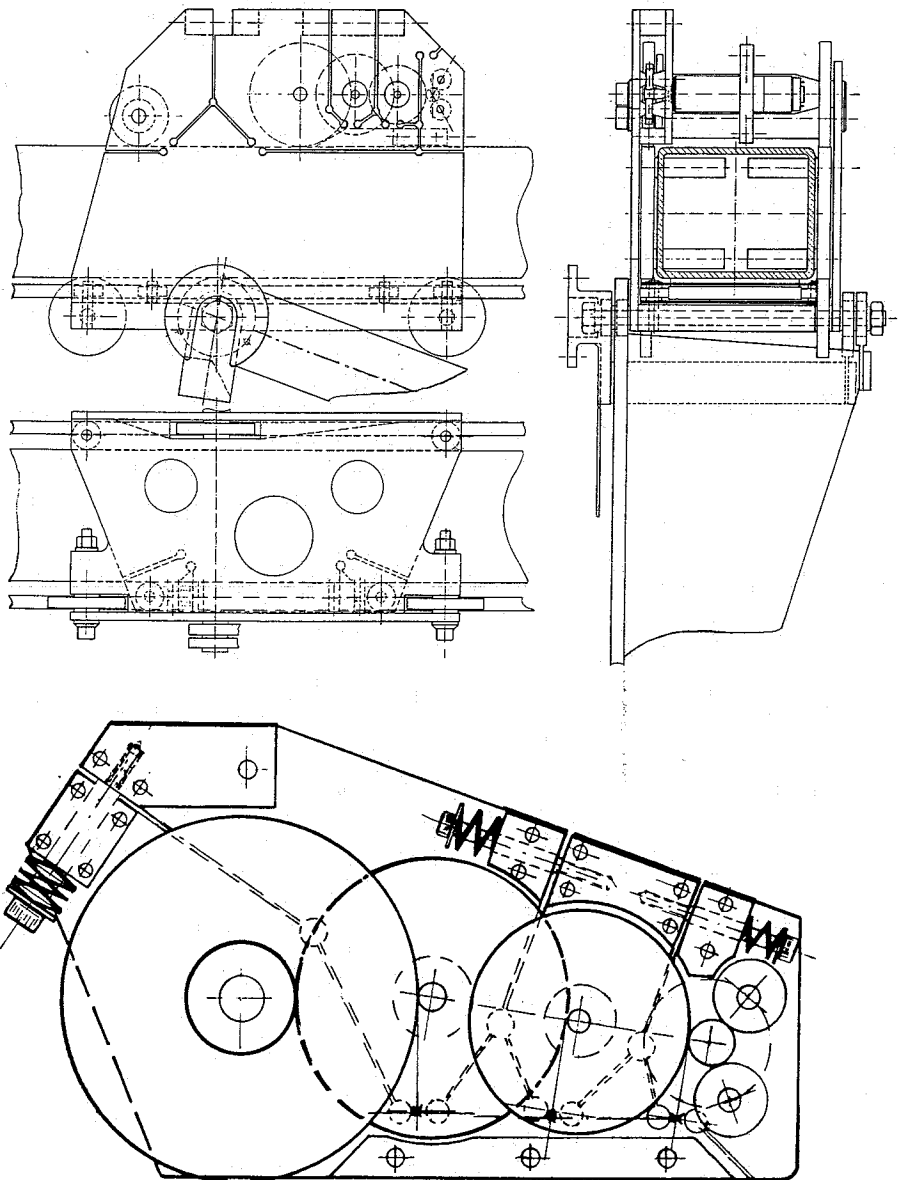
Figuur 171b geeft de aandrijving van de wagen door middel van servomotor en wrijvingswielvertraging weer.

Hier is nauwkeurige paralleliteit van de assen essentieel: de kleinste scheefstand kan al tot axiale slijp leiden, met eventueel zelfs sterke slijtage.

De beide lagerplaten zijn gezamenlijk geboord en geruimd en zodanig van elastische scharnieren voorzien dat in elk contactpunt de contactkracht kan worden ingesteld door voorspanning in een veerpakket in hetzelfde axiale vlak, met behoud van de evenwijdigheid der assen.

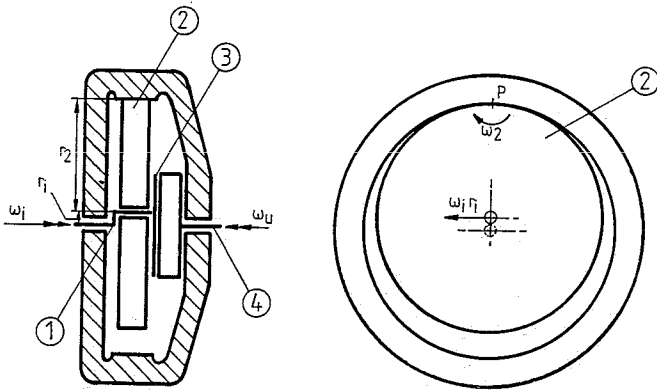
Grote reducties als in figuur 171b (bijvoorbeeld 1:80) kunnen ook in één trap worden gerealiseerd zie figuur 172.

De kruk (1) heeft een omtreksnelheid  $\omega_{r1}$ . Voor het wiel (2) geldt dat P de momentane pool is. De hoeksnelheid

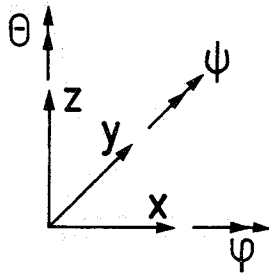


Figuur 171a boven, 171b onder. [P. Brinkgreve]

Plaatsbepaling van assen in wentellagers, consequenties voor de afrolling van wrijvingswielen



Figuur 172



van (2) om P, ten opzichte van de vaste wereld is:

$$\omega_2 = \omega_i r_1 / r_2.$$

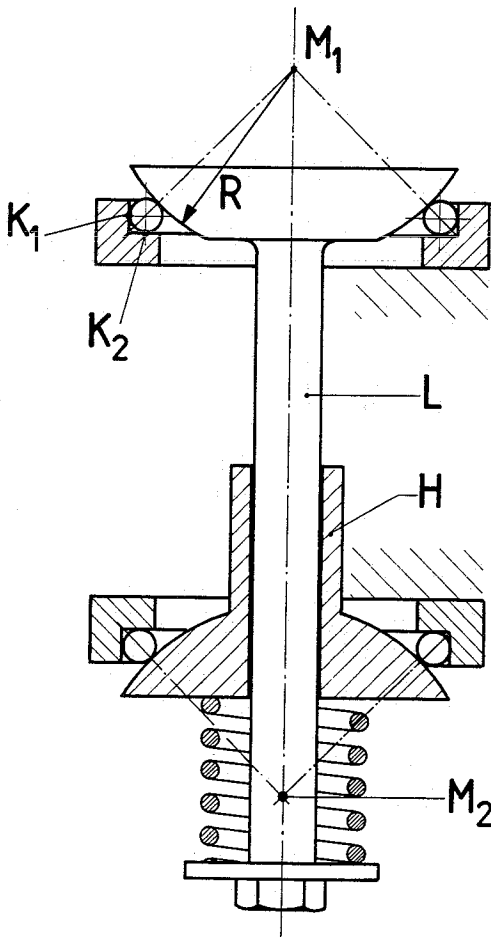
De koppeling (3) brengt deze rotatie onvervormd over op de uitgaande as (4):  $\omega_2 = \omega_u$ , zodat voor de overbrengingsverhouding geldt:

$$i = \omega_u / \omega_i = r_1 / r_2.$$

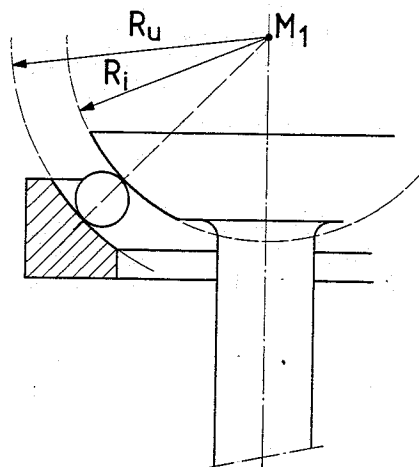
**Voorgespannen kogellagers**

Als men een schijf of as op afrolling (kogels) wil lagere met als enige graad van vrijheid de hoekrotatie  $\theta$ , zie figuur 173a, dan gebruikt men meestal ingekochte kogellagers. Daarbij steunt men terecht op het goede denk- en maakwerk van de kogellagerfabrikant zodat men zich zelden gedwongen voelt om zelf het probleem te doordenken. Toch kan dit verhelderend werken.

Stel we willen een roterend lichaam lagere op kogels, liefst statisch bepaald en met beheerste vóórspanning. Figuur 173a toont een principe-schets met boven een vaste loopring met drie



Figuur 173a



Figuur 173b

kogels die een bolvlak dragen. De kogels bepalen de ligging van het bolmiddelpunt  $M_1$  en daarmee één punt van de rotatiehartlijn van het te lagere lichaam L.

We moeten nu nog twee vrijheidsgraden, de hoeken  $\phi$  en  $\psi$  vastleggen, bijvoorbeeld door van een ander punt  $M_2$  van de hartlijn van het lichaam de x en de y vast te leggen (niet de z).

Dat kan bijvoorbeeld met een hulpbol H die zelf gelagerd is door een analoge constructie als bij  $M_1$ , en die zich zonder zijdelingse speling axiaal kan verplaatsen ten opzichte van het te lagere lichaam L.

Om op basis van dit principe tot een betrouwbaar werkend geheel te komen, moeten we een aantal principiële deelproblemen oplossen, namelijk het lagere op veel kogels, de spinbeweging van de kogels en het elastische voorspannen.

**Het lagere op veel kogels**

De ligging van  $M_1$  zou statisch bepaald zijn door drie kogels onder ca.  $120^\circ$  op de loopring.

Bij rotatie zou echter de plaats van  $M_1$  voortdurend veranderen tengevolge van onrondheid van de kogels en axiale en radiale slingering van zowel de vaste loopring als de loopbaan op L.

Deze veranderingen vertonen een grillig patroon: men realiseert zich dat als L 100 onwentelingen maakt, de kogels bijvoorbeeld 30 maal hun baan doorlopen, daarbij dus 70 maal door de baan op L overrold worden en tevens enkele honderden malen om hun as draaien.

Zouden we (aanzienlijk) méér kogels invoeren en de lagere zóver voorspannen dat de elastische inverting groot genoeg is om alle kogels altijd tot meedragen te nopen, dan zou de invloed van axiale en radiale slingering van de beide loopbanen tot nul zijn gereduceerd!

(Pas op: Bij vóorgespannen complete kogellagers houdt men slingering, maar die treedt op tussen loopvlak en passing op de as respectievelijk in het huis.)

Men houdt alleen de invloed van onrondheid van de kogels, maar die is gering en door het grote aantal statistisch goed uitgemiddeld.

De eis is nu dat enerzijds de lagere als geheel stijf genoeg is, maar anderzijds

de stijfheid per kogel (2 Hertz contacten in serie, zie aflevering 7 in Mikroniek nummer 4- 1992 p. 100) laag genoeg om de gezamenlijke vormtoleranties te overbruggen bij een belasting die bij de gewenste levensduur toelaatbaar is. Men komt zo gauw tot hoge eisen aan de vormnauwkeurigheid van de loopbanen. In het bijzonder zijn daarbij onregelmatigheden met een periodiciteit gecorreleerd met het aantal kogels ontoelaatbaar. Als simpel voorbeeld denke men aan een eenmalige axiale overbelasting waarbij elke kogel een putje in de loopring gedrukt heeft. Zo'n lager is nooit meer goed te krijgen en het middelt niet uit. Aangezien de fouten die bij het slijpen van de loopbanen optreden het sterkst tot uiting komen in de periodiciteiten van 2 en 3 maal per omwenteling, prefereert men kogelaantallen die niet door 2 of 3 deelbaar zijn, dus de priemgetallen 5, 7, 11, 13, 17, enz.

Toch lijkt de oplossing met voorspanning op veel kogels beter dan de "statisch bepaalde" met drie kogels:  $M_1$  is zo beter gedefinieerd en de stijfheid is, door het grote aantal kogels die bovendien voorgespannen zijn, aanzienlijk groter. Niet te onderschatten is het uitmiddellende effect van een locale oneffenheid, zolang de kogels voorgespannen zijn. Het lager heeft de eigenschappen van een verennest (zie aflevering 5 Mikroniek nummer 2- 1992 p. 39).

Kogellagers zijn een propositie sinds de bewerkingsnauwkeurigheid de toelaatbare (Hertze) indrukking overtreft!

### De spinbeweging van de kogels

In de uitvoering volgens figuur 173a rollen de kogels om de lijn door de contactpunten  $K_1$  en  $K_2$ .

In de contactpunten treedt niet alleen afrolling op doch ook spin en dat geeft extra slijtage en rolweerstand; in de praktijk een *extra* rolweerstand van ca. 0,002.

Het voordeel van deze uitvoering is de goede plaatsbepaling van de kogels. In hun baan kan men de kogels zich vrij laten verdelen, of men kan de verdeling bewerkstelligen met een kogelkooi, of om en om een gewone en een iets kleinere kogel. De verdeling van de kogels is in het algemeen een moeilijke technische opgave en vaak een bron van

zorg, met name als de kogels en de eventuele kogelkooi versnellingskrachten ondervinden.

Een alternatief met (nog wel geen zui-vere maar toch veel) betere afrolling tussen twee concentrische bolvlakken geeft figuur 173b. Hier is echter een kogelkooi - met eigen borging tegen kanteling! - noodzakelijk.

Kogellagerfabrikanten kozen voor het alternatief van figuur 174.

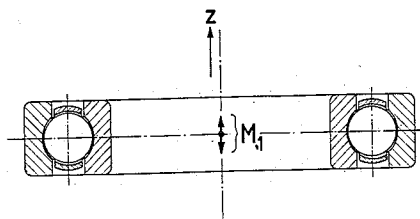
De kogelkooi ontleent zijn borging tegen kantelen aan de kogels zelf. Het Hertz contact is gunstig omdat de loopringen de kogel met een (negatieve) kromtestraal omhullen.

Het punt  $M_1$  uit figuur 173a is in eerste instantie in het middendeelvlak van het kogellager gekomen.

Van dat punt worden de x en y goed vastgelegd als althans de fabrikant voor de goede voorspanning heeft gezorgd en als die ongeacht de passingen in het huis en op de as, temperatuurverschillen en slijtage, ongewijzigd gehandhaafd zou blijven.

De z wordt veel minder goed vastgelegd; het is in eerste instantie een "indifferent evenwicht". Zodra axiale belasting optreedt stellen de kogels zich anders in, kiezen als het ware een nieuw punt  $M_1$  en leggen nu daarvan de x, de y en - naarmate  $M_1$  verder uit het middenvlak ligt - ook de z steeds stijver vast.

De axiale kracht wordt opgenomen onder een zeer ongunstige hoek, het lager zou snel overbelast raken. Daarom geven de meeste kogellagerfabrikanten hun groefkogellagers bewust enige positieve speling. De hoek waaronder de axiale belasting wordt opgenomen, wordt nu gunstiger. Het axiale draagvermogen en de axiale stijfheid zijn danook groter naarmate de speling groter is. Het "uitmiddelen" van de fouten van baan en kogels in x- en y-richting



Figuur 174

gaat nu echter verloren zodra de axiale belasting daarvoor ontoereikend is. Het standaard enkelrijig diepgroefkogellager komt zo uit de bus als een aantrekkelijk relatief hoog belastbaar en door de massafabricage toch zeer goedkoop en verrassend nauwkeurig constructie-element, dat evenwel voor exacte plaatsbepaling niet optimaal is.

Opgemerkt moet worden dat de fabrikanten in de loop der jaren hun assortiment hebben uitgebreid met verscheidene typen als kegellagers, tonlagers, hoekcontactlagers en vierpuntscontactlagers, waarbij de voorspanning vaak wel in- en nastelbaar is.

### Het elastisch voorspannen

Om van het principe van figuur 173a een betrouwbaar werkend geheel te maken, moeten nog een spelingsvrije axiale lagering van de hulpbol H op de te lagere as L gevonden worden en een verende voorspanning. Voor de hand ligt dan een lagering op vlakke membranen onder de gewenste voorspanning.

Voor een goede axiale lagering zijn twee evenwijdige membranen nodig die op twee plaatsen een x en y van de hartlijn vastleggen.

We willen in ons geval echter alleen in punt  $M_2$  de x, y van H vastkoppelen aan de x, y van L.

We kunnen dus met één membraan volstaan *mits dit ligt in het vlak van het bolmiddenpunt  $M_2$ .*

Figuur 175a is het ontwerp van een lagering voor een preparaat-rotatietafel in een elektronenmicroscop.  $M_1$  is hier in het beeldpunt gekozen.

Voor een op straal R en straal r ingeklemd membraan met dikte  $\delta$ , uit materiaal met elasticiteitsmodulus E en dwarsconcentratiecoëfficiënt  $\nu$  (staal:  $\nu = 0,3$ ) geldt voor de zakkings z:

$$Z = \frac{3F_{ax}(1-\nu^2)}{(4\pi E\delta^3)} \cdot [R^2-r^2 - \frac{4R^2r^2}{R^2-r^2} (\ln \frac{R}{r})^2]$$

en

$$\sigma_{max} = \frac{3F_{ax}(1-\nu^2)}{(2\pi\delta^2)} \left[ 1 - \frac{2R^2}{R^2-r^2} (\ln \frac{R}{r}) \right].$$

De vering mag ook in de buitenbaan zitten, zie figuur 175b, mits het vlak

## Plaatsbepaling van assen in wentellagers, consequenties voor de afrolling van wrijvingswielen

van het membraan door het bolmiddenpunt  $M_2$  gaat.

Als wordt voorbijgegaan aan de spin kan men in principe met één kogelkrans volstaan; figuur 175c geeft hiervan een voorbeeld.

Volkomen analoog is de in aflevering 4 van Mikroniek nummer 1-1992 p. 12 toegepaste harmonicabus.

Een uitvoeringsvorm als figuur 175d met één membraan ter hoogte van  $M_2$  voldoet. Hierbij is hoek  $\alpha$  kleiner dan  $45^\circ$  gekozen om bouwhoogte te winnen. Al te ver kan men hiermee niet gaan in verband met eisen aan diameter-toleranties, ongelijke kogelbelastingen en zelfremmendheid.

Uiteraard kan men de voorspanning desgewenst ontleen aan apart aangebrachte veerpakketten in plaats van aan de membranen.

### De toepassing van zelfinstellende wentellagers

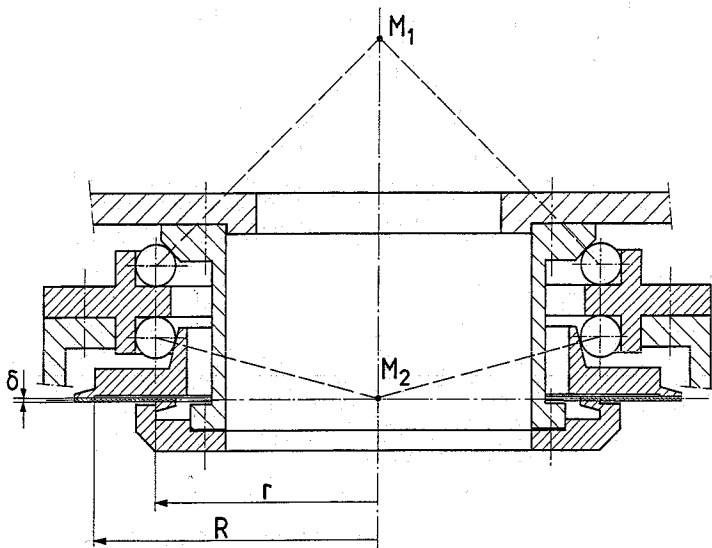
Als men een schijf of as op afrolling (kogels of rollen) wilageren met als vrijheidsgraden de asrotatie en (in beperkte mate) de twee kantelhoeken, dan neemt men gewoonlijk standaard "zelfinstellende" kogel- of rollagers. Meestal hebben die een inwendige bolvormige buitenring. Inzicht in de juiste toepassing leidt er dan toe de opstelling volgens figuur 176a te prefereren voor roterende assen die gebogen worden door een stationaire kracht (het eigen-gewicht) en die van figuur 176b voor de assen met buiging door roterende belasting (bijvoorbeeld onbalanskrachten). Mikroniek aflevering 4-1991 figuur 17 geeft een fraai alternatief met niet zelfinstellende (dus in het geval van kogel-

lagers aanzienlijk hoger belastbare) lagers in elastische freemplates die elk alleen x en y vastleggen.

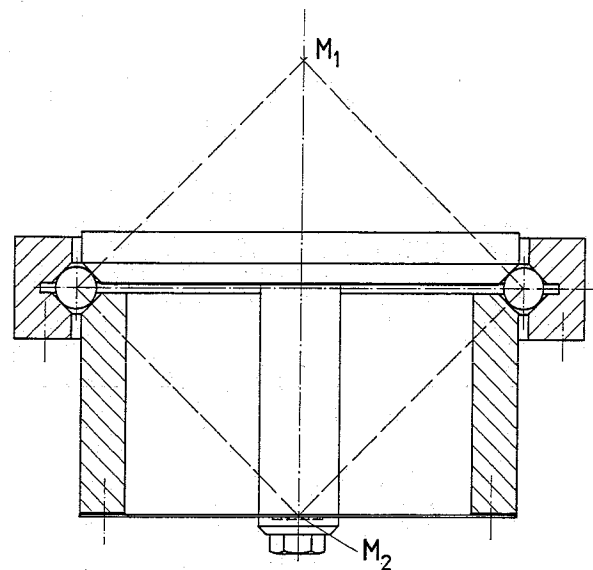
### Het schommel-oog

Wanneer een as of pen in een lagerbus gaat draaien (figuur 177a) begint hij zich af te rollen op een lagerwand en klimt daarbij geleidelijk tegen de helling op (figuur 177b). Tegen dat de tangens van de hellingshoek  $\phi$  de waarde van de wrijvingscoëfficiënt heeft bereikt glijdt de as uit en schiet terug naar beneden.

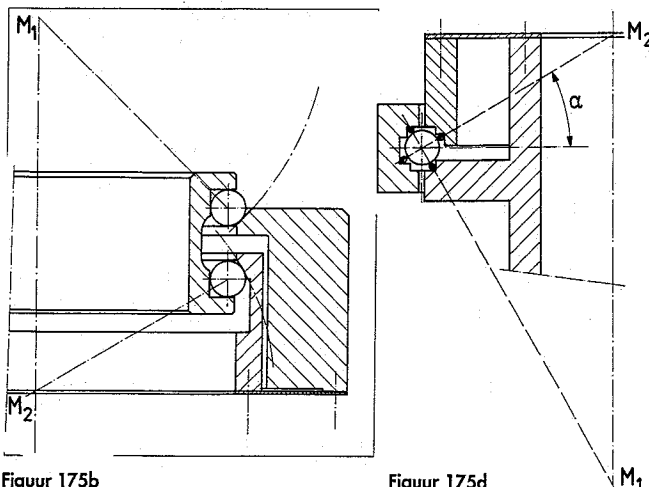
Bij een niet volledig gesmeerd glijlager zal zo niet, dan onder bijzonder gunstige omstandigheden een stationaire toestand worden bereikt. Voor kleine verdraaiingshoeken is zuiver afrollen mogelijk. Men moet dan wel de configura-



Figuur 175a. [C.W.B. v.d. Berg]

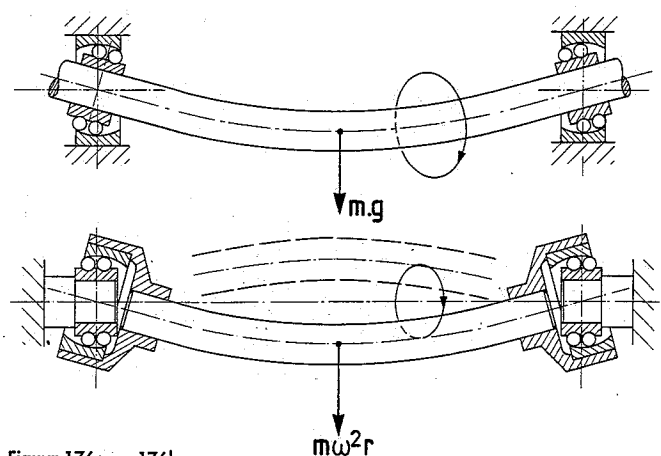


Figuur 175c



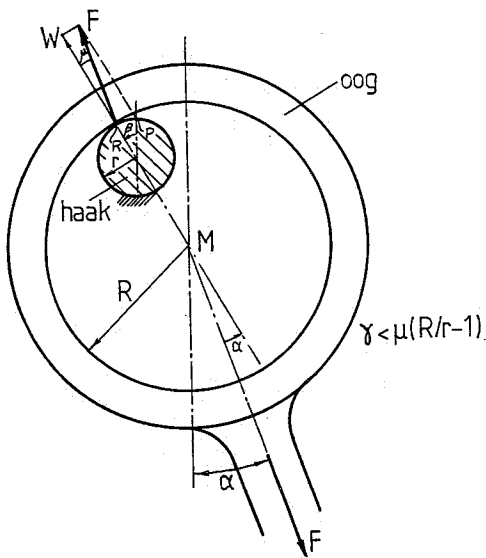
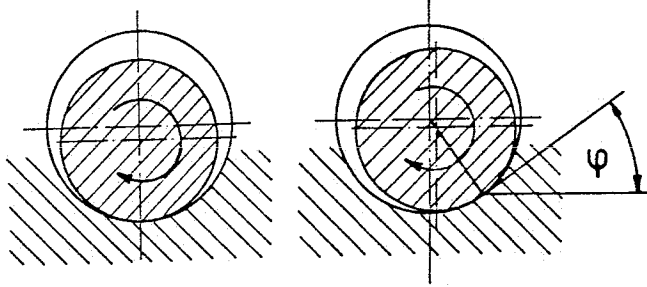
Figuur 175b

Figuur 175d

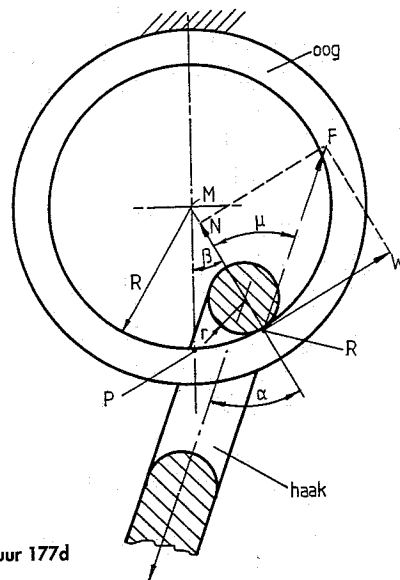


Figuur 176a en 176b.

Figuur 177a links, b rechts.



Figuur 177c



Figuur 177d

tie volgens figuur 177c kiezen en niet die volgens figuur 177d. Sommige ophangogen van kinderschommels, aansluitingen van ankerkettingen, etc. maken bij voortdurend een knerpemd geluid en zijn in korte tijd doorgesleten. Door het ophangoog  $90^\circ$  te draaien, gaat men van de situatie volgens figuur 177d (waar het afrolpunt juist die helling op loopt waar de kracht "vanaf" draait) over op de situatie volgens figuur 177c die over een veel grótere hoek  $\alpha_{\max}$  zuivere afrolling toelaat. Dit constructieprincipe kan als volgt worden samengevat:

**het lichaam dat ten opzichte van de krachtvector relatief niet roteert (de schommel) moet het lichaam dat dat wel doet (het freem) omhullen.** [J. Oostvogels]

De aanhaakpunten van een veer in een mechanisme dienen volgens dit inzicht te worden uitgevoerd.

"Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren" is een selectie uit de verzameling constructieprincipes die op initiatief van prof. ir. W. v.d. Hoek in 1962 is opgezet en die nog steeds wordt uitgebreid. Door ir. P.C.J.N. Rosielle en E.A.G. Reker (TU-Eindhoven) is speciaal voor de lezers van *Mikroniek* een selectie gemaakt die in 18 afleveringen wordt gepresenteerd. Bijdragen van lezers als kritiek, suggesties of eigen ervaring worden door de auteurs op prijs gesteld.

hft

**DEN HARTOG**

fijnmechanische techniek b.v.

vervaardiging en reparatie van  
fijnmechanische onderdelenkunststofmatrijzen  
snijstempelsbuigstempels  
prototypenbewerken van  
kunststofonderdelenNijverheidsweg 8  
3481 MB Harmelen  
Tel.: 03483 - 3504  
Fax: 03483 - 4187**INSTRUMENTMAKERIJ**Industrieweg 13A  
1566 JN Assendelft  
Tel. 075 - 211277, Fax 075 - 286744**Gespecialiseerd in:**

- ⇒ Ontwikkelen, fabriceren van medische apparaten
- ⇒ Vervaardigen van onderdelen
- ⇒ Volgens tekening of model
- ⇒ Draai- en freeswerk, ook kunststoffen, CNC en conventioneel
- ⇒ Lassen argon-arc, mig
- ⇒ Slijpen en Reparatie medische instrumenten