

Kogellagers in de horloge-industrie

P. Parietti, P.A. Paratte, A. Laager, A. Biétry Het kogellager is een van de belangrijkste onderdelen in een zichzelf opwindend horloge. Het verschaft de dynamische link met de slingerende massa die zorgt voor het opwinden van de hoofdveer. Andere functies worden tevens uitgevoerd tijdens de beweging (schommelbeweging, omkeren van de richting, enzovoort), in de kast of op de wijzerplaat (roterende schijven). Het ontwerp verschilt aanzienlijk van de radiale kogellager. Het kogelloopvlak bestaat uit vier hellende vlakken waar de naam "4-punts contactlager" is afgeleid.

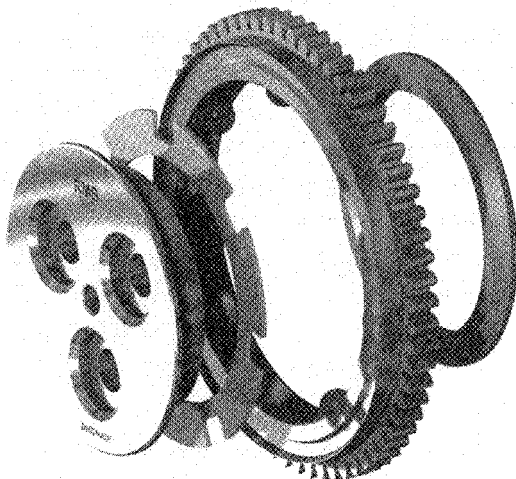
Om de prestaties van de 4-punts contactlagers te verbeteren wordt onderzoek verricht op het gebied van schokdemping, smering en geluidsreductie.

Als gevolg van de technische kwaliteiten en de geschiktheid voor miniaturisering wordt het 4-punts contactlager gebruikt in tal van microtechnische toepassingen zoals micromotoren, halfgeleiders, de luchtvaart en medische apparatuur.

Ontwerp van de 4-punts contactlagers

De 4-punts contactlager (zie afbeelding 1) bestaat uit vijf onderdelen:

- de loopbaan
- de kern
- de conus
- de kogelhouder
- de kogels



Afbeelding 1. Het 4-punts contactlager

Vanaf dit jaar wordt roestvrij staal gebruikt voor de kern, loopbaan en conus om corrosie te vermijden. De kogelhouder wordt geproduceerd van CuBe.

Aanpassing van de axiale speling

In de meeste gevallen is de axiale speling gelijk aan de radiale speling, daar het loopvlak doorgaans wordt gevormd door vier platen die in een hoek van 45 graden tot elkaar staan. De speling wordt bepaald door de mate waarin de conus in de kern is gedraaid. De waarde wordt bepaald door de loopbaan stil te houden en dan de verschuiving van de kern langs de as te meten (standaard speling: $6/14 \mu\text{m}$).

Berekening van de slingerbeweging

De maximum en minimum hoek van de slingerbeweging wordt berekend volgens het volgende principe. Voor een lager met een oneven aantal kogels wordt aangenomen dat de berekening van de slingerbeweging kan worden gedaan met drie kogels.

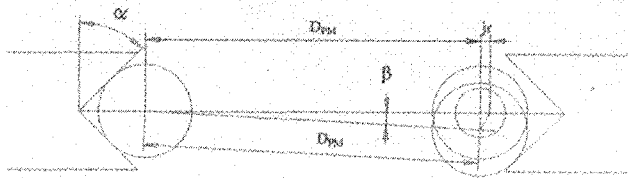
Waar zijn we naar op zoek:

Wanneer twee kogels gescheiden door de kogelhouder de twee hellende vlakken van de loopbaan raken, bij welke hoek (β) ten opzichte van de horizontaal moet de derde kogel dan verschuiven zodat het in contact is met een van deze vlakken van loopvlakgebied?

- D_{pm} = afstand tussen de diameters van de drie kogels
- z = aantal kogels
- J_r = radiale speling
- $\alpha = 45^\circ$ (de hoek die gevormd wordt door de schuine vlakken van het loopvlak)
- d_p = Pitch diameter

$$(1) \quad D_{PM} := \frac{d_p \cdot \cos\left(\frac{\pi}{z}\right)}{2} + \left[\left(\frac{d_p}{2}\right) - \left(\frac{J_r}{2}\right) \right]$$

$$\beta := \arcsin \left[\sin(\alpha) \cdot \left[1 + \left(\frac{J_r}{D_{PM}}\right) \right] \right] - \alpha$$



Afbeelding 2. Diagram van het principe voor de berekening van 0,5 x hoek β van de slingerbeweging.

Evaluatie van de belastingcapaciteit

Statische belasting

Voor de meeste toepassingen op het gebied van de horloge- en uurwerkindustrie is de dynamiek van het kogellager beperkt tot lage snelheden. Een statische studie van het lager, in haar minst gunstige stand, volstaat om de bruikbaarheidsgrenzen te bepalen. Deze exacte hypothese ligt ten grondslag aan de volgende illustratie. Het belangrijkste criterium bij de keuze van een lager is het vermogen om axiale en radiale belastingen te dragen. Bij standaardlagers worden gegevens hierover verschaft door de fabrikant. Bij het 4-punts contactlager is er echter geen vastomlijnde methode om deze waarden te schatten. Hieronder wordt een intuïtieve benadering van dit probleem uiteengezet en de oplossing waar RMB voor heeft gekozen.

Grenzen van de belastbaarheid

Volgens de ISO-standaard [1] wordt grensbelasting gegeven door de vervorming van de

gedeelten die in contact met elkaar zijn, deze is gelijk aan 1/10.000 van de kogeldiameter. Deze vervorming leidt niet tot een waarneembare verandering in het gedrag van het lager. Dit is ook het criterium dat wij gebruiken.

Met de formule van Palmgren [2], aangepast voor de situatie van een 4-punts contactlager en een contacthoek van 45° , krijgen we:

$$(2) \quad Q := \left[9,81 \cdot D_w \cdot \sqrt{\frac{8}{2 \cdot D_w + 2 \cdot D_{roulage}}} \right]^2 N$$

waarin Q de totale belasting is die een kogel op een vlak moet weerstaan, D_w is de diameter van de kogel en $D_{roulage}$ de diameter waarop de kogel in contact staat met de schuine vlakken van het loopvlak aan de binnenkant van de loopbaan of de kern.

De ruwheid van de schuine vlakken die de loop van de kogels beperkt is N4 (N1 tot N3 voor een radiale lager) met een R_a van $0,2 \mu m$. Slechts een vervorming boven deze grens zal invloed hebben op het gedrag van het lager. Derhalve hebben we een vergrotingscoëfficiënt vastgesteld zodanig dat de vervorming binnen de grens van $0,2 \mu m$ blijft. Deze coëfficiënt is voor iedere kogeldiameter berekend met de volgende formule:

$$(3) \quad f := 0,179 + (-6,05 \cdot \ln(D_w))$$

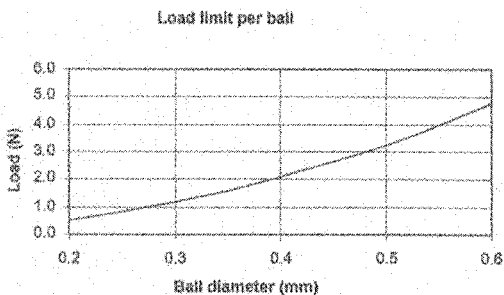
De toegestane verhoogde belasting Q_m die wordt gedragen door een kogel is dan:

$$(4) \quad Q_m := Q \cdot f$$

Totale belasting

Axiale belasting van het lager

Bij een axiale belasting draagt iedere kogel in

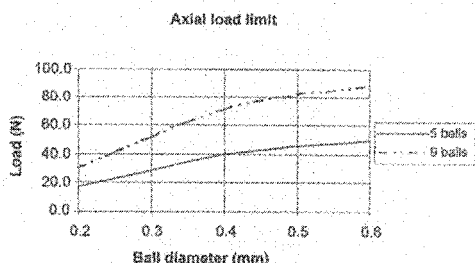


Afbeelding 3 toont de grensbelasting bij verschillende kogeldiameters.

gelijke mate de belasting. Stel F_a is de axiale kracht die wordt uitgeoefend op het midden van de loopbaan, dan is het resultaat:

$$(5) \quad F_a := \frac{Q_m \cdot z}{\sqrt{2}}$$

waarin z staat voor het aantal kogels in de lagers. De axiale krachten worden bepaald met behulp van de geparametriseerde curves van afbeelding 4.



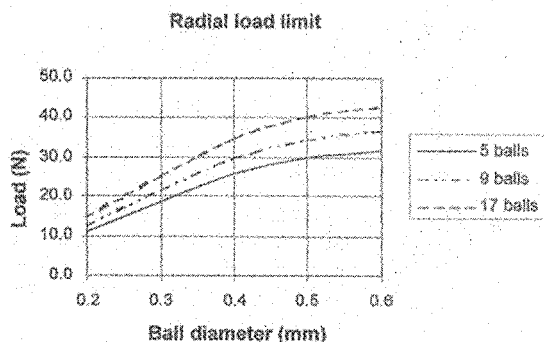
Afbeelding 4. Axiale grensbelasting bij verschillende aantallen kogels.

Radiale belasting van het kogellager

Bij een radiale belasting is het aantal kogels dat onderhevig is aan de radiale kracht bepalend. Bij een 4-punts contactlager, waar de kogels relatief ver van elkaar zijn geplaatst om de wrijvingscoëfficiënt te minimaliseren, nemen we aan dat de belasting wordt gedragen door twee kogels (waarbij één kogel dus beschouwd wordt als onstabiel).

Als F_r de radiale kracht is die wordt uitgeoefend op het lager, krijgen we de volgende vergelijking:

$$(6) \quad F_r := 2 \cdot Q_m \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{180}{z}\right)$$



Afbeelding 5. Axiale grensbelasting bij verschillende aantallen kogels.

Afbeelding 5 toont de maximum toegestane radiale kracht bij verscheiden kogeldiameters. De situatie van 17 kogels komt overeen met een lager dat volledig gevuld is met kogels en waarbij de kogelhouder is weggelaten. Dit is dus de maximale grens, waarbij het voordeel is dat een hoge belasting kan worden gedragen, maar die duidelijk minder voordelig is vanuit het gezichtspunt van efficiëntie. De grensbelasting F_r (17) berekent voor 17 kogels komt overeen met:

$$(7) \quad F_{r(17)} := \frac{z \cdot Q_m}{5.5}$$

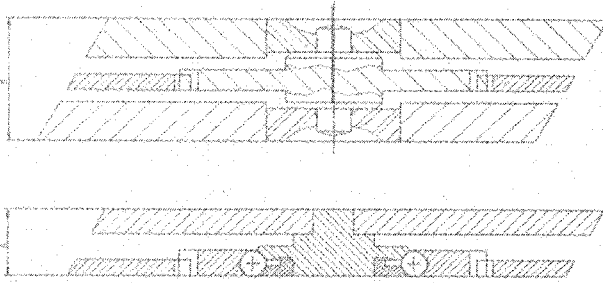
Toepassingen in de horloge- en uurwerkindustrie

Rotor

Voor het zelf opwindende mechanisme wordt de slingerende massa bevestigd aan de buitenkant van de lagerloopbaan. Het wordt door het vast te klinken of met behulp van een klem op zijn plaats gehouden. Het binnenste loopvlak van het lager is meestal met een of meer schroeven op de behuizing van het geheel bevestigd.

Een goed compromis moet worden gevonden tussen de speling van de lager en een minimale slingerbeweging van de slingerende massa (om ieder contact te vermijden tussen de loopbaan van het lager en de massa).

De kogellager in de horloge-industrie

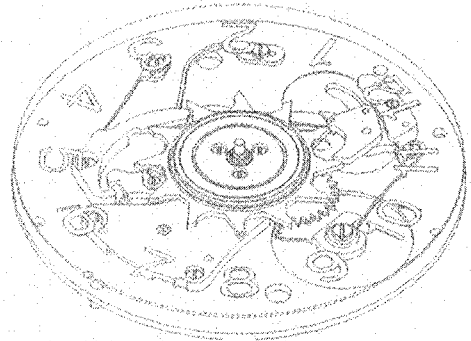


Afbeelding 6. Dwarsdoorsnede van twee verschillende oplossingen: boven de oorspronkelijke oplossing met een standaard ("steens") lager, onder de oplossing met een kogellager. De tweede oplossing maakte een vermindering in dikte van circa vijftig procent mogelijk.

Bewegingselementen

Het kogellager is, zoals in afbeelding 6 wordt getoond, een interessante oplossing voor de ontwerper als het gaat om ruimtebesparing.

Als elementen met een grote diameter en een minimaal wrijvingsmoment moeten worden



Afbeelding 7. Doorsnede van het mechanisme voor de beweging van de wijzerplaat.

gebruikt, is het kogellager de meest aangewezene oplossing.

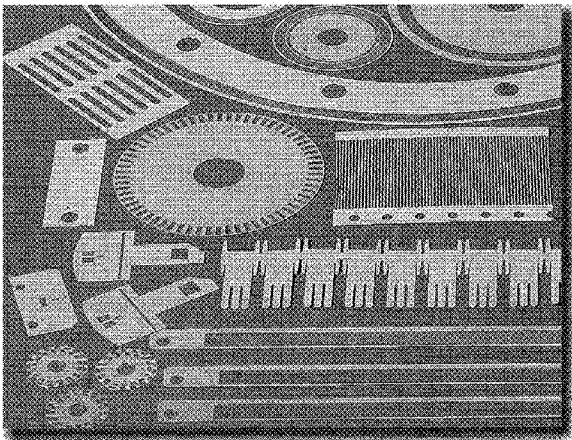
Schokvastheid

In de horloge-industrie worden schokken gemeten met behulp van een speciaal testappa-

STORK®

De specialisten in precisiedelen

Verbeter de kwaliteit van uw producten door het gebruik van onze geëtste en geëlectroformeerde precisiedelen. Benut onze expertise op het gebied van optische maskers, kodeerschijven, contacten, veren, opdampmaskers, nozzle platen, e.d.. Stuur ons uw tekening voor een vrijblijvende offerte.



Stork Veco, werken aan uw toepassing

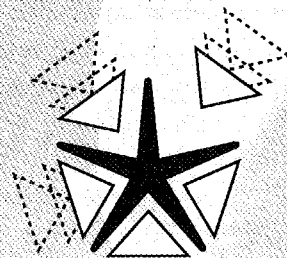
Stork Veco B.V.
Postbus 10
6960 AA Eerbeek
Nederland

Telefoon +31 313 672911
Telefax +31 313 655752
Internet www.StorkGroup.com

main supplier

Onze specialiteit is micro-assemblage van functionele componenten met buitenafmetingen tot maximaal 40x42x50 mm. Liefst met electronica/optica geïntegreerd.

Onze fijnmechanische kennis van serieproductie en assemblage is gebaseerd op onze intensieve contacten met de Zwitserse fijnmechanische industrie. Daardoor zijn wij tevens in staat u bij de engineering en product-optimalisatie ter zijde te staan.



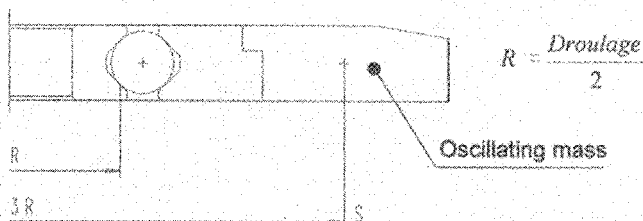
micro  montage

Postbus 3108 - NL 3760 DC SOEST - Holland

raat dat het mogelijk maakt om schokken te simuleren die overeenkomen met een val van 1 m, dat wil zeggen met een snelheid op het tijdstip van inslag van 4,33 m/s [3]. Dit komt overeen met een versnelling van 5000 g. Een horloge dat deze test weerstaat wordt als schokvast beschouwd.

Axiaal gedrag

De evaluatie van de grenswaarden voor de slingerende massa die bestendig is tegen een versnelling van 5000 g wordt uitgevoerd met de grenskrachten die kunnen worden uitgeoefend in de richting van de as. In de meeste gevallen is de massa niet symmetrisch ten opzichte van de as, waardoor sprake is van extra krachtmomenten. Deze momenten kunnen niet verwaarloosd worden. Een onderzoek is uitgevoerd waarbij werd aangenomen dat een versnelling van 5000 g een hefboomeffect uitoefent die overeenkomt met drie keer de afstand tussen het centrum van de kogelbaan en de binnenste ring en wordt gedragen door twee kogels.



Afbeelding 8. Principe voor de evaluatie van een belasting als gevolg van een axiale schok (5000 g).

Kogel-diameter	gem. Droulage op de binnenste ring	max. Massa
0,2 mm	1,0 mm	1,0 gram
0,3 mm	1,8 mm	1,7 gram
0,4 mm	3,6 mm	2,3 gram
0,5 mm	3,6 mm	2,6 gram
0,6 mm	6,6 mm	2,8 gram

Afbeelding 9. Grenswaarden van de massa voor schokvastheid in de richting van de as.

Radiaal gedrag

De grenswaarden vastgesteld voor de maximale radiale krachten maken het mogelijk de maximum massa te onderzoeken die de lagers zonder schade kunnen weerstaan onder een versnelling van 5000 g, verondersteld dat ze als schokvast zijn gespecificeerd. Een veiligheidsmarge is niet vereist, daar de hefboomarm verwaarloosbaar is in het geval van een radiale belasting.

Voor de berekening van de grenswaarde van de massa wordt de volgende formule gehanteerd:

$$(8) \quad m := \frac{F_r}{a} \cdot 1000$$

De tabel van afbeelding 10 geeft de waarden bij verschillende diameters van de kogels.

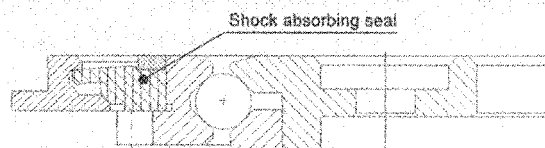
Z	diam. kogel	max. massa
5	0,2 mm	2,2 gram
5	0,4 mm	5,2 gram
5	0,6 mm	6,4 gram
9	0,2 mm	2,6 gram
9	0,4 mm	6,0 gram
9	0,6 mm	7,4 gram

Afbeelding 10. Grenswaarden van de massa voor hun radiale gedrag wat betreft hun schokvastheid.

Het zal duidelijk zijn dat het niet de axiale, maar de radiale schokken zijn die het gedrag van de 4-punts contactlagers bepalen.

Mechanismen voor schokdemping

De negatieve effecten van schokken kunnen worden beperkt door het lager te voorzien van een schokdempende afsluiting (zie afbeelding 11).

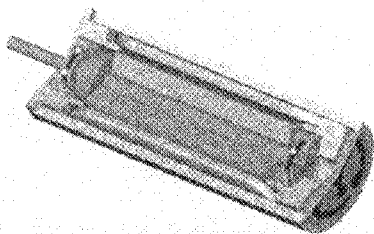


Afbeelding 11: Doorsnede van een met de lager geïntegreerde schokdempende voorziening.

Toepassingen van de 4-punts contactlager

Micromotoren

Nieuwe magnetische materialen hebben de ontwikkeling mogelijk gemaakt van "micro-positioners" met voldoende moment en kracht om specifieke toepassingen mogelijk te maken [5]. Deze motoren zijn onlangs beschikbaar gekomen [6]. Afbeelding 12 toont als voorbeeld een borstelloze DC micro-motor, gefabriceerd door RMB SA.



Afbeelding 12. De borstelloze DC motor met twee 4-punts contactlagers.

Deze micromotor heeft de volgende specificaties: afmetingen: 3 mm diameter, 7 mm lengte, snelheden tot 100.000 omw/min, maximum moment van 25 μ Nm, 4V - 35 mA.

De voordelen van het gebruik van deze typen lagers in micromotoren liggen met name in hun levensduur onder kleine belastingen (tot enkele duizenden uren) en in hun gelijktijdige belastbaarheid in zowel radiale als axiale richting.

Halfgeleiders

De 4-punts contactlagers worden gebruikt in assemblagerobots met hoge werkfrequenties. Ze worden gebruikt om de contact "tabs" van IC's te buigen.

Medische toepassingen

4-punts contactlagers worden geïntegreerd in micromechanismen die worden geïmplanteerd in het menselijk lichaam. Vanwege de strikte eisen bij medische engineering worden de lagers gemaakt van speciale materialen die zijn goedgekeurd voor deze toepassingen.

Onderzoek en ontwikkeling

Bij RMB wordt onderzoek verricht op de volgende terreinen:

- smering;
- schokdemping;
- geluidsvermindering;
- verbetering van de verbinding tussen het lager en de slingerende massa.

De standaard smering bestaat uit een krachtige dispersie van instrumentenolie voor hoge druk, waarbij een oliefilm ontstaat die als belangrijkste doel heeft het voorkomen van microlassen. Ook droge smering wordt gebruikt op NiP+Au-basis en aangebracht met een galvano-plastisch proces. Andere smeringen worden eveneens getest in het laboratorium.

Zoals boven al is uiteengezet zijn er al geïntegreerde systemen voor schokdemping ontwikkeld. Onderzoek gaat verder om de efficiëntie hiervan te verbeteren.

Vermindering van het geluid veroorzaakt door 4-punts contactlagers is onderwerp van voortdurende studie. In de horloge- en uurwerkindustrie wordt het geluidsniveau beoordeeld uitgaande van het menselijk oor en niet van een specificatie volgens een te kwantificeren maat. Het is dus afhankelijk van de beoordeling van een persoon en kan worden gezien als subjectief. Aan de andere kant kunnen de kast en bodemplaat het effect van een 'klankkast' vergroten en het geluid versterken.

Het proces van het aanzetten van de slingerende massa in het lager en het daar vastzetten kan, indien slecht uitgevoerd, het lager beschadigen of zelfs volledig kapot maken. We werken aan een beter systeem voor de verbinding van deze componenten.

Conclusie

Het gebruik van het 4-punts contactlager is interessant voor de ontwerper als hij de volgende zaken beoogt:

- ruimtebesparing, dus een ontwerp met een

kleinere omvang, met name wat betreft de dikte;

- verminderde kans op wrijving van roterende elementen met een grote diameter;
- een goede belastbaarheid in radiale en axiale richting;
- vermindering van de speling.

Nieuwe materialen, recente ontdekkingen op het gebied van microlagen en de voortdurende zoektocht naar een conceptuele verbetering stimuleren ons om de prestaties van het 4-punts contactlager te verbeteren.

Referenties:

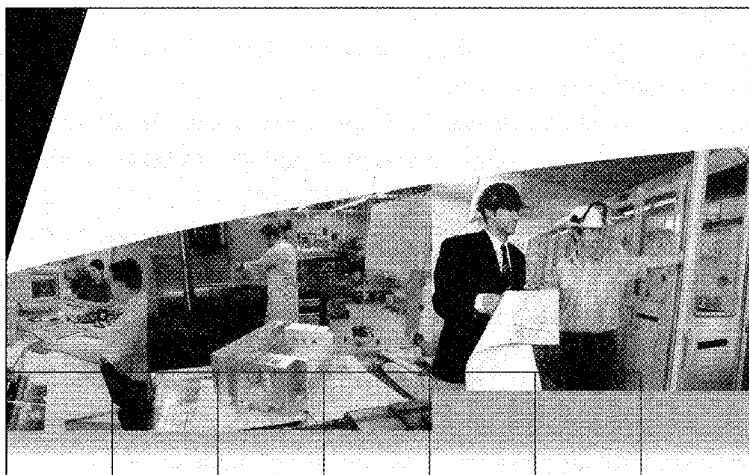
1. ISO 76, 1987.
2. A. Palmgren, "Rail and roller bearing engi-

neering", Burbank, Philadelphia, USA, 1959, p. 49-51.

3. ISO 1413, 1985.
4. A. Giet, L. Géminart, "Résistance des matériaux", Band 2, Dunod, Paris, 1969, p. 258.
5. M. Jufer, C. Péclat, A. Birkicht, "Electromagnetic High Speed Micromotor", Proceedings 26th Annual Symposium Incrementa Motion Control Systems and Devices, B.C. Kuo, (editor), Champaign, Illinois, July 1997, pp.159-164.
6. RMB SA, "catalogue smoovy®", Eckweg 8, CH-2500 Biel 6, 1997.

De auteurs zijn werkzaam voor RMB SA in Bienne, Zwitserland.

Voor meer informatie eveneens: RMB Benelux, telefoon 0162-523528, fax: 0162-512892



Part Of Your Process

DETRON®

Industrial Automation

Detron Industrial Automation ontwikkelt, ontwerpt én realiseert hightech producten, productie-equipment en elektronische systemen op klantenspecificatie (van definitie tot en met realisatie).

Specialisaties:

- Fijnmechanica
- Mechatronica
- Embedded Software
- Elektronica/Lay-out
- Motion
- Vision
- Operator Interfaces
- Procesbesturingen

Detron Industrial Automation
Tarweg 3
6534 AM, Nijmegen
Tel. +31 (0)24 - 352 17 01
Fax. +31 (0)24 - 352 18 01
Internet: www.detron.nl
E-mail: detron@detron-nijmegen.nl

Detron Industrial Automation is part of Detron Group N.V.

The Engineering People