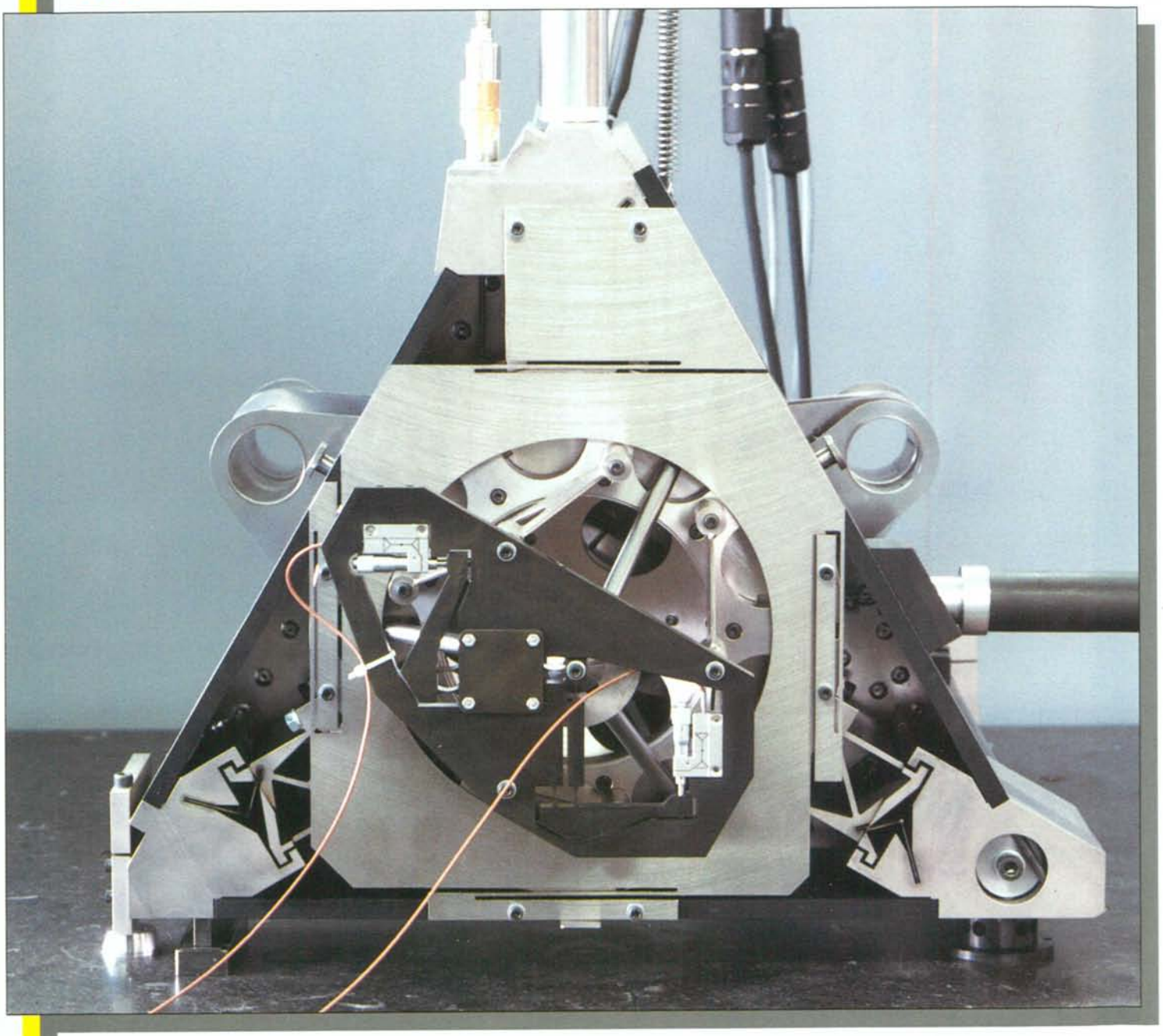
jaargang 34, nummer 1

# Mikromiek

NVFT

VAKBLAD VOOR PRECISIE-TECHNOLOGIE



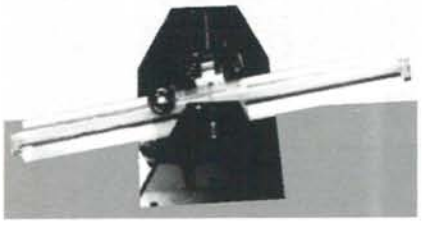
LIGA - techniek – Minilijmen – Vage logica
Energiebeheer in constructies – Inhoud 1993

Kent U een ander woord voor "betrouwbaarheid en competentie" bij het meten van lengtes en hoeken?

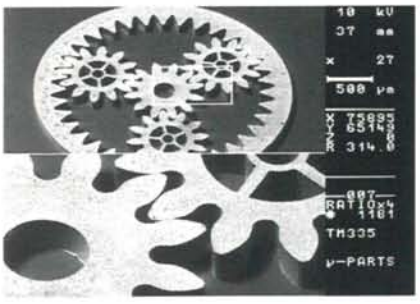
Informatie over al onze lengte- en hoekmeetsystemen ontvangt U van HEIDENHAIN NEDERLAND B.V., Tel.: (0 83 85) 4 03 00

HEIDENHAIN

## In dit nummer



*Zie pagina 7*



*Zie pagina 20*

*Zie pagina 25*

2 **Fuzzy control: zinvol en nuttig?**
Editorial

3 **Verenigingsnieuws/Actueel**

7 **Fuzzy logic**
J. Verkerk

11 **Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (16)**
P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker, M.P. Koster

17 **Jaarinhoud 1993**

20 **LIGA-techniek**
M.C. Dierselhuis

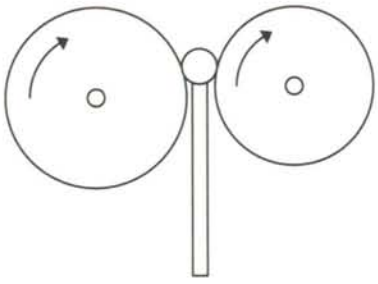
25 **Lijmen van kleine onderdelen**
J.A. Poulis, J.C. Cool, E.H.P. Logtenberg

31 **Produktinfo**

Bij de foto van de voorpagina:
Instrument vervaardigd bij de Centrale Technische Dienst van de TU Eindhoven ten behoeve van onderzoek naar kruip in wrijvingswieloverbrengingen.
Gevouwen bladveren – zie serie Constructieprincipes aflevering 7, (1992)4, figuur 71 – zijn hier door middel van draadvonken gemaakt.

# FIRMA CENTERLESS

Middenweg 145F - 1394 AH Nederhorst den Berg -
Telefoon 02945 - 4269 - Fax 02945 - 1751



- Numeriek draaien.
  (500 tussen de centers X ∅ 400)
  tot ∅ 65 mm vanaf staf.
- Centerloos slijpen - doorvoeren tot ∅ 100.
- Läppen-insteken en profileren
  tot ∅ 80 mm.
- Numeriek langdraaien
  t/m ∅ 20 mm.
- Numeriek frezen met palletwisselaar
  op bewerkingscentra.

**DENK NOU NIET DAT U MET UW HOOGGLANS- EN OPTISCH POLIJSTWERK BIJ ONS NIET WELKOM BENT**

Polgron Optics and Polishing Techniques is de enige onderneming in Nederland die zelfstandig hoognauwkeurig polijstwerk verricht. Het polijsten van produkten met een oppervlakteruwheid van Ra 0,001 tot 0,002 micrometer en een vormnauwkeurigheid van 0,05 micrometer is met de door ons ontwikkelde techniek niet alleen haalbaar voor vlakke, maar zelfs voor sferische en a-sferische vormen. Die kunst laten we niet afkijken. Evenmin gunnen we u een blik op prototypes of matrijzen van de meest gerenommeerde bedrijven die bij ons op de werkbank kunnen staan. Wellicht voor u juist de verzekering dat uw opdracht bij Polgron in goede handen is.

**P O L G R O N**
OPTICS & POLISHING TECHNIQUES
*Het grove onderscheid op 0,002 micrometer.*

Zernikepark 2-4, 9747 AN Groningen, tel. 050-7457 58/fax 050-634596

# INSTRUCON
INSTRUMENTS

Houdt zich bezig met het vervaardigen van prototypes, nulseries, proef- en zichtmodellen en het vervaardigen van precisie-onderdelen en instrumenten.

Deze zeer uitgebreide prototypeafdeling heeft een aantal unieke eigenschappen namelijk: een flexibele organisatie, goed geschoold personeel en een veelzijdigheid aan technieken.

Omdat er in veel prototypes veel kunststof onderdelen zitten, is het maken van deze onderdelen via Low Cost matrijzen een apart specialisme geworden.

*Voordelen zijn:*
- zeer geschikt voor aantallen tussen de 5 en 1000 stuks;
- grote materiaalvrijheid;
- grote produktvormvrijheid;
- ideaal voor nulseries;
- snelle levertijden.

Postbus 441
3440 AK WOERDEN
Telefoon: 03480 – 22952

Bierbrouwersweg 23
3449 HW WOERDEN
Telefax: 03480 – 22951

# PEMAMO Precisie Hoonapparatuur vanaf 0,6 mm

- mikrometrisch fijn verstelbaar
- verstelling direkt afleesbaar
- herhalingsnauwkeurigheid 0,001 mm
- hoogste precisie en oppervlaktekwaliteit voor iedereen bereikbaar
- ook geschikt voor gebruik op boormachines, draaibanken, freesbanken, e.d.

814: handbediend, bereik 0,6 - 1,5 mm
220: handbediend, bereik 1,5 - 20 mm
1040: handbediend, bereik 11 - 70 mm
AR-340: electronisch, bereik 1,5 - 70 mm

**PEMAMO Precisie Diamant Hoondoorns**
vanaf 0,6 mm t/m 80 mm voor doorgaande gaten
vanaf 2 mm t/m 80 mm voor blinde gaten
vanaf 5,0 t/m 70 mm voor konische gaten

*Met* ***PEMAMO*** *gaat het* ***EENVOUDIGER SNELLER NAUWKEURIGER***

**Technische Handelsonderneming**
**J. Krijgsman**
v. Blommesteijnstraat 25 - 3087 BX Rotterdam
Tel. 010-4950933* - Fax 010-4950494

Orgaan van de

NVFT

Nederlandse Vereniging voor precisie-technologie

**Uitgave:**
NVFT

**Redactie:**
Dr. ing. D. Blank
Ir. S. van de Graaf (hoofd redactie)
H.M.C. Heubers
Ir. P.C.J.N. Rosielle
H.G.J. Rutten
Ir. J.J. Veerman
Dr. ir. J. Verkerk
G.J. Verschragen

**Redactiesecretariaat:**
Mikroniek
Postbus 80.004, 3508 TA Utrecht
Telefoon: 030-531 710 / 531 639

**Redactie-adviesraad:**
Prof.ir. A. Anemaat
Prof. L.H.J.F. Beckman
Prof.dr.ir. H.F. van Beek
Prof.dr.ir. J. Bleeker
Ing. H. Bosch
Ir. P. Brinkgreve
Ing. M.F. Dierselhuis
Prof.ir. C. Heuvelman
Ir. D. de Hoop
A. Meijering
Dr.ir. J.A. Rietdijk
Prof.dr.ir. P.H.J. Schellekens
Prof.dr.ir. Ch. Snijders
Ir. G. Vaessen
Prof.dr.ir. A.J.A. Vandenput
Ir. D. van't Veen

**Advertenties:**
Buro Jet bv
Postbus 1890, 2280 RW Rijswijk
Telefoon: 070-3990000; Fax:070-3902488

**Abonnementen:**
Mikroniek
J. Verkerk
Postbus 80.004, 3508 TA Utrecht
Telefoon: 030-531 710 / 531 639
Fax: 030-522 267
Abonnementskosten Mikroniek:
Nederland ƒ100,-- per jaar
Buitenland ƒ125,-- per jaar
Alle prijzen excl. BTW

**Secretariaat NVFT**
Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven
Telefoon: 040-473 659; Fax: 040-460 645

**Vormgeving:**
Jurriaan Bol Design, Son

**Lay-out en realisatie:**
Twin Design B.V.,Culemborg

**Mikroniek verschijnt zes maal per jaar**
© Niets van deze uitgave mag overgenomen of vermenigvuldigd worden zonder nadrukkelijke toestemming van de redactie.
ISSN 0026-3699

Editorial

# Fuzzy control: zinvol en nuttig

Fuzzy control is "in". Je kunt geen tijdschrift openslaan of je valt er al weer over: een populair-wetenschappelijke uitleg, een voorbeeld van een toepassing, of misschien zelfs een meer diepgaande beschouwing waarin ook fuzzy-sets aan de orde zijn. Vanuit Japan naar ons overgewaaid moet het ook wel goed zijn, want niet voor niets hebben die natuurlijk zo'n succes met hun technologische aanpak gehad. En tot ergernis van Lofti Zadeh, die zijn geesteskind een westerse opvoeding had toegedacht maar de eerste twintig jaar noch in de USA noch in Europa enig gehoor wist te vinden. Nu dus wel. Beter laat dan nooit?

Als je een systeem wilt sturen of regelen moet je het dynamisch gedrag daarvan kennen, want je moet precies dàt ingangssignaal aanbieden wat het systeem de gewenste responsie weet te ontlokken. Dat kan op een aantal manieren. Als het mogelijk is het dynamisch gedrag vast te leggen in een wiskundig model kun je de gewenste responsie proberen terug te rekenen naar het daartoe benodigde ingangssignaal. Maar een dergelijke aanpak is niet gemakkelijk: je moet de fysica van het systeem kennen en bet behulp daarvan het model opstellen. Of het model moet door metingen worden vastgesteld. Daarna moet het inverse probleem nog worden opgelost, hetzij rechtstreeks of door middel van minimalisatie van een criterium. Wil je de weg van modelvorming niet op dan kun je die andere grote truc van de regeltechniek misschien benutten: terugkoppeling. Je neemt de gerealiseerde uitgang van het systeem, vergelijkt dat met de gewenste responsie, en op basis van het verschil grijp je in aan de ingang. Je moet wel voorzichtig zijn, want terugkoppelen kent het gevaar van instabiliteiten. Zo'n vijftig jaar geleden wisten Ziegler & Nichols ons al te vertellen hoe je dat moest doen: eerst de P-actie opvoeren, dan de I-actie instellen, eventueel ook de D-actie. Het werkte wel degelijk en is bovendien ook efficiënt gebleken: het PID-algoritme is heel wat eenvoudiger te realiseren dan een fuzzy regelaar.

Heeft fuzzy control dan geen waarde of betekenis? Laten we nog even voorzichtig zijn met een conclusie. Er zijn natuurlijk omstandigheden waarin modelvorming uiterst moeilijk blijkt en de klassieke aanpak ook geen werkzame oplossing weet te bieden. In die gevallen levert de fuzzy regelaar misschien een beter alternatief.
Maar laten we de zaak ook vooral niet omkeren. Met meer dan een eeuw ervaring met modelvorming van fysische (en andere) systemen, en ook met veel kennis van de in het verlengde daarvan liggende technieken voor het ontwerpen van een regelaar, hebben we een niveau bereikt waar de fuzzy regelaar voorlopig niet aan kan tippen. Dat is natuurlijk inmiddels ook meer dan alleen een PID-algoritme (adaptief, robuust, optimaal, schakelvlak, computed-torque ....).
Waar ligt de kracht van de fuzzy regelaar dan? Waarschijnlijk in het principe dat zo nauw aansluit bij onze menselijke intuïtie, want als we uitleg geven hoe we zelf een systeem besturen maken we ook graag gebruik van beslissingsregels van het type: if....., then....., else..... . Zou dit misschien ook meteen de reden kunnen zijn dat de zo vele niet-regeltechnici zich aangesproken voelen en zich nu op de fuzzy regelaar storten? Daar is uiteindelijk niet veel nieuws van te verwachten. Nee, laten we de regeltechnici nog wat tijd gunnen om het specifieke van het fuzzy regelconcept te onderzoeken, zodat ze misschien met resultaten komen die met andere concepten niet verkregen kunnen worden. Inderdaad, dat gaat dan zeker niet over het probleem van de omgekeerde slinger die rechtop gehouden moet worden!

Prof.dr.ir. J.J. Kok
TU Eindhoven
Faculteit Werktuigbouwkunde, Vakgroep Fundamentele Werktuigkunde
Faculteit Technische Natuurkunde, Vakgroep Systeem- en Regeltechniek.

# Verenigingsnieuws/Actueel

## Microsysteemtechnologie

Bedrijfsbezoeken:
op 24/25 maart 1994
IMM-Mainz
onderwerp: LIGA-technologie
en
op 27 april 1994
MESA Research Instituut Enschede
onderwerp: SILICIUM-technologie

De microsysteemtechnologie - meestal "MST" genoemd - maakt het mogelijk drie-dimensionale microstructuren uit metaal, kunststof en keramiek te fabriceren.
De MST is een snel in betekenis toenemend vakgebied dat in de precisietechnologie een belangrijke plaats zal gaan innemen.
Er zijn twee typen technologieën operationeel:
- de LIGA-technologie (Lithografie, Galvanik, Abformung) in het IMM (Institut für Mikrotechnik Mainz) te Mainz onder leiding van prof.dr. W. Ehrfeld;
- de SILICIUM-technologie, afgeleid van de IC-technologie, in het MESA Research Instituut (Micro-Elektronica, Sensoren en Actuatoren) onder leiding van prof.dr. J. Fluitman.
Voorbeelden van de microstructuren zijn micromotoren, micropompjes, connectoren, sensoren/actuatoren en met dimensies van 50-2000 micrometer.
Ter algemene oriëntatie op dit uitermate interessante vakgebied werd voor NVFT-leden en belangstellenden op 2 december j.l. een themamorgen in Utrecht georganiseerd. Er werd een algemeen beeld gegeven van de ontwikkelingen in de MST, gevolgd door concrete applicaties die de microsysteemtechnologie mogelijk maakt.
Ter afronding werden enkele praktische aspecten van de technologie en de fabricage toegelicht.

Tijdens deze bijeenkomst is tevens de afspraak gemaakt om bedrijfsbezoeken te gaan brengen aan IMM te Mainz en MESA te Enschede om daarmee een goed en volledig beeld te krijgen van de "state of the art" van de MST.
De data van deze bedrijfsbezoeken zijn inmiddels vastgesteld:
24 en 25 maart a.s. naar IMM-Mainz (busreis + hotelaccommodatie)
27 april a.s. naar MESA-Enschede (reis op eigen gelegenheid).
De deelnemers van de themamorgen op 2 december j.l., die zich hebben ingeschreven, hebben inmiddels het aanmeldingsformulier voor de bezoeken ontvangen. Andere geïnteresseerden kunnen een aanmeldingsformulier bij het secretariaat van de NVFT aanvragen.
Om het bezoek zo effectief mogelijk te maken, wordt van iedere deelnemer gevraagd vooraf aan te geven:
a. wat men van de technologie in het bijzonder wil weten;
b. welke applicaties interessant zouden zijn.
Het ligt in de bedoeling om na afloop van beide bedrijfsbezoeken een Landelijke Werkgroep MST te formeren om de informatie over MST van en naar de groep van NVFT-leden en belangstellenden te continueren.

*ir. G. van Drunen, secretaris NVFT.*

## Techni-show

Tentoonstelling; 21 t/m 26 maart 1994; Jaarbeurs Utrecht.
Vakbeurs voor hout-, kunststof- en metaalbewerkingsmachines, -gereedschappen, automatiseringsystemen, persluchtapparatuur en compressoren.

**Voor nadere informatie:**
Vereniging Technisch Centrum
Katwijkerlaan 62
2641 PJ Pijnacker
Telefoon: 01736-94226

## Het Instrument '94

Tentoonstelling; 11 t/m 15 april 1994; Jaarbeurs Utrecht.
De tentoonstelling is opgesplitst in twee branches met elk een clusterindeling.

**Industiële Automatisering:**
Procescontrole systemen; produktiebesturingssystemen; weeg- en doseerapparatuur; ijk- test- en kalibratie-apparatuur; robotapparatuur/systemen; meetinstrumenten, opnemers, sensoren visionsystemen; regelaars, actuatoren en control valves; analyse-apparatuur; datacommunicatie-apparatuur, bussystemen en registratie-apparatuur; besturingselektronica en industriecomputers; engeneering, software en integration diensten.
**Laboratorium Technologie:**
Diagnostica en analyse-apparatuur voor de gezonheidszorg; algemene laboratoriumbenodigdheden; analyse-apparatuur; wetenschappelijke apparatuur; optische apparatuur; glaswerk en toebehoren; laboratoriummeubilair.
Totaal staan er op de tentoonstelling meer dan 500 exposanten die totaal ruim 6000 fabrikanten vertegenwoordigen. De totale netto tentoonstellingsoppervlakte bedraagt ruim 32.000 $m^2$.

**Voor nadere informatie:**
Het Instrument
Postbus 152
3760 AD Soest
Telefoon: 02155-18204
Fax: 02155-23739

## IT-Scope '94

Beurs; 18, 19 en 20 mei 1994; Jaarbeurs Utrecht.
IT Scope '94 is de naam van de nieuwe manifestatie op het gebied van informatietechnologie, waarbij in een unieke opzet de functionaliteit van automatisering centraal staat.
IT Scope '94 heeft drie gezichten. Iedere beursdag richt IT Scope '94 zich met een ander thema op een specifieke doelgroep. Op de eerste dag staat de techniek van de systeembouw centraal. De tweede dag ligt het accent op softwarepakketten en op de laatste dag komen kant-en-klare oplossingen voor verschillende branches aan bod.
Een aantal inloopseminars en een bijeenkomst op de derde beursdag, waar

branche- en gebruikersorganisaties tijdens workshops en een plenaire bijeenkomst ervaringen kunnen uitwisselen, complementeren het programma.

## Symbolennorm technische tekeningen

Het Nederlands Normalisatie-instituut vraagt aandacht voor de Nederlandse norm NEN 5152 'Technische tekeningen-Elektrotechnische symbolen' en de nieuwe diskette met deze symbolen, die kan worden toegepast in systemen voor geautomatiseerd ontwerpen.
Tijdens de voorlaatste vakbeurs Elektrotechniek in 1991 is de eerste editie van de gedrukte versie van NEN 5152 gepresenteerd. De belangstelling daarvoor was toen overweldigend; de diskette zal danook zeker in een behoefte voorzien.

**Voor nadere informatie:**
Kreutzenbeck-Arinde CyberVision
Telefoon: 020 - 6 913 155
Fax: 020 - 6 913 515 of
NNI-informatiecentrum
Telefoon: 015 - 690 255
Fax: 015 - 690 130.

## Mesucora 94

Mesucora 94; Vakbeurs voor Meet-, Regel- en Automatiseringstechnieken; 30 mei t/m 3 juni 1994;
Porte de Versailles te Parijs.
In 1991 werd deze beurs bezocht door meer dan 56.000 bezoekers uit 42 verschillende landen; het aantal exposanten bedroeg 1.200. Voor de komende editie verwacht de beursorganisatie hetzelfde aantal exposanten te mogen herbergen en worden 40.000 bezoekers verwacht. De expositie-oppervlakte zal in 1994 50.000 $m^2$ bedragen. Mesucora 94 richt zich net als drie jaar geleden wederom op:
- Meet- en Regeltechnieken,
- Controletechnieken,
- Automatisering,
- Industriële informatica, etc.

**Voor nadere informatie:**
Promosalons Nederland
Postbus 19562
1000 GN Amsterdam
Telefoon: 020 - 6 248 670 / 6 239 204
Fax: 020 - 6 200 136.

## Engineering plastics en verbindingstechnieken

Symposium; 8 februari 1994;
TU Eindhoven.
In dit symposium worden de deelnemers op de hoogte gesteld van de kenmerkende eigenschappen van produkten uit engineering plastics. De praktijkaanbevelingen uit het project "Verbinden van Engineering Plastics" zullen gepresenteerd worden.
Tevens wordt een expositie voorzien.

**Voor nadere informatie:**
Bond voor Materialenkennis
Postbus 390
3330 AJ Zwijndrecht
Telefoon: 078 - 192 655
Fax: 078 - 195 735, en
Nederlands Instituut voor Lastechniek
Telefoon: 055 - 493 644.

## Themadagen en cursussen Mikrocentrum Nederland

De volgende themadagen zijn tot en met juni 1994 gepland:

*februari*
22 Value engineering
23 Zinkvonken en draadvonken
24 Barcodes: toepassing tracking/tracing

*maart*
1 Digitaliseren vrijevorm-vlakken
8 Printed Circuit Boards
15 Efficiënte montage/Design for assembly
17 Energietechniek en management
24 Elektronica in de automobieltechniek

*april*
12 Vaste kosten variabel maken
Tijdens "Het Instrument":
12, 13 of 14 Contactloos meten (microstructuren)
14 of 15 Clean rooms
14 Verspanende bewerkingen
21 Moderne fijnplaatbewerking
22 Bijzondere polymeren
26 Nieuwe meetmethoden, dimensies, geometrie
28 Smart cards

*mei*
3 Mechanisch bewerken van zachte materialen
17 Magazijnbeheer
19 Slijpen
26 Kalibratie en meetonzekerheid
31 Reinigen en ontvetten

*juni*
2 Octrooien
9 Verbinden/lassen van kunststoffen
14 PLC
16 Spanmiddelen
21 Spare parts management
23 Monitoring in de metaalbewerking

***Cursussen;*** voor details zie cursusprogramma, vermeld zijn de startdata:
- Kunststoffen (nieuw); Eindhoven 22 februari, Utrecht 24 februari.
- Spuitgietmatrijzen en -technologie (voor commerciële richting); Rotterdam 2 maart, Antwerpen 3 maart, Utrecht 8 maart, Eindhoven 10 maart.
- Matrijzen voor kunststoffen A; Antwerpen 28 februari, Eindhoven 1 maart, Almelo 2 maart, Utrecht 3 maart.
- Matrijzen voor kunststoffen B; Utrecht 22 februari.
- Surface mount technology; Utrecht 22 maart, Rotterdam 18 april, Zwolle 21 april.
- PCB layout; Eindhoven 24 februari (avond), 23 februari (dag), Utrecht 7 maart, Eindhoven 20 april.
- Magazijnbeheer; Utrecht 1 maart, Eindhoven 3 maart.
- Auditing-NEN-ISO 9001/9002; Eindhoven 3 maart.
- CNC programmeren; Frezen: Eindhoven 7 maart, Draaien: Eindhoven 8 maart.
- Draadvonkerosie; Eindhoven 10 maart, Zwolle 16 maart.
- Basiscursus stanstechniek; Eindhoven 14 maart, Rotterdam 28 maart, Eindhoven 29 maart.
- Vonkerosie; Zwolle 24 maart, Rotterdam 28 maart, Eindhoven 29 maart.

***Workshops*** (één dag)
- Interne audit – NEN-ISO 9001/9002 Utrecht 11 maart, Zwolle 24 maart.
- Kalibratiesysteem – NEN-ISO 9001/9002 Eindhoven 3 maart, Rotterdam 10 maart.
- E.S.D. en normen Rotterdam 25 februari, Eindhoven 3 maart

**Voor nadere informatie:**
Mikrocentrum Nederland
Kruisstraat 74
5612 CJ Eindhoven
Telefoon: 040 - 432 503
Fax: 040 - 450 169.

## KEMA keurt machines voor EG-markt

Kema in Arnhem is door de Nederlandse overheid aangewezen als "notified Body" voor de keuring van machines. Dat wil zeggen dat KEMA formeel is gemachtigd machines te keuren voor de gehele EG-markt. Wordt een machine goedgekeurd, dan mag de fabrikant deze voorzien van het felbegeerde CE-merk: het Europese paspoort waarmee produkten toegang krijgen tot de EG-markt en landen van de Europese Vrijhandels Associatie.
Sinds 1 januari 1993 is de Europese machinerichtlijn van kracht geworden. Nu nog geldt een overgangsregime van twee jaar. In 1995 moeten alle fabrikanten aan de nieuwe Europese Richtlijnen voldoen. De machinerichtlijn stelt eisen aan machines met betrekking tot veiligheid, gezondheid en milieu.
Fabrikanten van machines kunnen bij KEMA laten verifiëren of hun produkten aan de Europese Richtlijn(en) voldoen en of zij het CE-merk mogen aanbrengen. Ook voor vragen over veranderingen en consequenties voor bepaalde produkten kunnen fabrikanten bij KEMA terecht.

**Voor nadere informatie:**
N.V. KEMA
Postbus 9035
6800 ET Arnhem
Telefoon: 085 - 569 111
Fax: 085 - 515 606.

## Multin Technology Group

De vraag van de industrie naar een professionele multidisciplinaire partner op het gebied van produktontwikkeling neemt meer en meer toe. De Multin organisatie, een combinatie van bedrijven, ondersteunt de industrie op het gebied van advies, ontwerp, prototypebouw, produktie en gespecialiseerde nazorg. Technotek en ProSpec maken beide deel uit van de Multin Technology Group, een dienstverlenende organisatie, die geen eigen produkten of systemen heeft.
De groep bestaat uit vijf gerenommeerde bedrijven:
- Technotek te Zoetermeer, Mechatronica en industrieel ontwerpen;
- ProSpec te Zoetermeer, Prototypen, functiemodellen en kleine series;
- Lenka te Nijmegen, Opto-elektronische systemen;
- Technolution te Gouda, Automatiseringstechniek;
- Dinfa te 's-Gravenzande, Precisie-onderdelen en apparatuur.

Technotek en ProSpec, die tot op heden op twee afzonderlijke locaties gevestigd waren, werken vaak samen in grote projecten. Om die redenen zochten deze twee Multinpartners een gezamenlijke huisvesting, met niet alleen meer ruimte maar ook op een betere locatie. De nieuwe bedrijfsruimte in Zoetermeer heeft een bruto vloeroppervlak van 1300 vierkante meter.
Het adres is: Koraalrood 153, Industrieterrein Lansinghage, 2718 Zoetermeer; telefoon: 079 - 620 600.

## "Normalisatie-Nieuws" tien maal per jaar

De tweemaandelijkse nieuwsbrief "Normalisatie-Nieuws" van het Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) zal vanaf 1994 tien maal per jaar verschijnen: iedere maand, met uitzondering van de maanden januari en augustus.
"Normalisatie-Nieuws" is in augustus 1993 begonnen als plaatsvervanger van "Normalisatie Magazine". De uitgave wordt verzorgd door het bureau Communicatie & Evenementen van het NNI en bevat nieuws over normalisatie, certificatie en mededelingen van het NNI en het Nederlands Elektrotechnisch Comité (NEC).
Terugkerende onderwerpen zijn:
- de Europese regelgeving en normalisatie;
- kwaliteitszorg;
- cursussen en bijeenkomsten op normalisatiegebied;
- algemene uitgaven over normalisatie.

De nieuwsbrief wordt in een oplage van zesduizend exemplaren verspreid onder NNI- en NEC-relaties en overige belangstellenden.
Het adres van de redactie en de abonnementenadministratie is:
Nederlands Normalisatie-instituut
Normalisatie-Nieuws
Postbus 5059
2600 GB Delft
Telefoon: 015 - 690 302
Fax: 015 - 690 232.

## CE-merk Machinerichtlijn en EMC-richtlijn

Workshops 'Machinerichtlijn'; Eindhoven, 8 februari en 1 maart; Utrecht, 22 februari en 22 maart; Apeldoorn, 5 april en 3 mei; Breda, 19 april en 17 mei.
Workshop EMC-richtlijn; Apeldoorn, 17 februari.
Wegens grote belangstelling van het afgelopen jaar herhaalt TNO Certification in 1994 op verschillende plaatsen in het land de eerder opgezette 'Workshop Machinerichtlijn'. Daarnaast wordt een workshop 'EMC-richtlijn' gehouden, omdat op veel machines tevens de EMC-richtlijn van toepassing is.
In januari 1995 dient de Europese Machinerichtlijn definitief te worden toegepast en eindigt de overgangsperiode waarin machines nog volgens 'oude' wetgeving en normen geproduceerd mogen worden. Enerzijds opent het verplichte CE-merk voor produkten zonder enige belemmering de gehele markt van de Europese Unie en de landen van de Europese Vrijhandels Associatie (EVA). Anderzijds levert de interpretatie van de richtlijn voor machinefabrikanten en -importeurs nog veel problemen op.
De tweedaagse workshop Machinerichtlijn leidt de deelnemers stap voor stap door het proces dat moet worden doorlopen voor het verkrijgen van het CE-merk. Omdat op de meeste machines het CE-merk mag worden aangebracht op basis van een 'fabrikanten-eigenverklaring', wordt vooral bij deze procedure uitvoerig stilgestaan. Uniek is dat de deelnemers tijdens de workshop onder

deskundige begeleiding hun eigen machine kunnen toetsen aan de machinerichtlijn en zo vertrouwd raken met interpretatie en toepassing van de richtlijn.
De workshop EMC-richtlijn heeft een vergelijkbare opzet. Aan beide workshops wordt meegewerkt door deskundigen die in de praktijk betrokken zijn bij keuringen voor het CE-merk.
**Voor nadere informatie:**
Stichting TNO Certification,
Postbus 541
7300 AM Apeldoorn
Telefoon: 055 - 493 406 / 493 710.

## Rendementsverbetering opleiding VEV

In het kader van de rendementsverbetering van de elektrotechnische opleidingen heeft VEV in een aantal delen van Nederland een proef opgezet om samen met de opleidingsbedrijven te zorgen voor een beter eindresultaat van de leerlingen die opgeleid worden via het leerlingenwezen.
In een convenant dat is afgesloten tussen de overheid en de sociale partners is afgesproken te trachten dit aandeel te verhogen door een aantal maatregelen. Eén daarvan is het optimaliseren van de opleidingen binnen de bedrijven. Verder is een vaardighedenregistratie ontwikkeld zodat kan worden vastgesteld of een leerling rijp is voor een tentamen dat tweemaal gratis kan worden afgelegd. Als men dan het tentamen nog niet gehaald heeft moet voor het nogmaals afleggen betaald worden; het zal leerlingen motiveren goed voorbereid aan een tentamen deel te nemen.
Per 1 augustus 1994 kan de erkenning als erkend leerbedrijf door alle bedrijven die VEV-opleidingen verzorgen worden aangevraagd.

## Lange Vakopleiding Werktuigbouwkunde SOM

SOM-info, het officiële huisorgaan van SOM Opleidingen Metaal maakte in het december nummer melding van de voortgang van de Lange Vakopleiding Werktuigbouwkunde.

### Waarom LVO?

Enige jaren geleden is gebleken dat een groot deel van de MBO-cursisten al in het eerste of tweede jaar met de opleiding stopte. Een aantal organisaties wilde daaraan iets doen. De voormalige VMTS (nu Vereniging BVE) en de werkgeversorganisaties Vereniging FME en Metaalunie hebben daarom het initiatief genomen de Lange Vakopleiding Werktuigbouwkunde te ontwikkelen. Met de LVO moeten afvallers worden opgevangen en de meer praktisch gerichte cursisten een beroepsopleiding op MBO-niveau aangeboden worden. Inmiddels is de opleiding een gezamenlijke verantwoordelijkheid van de MBO-colleges, de streekscholen, het bedrijfsleven en de SOM.

### Twee fasen

Bij de start van het cursusjaar 1993-1994 is de tweede fase van de Lange Vakopleiding Werktuigbouwkunde/LVO ingegaan. In 1991 is deze nieuwe vierjarige beroepsopleiding op 28 MBO-colleges gestart. Bijzonder aan deze opleiding is dat de eerste twee jaar bestaan uit volledig dagonderwijs met een praktijkgedeelte en het derde en het vierde jaar worden ingevuld volgens het leerlingwezen op voortgezet niveau. De eerste cursisten van de LVO hebben het afgelopen cursusjaar de eerste fase van het dagonderwijs afgerond. Dit cursusjaar moeten zij kunnen starten met de tweede fase. Dat betekent dat zij een leerplaats in een bedrijf nodig hebben voor de praktijk en in de gelegenheid moeten zijn de theorie aan een streekschool te volgen.

### Naar all-round vakmanschap

Cursisten die de eerste twee leerjaren van de LVO hebben gevolgd, hebben volledig dagonderwijs gehad in drie beroepsrichtingen: Verspaning, Constructie/Lassen en Montage/Onderhoud. De lesstof in deze twee jaar is gebaseerd op het leerplan van MTO-Werktuigbouwkunde en de programma's van drie primaire SOM-opleidingen.
Aan het einde van de eerste twee jaar hebben cursisten vijf certificaten behaald: Basisvaardigheden, Verspanen, Constructie, Montage/Onderhoud, Wis- en Natuurkunde/Mechanica met Algemene Vaardigheden, en van het betreffende MBO-college een schoolcertificaat ontvangen.

De lesstof van het derde en vierde leerjaar is gebaseerd op drie voortgezette SOM-opleidingen: Machinaal Verspaner (rond/vlak), Constructie- en Apparatenbouwer (allround) en Monteur Industrieel Onderhoud (fijn-)mechanisch. Cursisten kiezen aan het begin van het derde leerjaar voor één van deze richtingen.
Zowel het niveau van praktijk als van theorie en de mogelijkheden voor verdere doorgroei naar allround vakmanschap of naar uiteindelijk een (midden-)kaderfunctie zijn in vele gevallen aanwezig. Voor het derde en vierde leerjaar wordt een leerovereenkomst afgesloten. De SOM-rayonconsulent adviseert het bedrijf over de keuze van de beroepsrichting en het te volgen leertraject. De SOM is verantwoordelijk voor de examinering van het tweede deel.
Bij voldoende resultaat krijgt de cursist een SOM-diploma voortgezet leerlingwezen van de gekozen opleiding. De cursist ontvangt het LVO-diploma wanneer hij het SOM-diploma en het schoolcertificaat voor het onderdeel Maatschappelijke en Culturele Vorming heeft behaald.

### OOM-subsidie

Stichting OOM, het Opleidings- en Ontwikkelingsfonds voor het Metaalbewerkingsbedrijf vindt dat het opnemen van deze cursisten een zeer verantwoorde en noodzakelijke investering is in de vorming van allround vaklieden en het middenkader. Daarom ondersteunt OOM deze investering door dit cursusjaar bedrijven met een leerplaats een subsidie van *f* 10.000,- te verstrekken. Voor informatie over deze subsidie kunt u contact opnemen met Stichting OOM (01823 - 21 500).
**Als u al bedrijf geïnteresseerd bent in het aanbieden van een leerplaats, neemt u dan contact op met de rayonconsulent in uw regio.**

**Voor uitvoerige informatie:**
SOM, Woerden
de heren P. Verhoeven/
G. van de Broek/ A. van der Leest
Telefoon: 03480 - 10 955.

# Fuzzy Logic

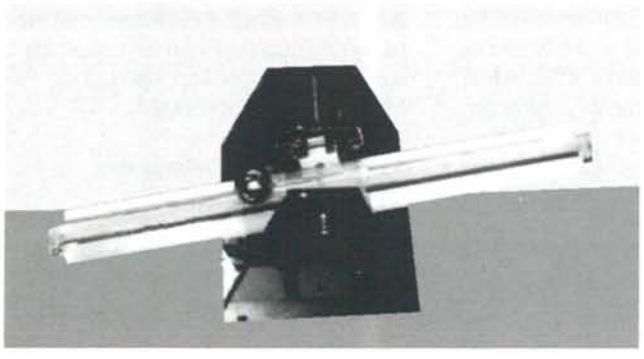
Jaap Verkerk

**Mensen kunnen sommige besturingsproblemen, die moeilijk te automatiseren zijn, uitstekend oplossen. Ook wanneer het met een PID-regelaar niet lukt, lukt het met fuzzy logic vaak wel een goede besturing te maken. Fuzzy logic (vage logica) is een nieuwe regelstrategie waarmee regelproblemen van complexe aard op relatief eenvoudige wijze zijn op te lossen. Het wordt tegenwoordig toegepast in wasmachines, fotocamera's, bij de regeling van verkeerslichten en procesbesturing. Ook wordt het toegepast voor servo-regelingen.**
**Om een beter inzicht te krijgen in de mogelijkheden en de kwaliteit van een fuzzy-regelaar hebben de Fijnmechanische studenten Dennis Dunne en René Jansen een opstelling gebouwd die de kwaliteit van de fuzzy-regelaar demonstreert. Daarvoor werd een lastig te regelen instabiel proces gekozen: het dynamisch regelen van de positie van een kogel die op een wip balanceert, zie figuur 1.**

## Geschiedenis

De klassieke (booleaanse) logica is gebaseerd op waarheden en onwaarheden. Zij is genoemd naar de Engelse wiskundige Boole die rekenregels ontwikkelde waardoor een wiskundige benadering van de logica mogelijk werd. In 1923 werd door B. Russell (psycholoog) in een artikel onder de titel "Vagueness" uiteengezet dat de klassieke logica gebaseerd is op het concept van een heldere en eenduidige vraagstelling waarop maar één antwoord mogelijk is. In de praktijk van het dagelijkse leven komen deze zwart-wit situaties nauwelijks voor maar zijn vraagstellingen en antwoorden veel genuanceerder en vager.
Russell constateerde dat de menselijke logica zeer effectief met vage ideeën en probleemstellingen kan omgaan en conclusies kan produceren op basis van vage uitgangspunten. Op basis van de klassieke logica bleken wiskundigen echter niet in staat beslisingsstrategieën te modelleren die met betrekkelijke zekerheden kunnen omgaan.
Pas in 1965 werd voor het eerst een bruikbare wiskundige benadering van vage regels voorgesteld door L.A. Zadeh (psycholoog aan de Universiteit van Californië). Met vaste rekenregels konden vage problemen worden opgelost met eenzelfde effectiviteit als mensen dit doen. Kort daarna definieerde Zadeh logische termen als waarheidsgehalte, en vage rekenregels (fuzzy sets).
Er was nog een aantal problemen die om oplossing vroegen:
- de definitie van het waarheidsgehalte bleef zeer subjectief,
- er werden verschillende soorten waarheden gebruikt, zodat een meerdimensionale waarheidsruimte gevormd werd,
- er was geen specifieke set logische regels, maar ze waren aangepast aan het specifieke probleem.

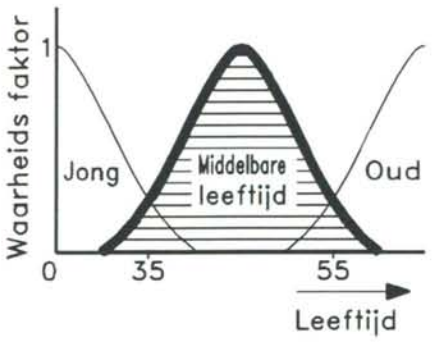
In 1978 werd door Baldwin (University of Bristol) een methode geïntroduceerd die uitgaat van waarheidsgehalten (truth values) in een en dezelfde waarheidsruimte. Met deze aanpak bleken de resultaten van het menselijk redeneren goed te evenaren.
Vage logica en de wiskundige benadering ervan speelt een grote rol in de psychologie. Internationale uitwisseling vindt onder andere plaats in de International Fuzzy Systems Association ISFA.



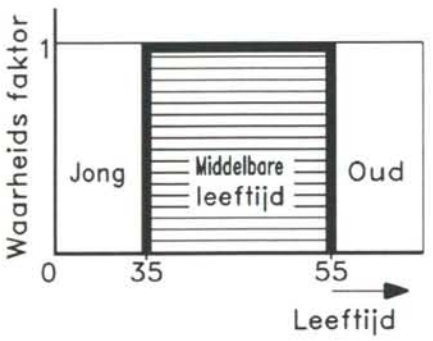
Figuur 1. De kogel die dynamisch balanceert op de wip. In dit geval wordt een bepaald bewegingspatroon opgelegd, zodat de kogel heen en weer rolt.

## Fuzzy logic

Met de mens als regelaar worden veel besturingsproblemen opgelost door een gedoseerde actie die op ervaring berust. Gevoelsmatig worden de regelacties met "een beetje meer" of "een beetje minder" bijgestuurd. Dit in tegenstelling tot de technisch logische begrippen die alleen ja of nee, of 0 of 1 kunnen zijn.
Het verschil in benadering bij vage logica en de traditionele – booleaanse – logica is het beste uitleggen aan de hand van een eenvoudig voorbeeld:
Iedereen heeft een bepaalde voorstelling van het begrip 'middelbare leeftijd'. Laten we ervan uitgaan dat de middelbare leeftijd 45 is. Toch kan van mensen tussen de 35 en 55 jaar niet gezegd worden dat ze beslist niet van middelbare leeftijd zijn. Er zijn geen scherp gedefinieerde grenzen, maar voor het gevoel is het waarheidsgehalte van de bewering afhankelijk van de leeftijd zelf. In figuur 2a wordt een vage verzameling weergegeven met een waarheidsgehalte dat varieert tussen 0 en 1. De verzameling wordt begrensd door een zogenaamde *lidmaatschapsfunctie*. Deze geeft aan hoe het waarheidsgehalte afneemt wanneer de leeftijd verder van de middelbare leeftijd verwijderd is.
In dezelfde figuur staan ook de verzamelingen 'jong' en oud' afgebeeld. Doordat de gebieden elkaar overlappen kan de ene vage verzameling geleidelijk overgaan in een andere, waardoor het mogelijk wordt een waarde te geven aan een subjectief begrip. Voor iemand jonger



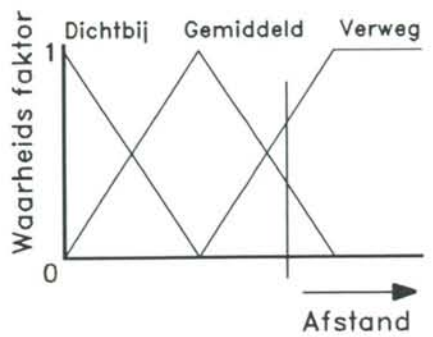

Figuur 2a. Vage verzameling.




Figuur 2b. Concrete verzameling.

dan 45 jaar bestaat dus een waarheidsgehalte zowel voor bewering "jong" als voor de bewering "middelbaar".

Gewone, concrete verzamelingen, zoals in figuur 2b, kennen scherp afgebakende grenzen. Volgens deze figuur is iemand van 34 jaar pas na zijn verjaardag van middelbare leeftijd. Deze onnatuurlijke overgang ontstaat doordat het waarheidsgehalte alleen 0 of 1 kan zijn. Door de vorm van de verzameling in figuur 2a te vereenvoudigen tot een driehoek blijft het nog steeds een vage verzameling, maar het waarheidsgehalte is nu rekentechnisch eenvoudiger te bepalen. Deze vereenvoudiging mag worden toegepast omdat door onderzoek bekend is dat een vage regelaar vrij ongevoelig is voor de exacte vorm van de verzameling. Van belang is dat de lidmaatschapsfunctie continu is en geleidelijk verloopt.




Figuur 3a. Opdeling van een traject in drie verzamelingen: dichtbij, op gemiddelde afstand, verweg. Wanneer een auto van rechts naar links rijdt zal hij alle drie de verzamelingen doorlopen.

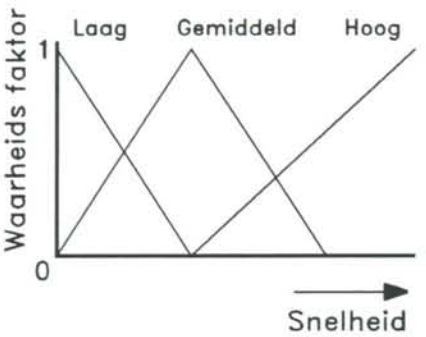
| **afstand** | dichtbij | gemiddeld | ver weg |
|---|---|---|---|
| **snelheid** | | **remkracht** | |
| laag | middelmatig | niet | niet |
| gemiddeld | hard | middelmatig | niet |
| hoog | hard | hard b) | middelmatig a) |

Tabel 1. Kennisregels. In de tabel kunnen nu de intuitief te kiezen waarden worden ingevuld voor het afremmen. In dit voorbeeld kan worden gekozen uit hard, middelmatig en niet remmen. a) en b) zijn gerelateerd aan de kennisregels A en B in figuur 4.

### Fuzzy logic als regelaar

Hoe fuzzy logic als regelaar werkt is het beste uit te leggen aan de hand van een ander voorbeeld: een auto die met enige snelheid op een obstakel af rijdt en tijdig tot stilstand moet komen.
Daarvoor zijn drie stappen noodzakelijk:

- het bepalen van de afstand tot het obstakel en de snelheid van de auto in (menselijke) vage termen, de *fuzzificatie (vervaging)*;
- het toevoegen van *kennisregels* om de gewenste acties en het waarheidsgehalte ervan te bepalen;
- het samenvoegen van de gewenste acties op basis van hun waarheidsgehalte tot een eenduidig stuursignaal, de *defuzzificatie ('ontvaging', verduidelijking)*.



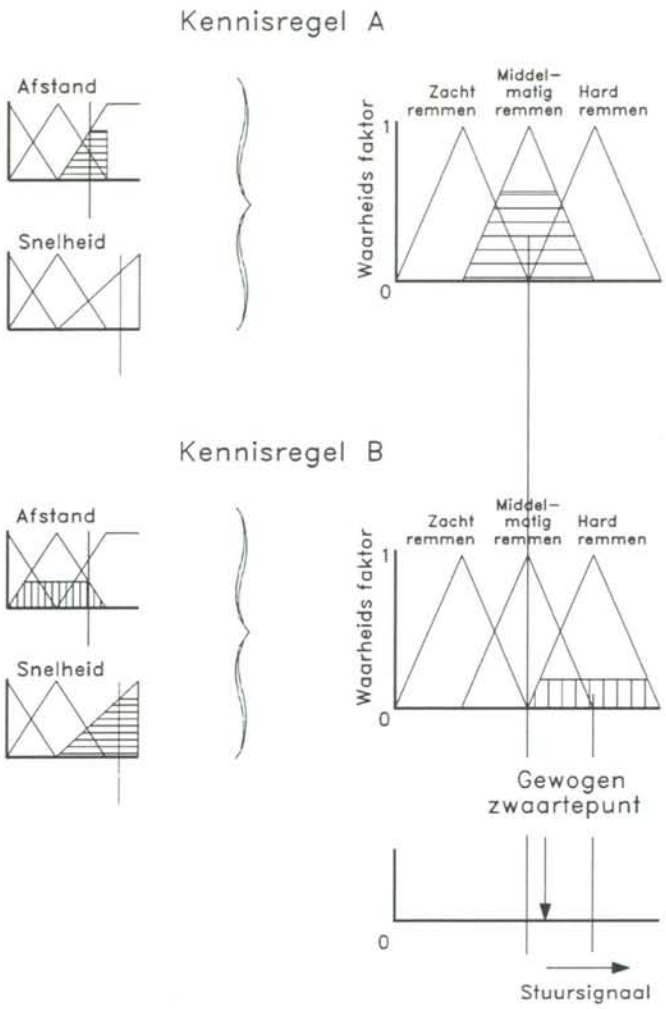

Figuur 3b. Het stuursignaal bestaat ook uit een drietal lidmaatschapsfuncties. De met de kennisregels uit de afgelegde weg en snelheid berekende waarheidsgehalten worden in de figuur ingevoerd.

### Fuzzificatie

Om te bepalen hoe hard er geremd moet worden, moeten we weten of de auto al dichtbij, op gemiddelde afstand of op grote afstand is en wat het waarheidsgehalte is.
Dit wordt als volgt aangepakt. Het tot het obstakel af te leggen traject kan in drie vage verzamelingen worden opgedeeld, zoals afgebeeld in figuur 3a: dichtbij, op gemiddelde afstand, verweg. Wanneer een auto op het obstakel af rijdt zal hij alle drie de verzamelingen doorlopen.
Het waarheidsgehalte van de positie die de auto op elk moment heeft wordt nu bepaald door naar het waarheidsgehalte van de overlappende verzamelingen te kijken. Hetzelfde kan met de snelheid gedaan worden. Deze omzetting van de invoergegevens afstand en snelheid naar vage waarden wordt *fuzzificatie (vervaging)* genoemd.

### Kennisregels

Wanneer we nu zowel naar de afstand tot het obstakel als naar de snelheid van de auto kijken, dan kunnen we aangeven hoe hard we moeten remmen om een botsing met de muur te voorkomen. Een makkelijk hulpmiddel is het invullen van de matrix van tabel 1 door te kiezen voor hard, middelmatig of zacht remmen. Hier komt dus onze kennis van het proces, het autorijden om de hoek kijken, door het formuleren van zogenaamde *kennisregels*. Bijvoorbeeld: als de auto vlakbij de muur is en de snelheid is middelmatig, dan moeten we *hard* remmen.
In een drie bij drie matrix, zoals in dit eenvoudige geval, zijn negen kennisregels opgeslagen. Het uiteindelijke aantal kennisregels valt echter mee omdat we hier maar drie regelacties onderscheiden. We zullen dus waarschijnlijk een aantal kennisregels kunnen combineren.




Figuur 4. Defuzzificatie. Afstand en snelheid leveren met de kennisregel A en B waarheidsgehalten voor middelmatig en hard remmen. Het gewogen zwaartepunt van beide is bepalend voor de grootte van het stuursignaal naar de remmen.

### Defuzzificatie

Het omzetten van vage waarden naar concrete waarden voor een stuursignaal gebeurt op omgekeerde wijze en wordt *defuzzificatie (verduidelijking)* genoemd.
Het stuursignaal kent de gekozen drie lidmaatschapsfuncties: niet remmen, zacht remmen, hard remmen. De grootte van het stuursignaal wordt berekend met de kennisregels berekende en het waarheidsgehalte van snelheid en afgelegde weg voor elk van de drie functies.
In de grafiek van figuur 4 wordt dit als trapeziumvormige oppervlakken afgebakend die het waarheidsgehalte weergeven. Hieruit kan een waarde voor het stuursignaal bepaald worden door bijvoorbeeld de ligging van het gezamenlijke zwaartepunt te berekenen. De ligging van het zwaartepunt langs de horizontale as bepaalt nu eenduidig de grootte van het stuursignaal dat naar de remmen gaat.

Figuur 5. Proefopstelling met een PC, waarin een fuzzy besturingskaart zit, voor de besturing.

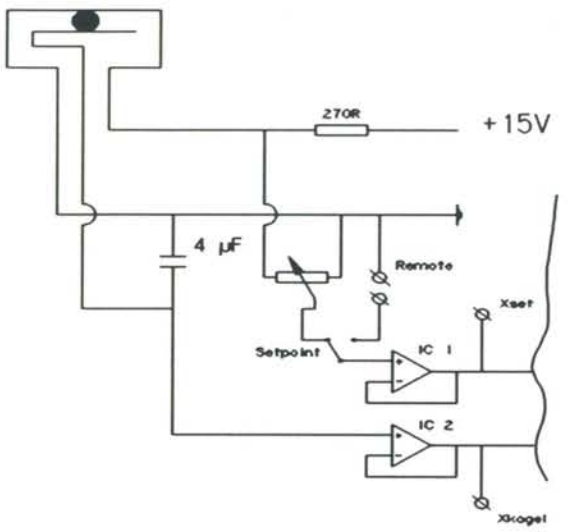
### De proefopstelling

René en Dennis bouwden de proefopstelling, figuur 5, met de kogel die op de wip moet balanceren door de wip in het midden aan te drijven. Voor het besturen van het proces moesten eerst enkele sensoren worden aangebracht om de positie en snelheid van de kogel, en de stand van de wip te detecteren.

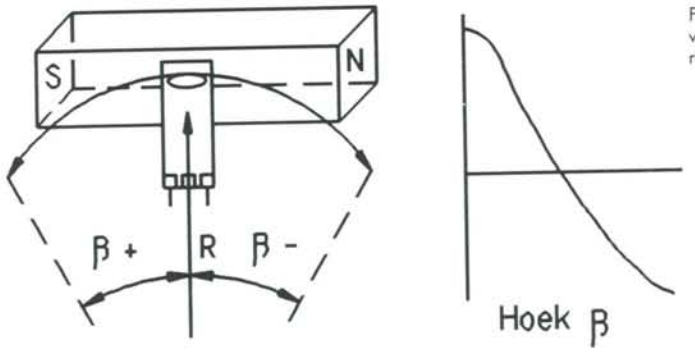
#### Positiesensor

Voor het regelen van de positie van de kogel op de wip is het zaak op elk moment de positie van de kogel te kennen. Dennis en René lieten de kogel daarvoor over twee draden rollen, een weerstanddraad en een meetdraad die in de lengterichting van de wip gespannen waren. Over de weerstanddraad werd een spanning van 15 Volt aangebracht. Tijdens het rollen van de kogel over de draad was er nog al wat ruis in het signaal doordat de kogel niet overal evengoed contact maakte. Er kwamen zelfs pieken voor die op korte onderbrekingen van het signaal wezen.
Dit zou voor de regeling van het servosysteem een behoorlijk probleem kunnen opleveren doordat niet alleen de positie maar ook de snelheid van de kogel (door differentiatie) van het meetsignaal worden afgeleid.

Een oplossing werd gevonden door een elektronische schakeling te maken die het signaal vasthield wanneer het onderbroken werd. Dit werd bereikt door het signaal via een kleine condensator (4 μF) op een versterker met een zeer hoge ingangsimpedantie ($10^{10}$ ohm) aan te sluiten, zie figuur 5. Hiervoor werd een Opamp (Operational Amplifier) van het type CA3160 toegepast, die een FET (Field Effect Transistor) ingang heeft. De benodigde stuurstroom ligt in het pico-ampèregebied ($10^{-12}$ A).




Figuur 6. Meting van de positie en vasthouden wanneer het signaal onderbroken wordt.




Figuur 7. Hall-opnemer voor het meten van de rotatiehoek.

Wanneer de kogel nu geen contact zou maken wordt de waarde van het meetsignaal vastgehouden doordat via de Opamp nauwelijks lading uit de condensator weglekt. Zodra de kogel de draden weer goed doorverbindt zal als gevolg van de lage weerstand van de meetdraad de juiste meetspanning snel (< 0,25 ms) bereikt zijn. Vergeleken met een aantal andere mogelijkheden gaf deze oplossing het beste resultaat, omdat het positiesignaal de veranderingen van de verplaatsing van de kogel voldoende snel volgt. Ook vertoont het geen pieken of sprongen meer waardoor het goed te differentiren is. Figuur 6 geeft het schema van de schakeling weer.

### Hoekopnemer

De voorkeur ging uit naar een contactloze hoekopnemer die direct, dus zonder overbrengingsfouten, de stand van de wip weergeeft. Dennis en René kozen uit een aantal mogelijkheden voor een Hall-element, zie figuur 7. Bij een afstandverandering ten opzichte van een permanente magneet geeft dit element een signaal dat evenredig is aan de verandering in magnetische veldsterkte. Doordat er reeds een versterker in het element is geïntegreerd, is de aansluiting eenvoudiger dan bijvoorbeeld van capacitieve opnemers. Dit heeft bij de keuze van het meetelement een belangrijke rol gespeeld.

### Fuzzy controller

De meetsignalen van de positie en snelheid van de kogel en hoekverandering van de wip werden via een A/D-converter toegevoerd aan een vage controller, die als insteekkaart in een personal computer werd geplaatst. Met de bijgeleverde software werd de gewenste regelstrategie ingesteld. Daarbij zijn zeven lidmaatschapsfuncties verdeeld over de lengte van de wip.

Aan de uitgang leverde de controller een spanning van ± 10 volt voor het aansturen van de versterker van de servomotor die de wip laat roteren.

Op het beeldscherm kunnen de ingangssignalen en het uitgangssignaal zichtbaar worden, zodat snel een indruk ontstaat van de kwaliteit van de gekozen lidmaatschapsfuncties en de waarden voor de gekozen kennisregels. Bij iedere responsie was de bijdrage van elke kennisregel zichtbaar te maken. Zo kon bij een foute responsie achterhaald worden welke kennisregel niet krachtig genoeg reageerde. Door het aanpassen van de lidmaatschapsfuncties kon dit eenvoudig worden aangepast. Het verfijnen van de regeling was daarmee betrekkelijk eenvoudig te realiseren.

### Noot

De hier beschreven opstelling was onderdeel van de afstudeeropdracht van Dennis en René bij de afdeling Fijnmechanische Techniek van de Hogeschool Utrecht. Met het onderzoek dat op school werd uitgevoerd wilde de docent A. Honders een bijdrage aan de vernieuwing van de onderwijskennis realiseren.
Voordat Dennis en René met de bouw van deze experimentele opstelling begonnen hebben ze met TUTSIM een uitvoerige analyse gemaakt om de prestatie van een PID-regelaar en de vage regelaar te vergelijken. Een echte winnaar was niet aan te wijzen, maar de voorkeur ging toch uit naar de vage regelaar vanwege de grote eenvoud van het instellen. Met name de aansluiting bij de logische begrippen die in het dagelijkse leven gebruikt worden geeft meer gevoel voor wat er gebeurt.
Daartegenover staat dat het niet eenvoudig te bewijzen is dat de vage regelaar met de gekozen instellingen onder alle omstandigheden het gewenste regelgedrag zal laten zien.

Met het verslag van hun werk wonnen M&R begin 1993 de Fuzzy Logic prijs, die bestond uit een oorkonde en een bedrag van f 10.000 omdat het op inzichtelijke wijze de toepassingsmogelijkheden van de vage regelaar demonstreerde.

Energiebeheer in mechanismen

# Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (16)

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

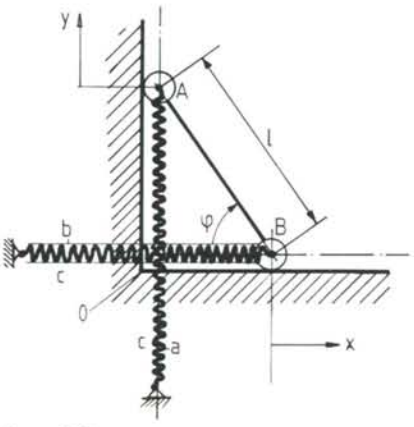
**Energiebeschouwingen kunnen vaak leiden tot inzichten waarmee men eigenschappen van mechanismen aanmerkelijk kan verbeteren.**
**Een toelichting aan de hand van een aantal gevallen volgt hieronder. Er zijn in dit verband, drie gevallen:**
**1) het constant houden van de elastische energie (U=constant),**
**2) het constant houden van de kinetische energie (T=constant),**
**3) het constant houden van de totale energie-inhoud (T+U = constant),**
**die achtereenvolgens worden besproken.**

## U=constant

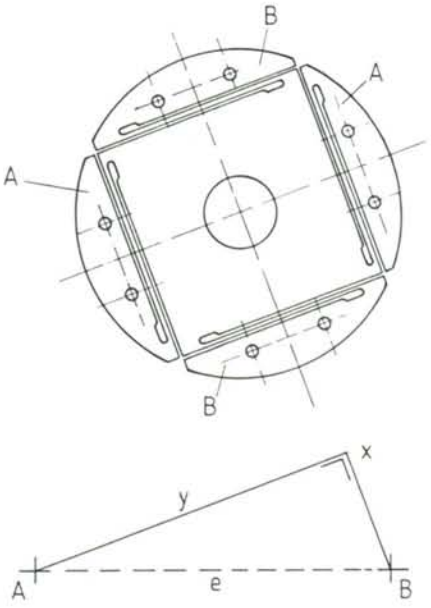
In het mechanisme van figuur 178 – bekend onder de naam elliptische beweging, omdat elk van de punten op de stang AB een (eigen) ellips beschrijft (het midden zelfs een cirkel) –geldt dat de veren a respectievelijk b ongespannen zijn als A respectievelijk B zich in O bevinden. Als de beide veerstijfheden gelijk geldt dat
$U = \frac{1}{2} cx^2 + \frac{1}{2} cy^2$.
Omdat $x = \ell\cos\varphi$ en $y = \ell\sin\varphi$ is
$U = \frac{1}{2} c\ell^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi) = \frac{1}{2} c\ell^2 =$ constant, dus onafhankelijk van de stand ($\varphi$): elke stand is een evenwichtstand.

Een toepassing vindt men in de koppeling van aflevering 1 van deze serie in Mikroniek 31(1991)3 p.66, waarbij voor de loodrecht op elkaar staande uitwijkingen x en y geldt, zie figuur 179:
$x^2 + y^2 = e^2$, als e de transversale uitlijnfout is tussen de hartlijnen A en B van de te koppelen assen.
Indien nu de stijfheden $c_x=c_y=c$ zijn, hetgeen in de koppelingsplaat van figuur 179 het geval is geldt:
$U = \frac{1}{2} cx^2 + \frac{1}{2} cy^2 = \frac{1}{2} ce^2 =$ constant, zodat deze koppeling geen voorkeurstand heeft.

Algemeen geldt: De kracht F=dU/dx en de veerstijfheid $c = dF/dx = d^2U/dx^2$.
Als de inwendige energie U constant is, is de kracht F nul. Dit is ook te bereiken met een in eerste orde benaderde rechtgeleiding voor de punten A en B, bijvoorbeeld via een boog of een kromme, waarbij over het te benutten traject de raaklijn praktisch samenvalt met de theoretische rechte. Om ook de stijfheid c gelijk aan nul te maken moet de rechtgeleiding ook in tweede orde goed benaderd zijn, dus met een buigpunt in de baan. In feite heeft de voorgestelde oplossing een veel algemener geldigheidsgebied: bij elke willekeurige baan voor punt A is een aangepaste baan voor punt B te construeren die de gewenste eerste en zelfs tweede orde benadering geeft, waardoor èn F èn c over het hele beschouwde traject gelijk aan nul zijn.



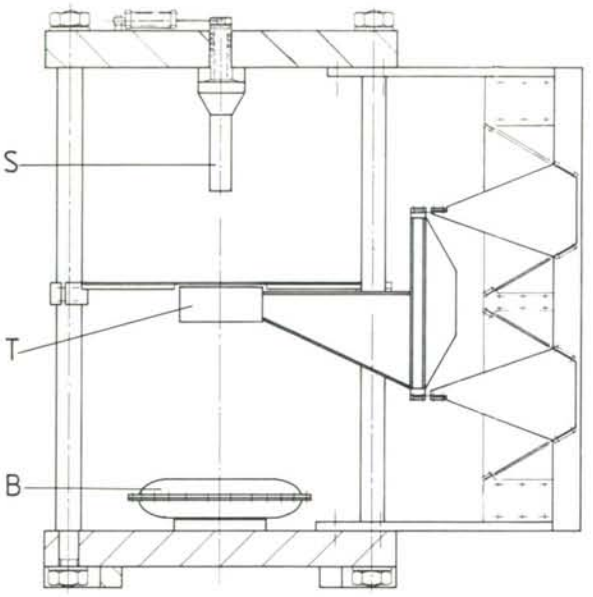

Figuur 178.

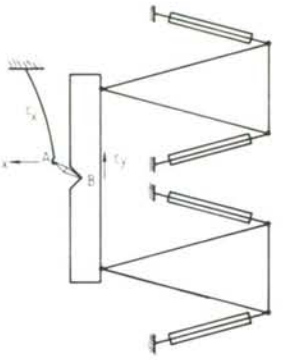



Figuur 179.

### Voorbeeld: Elastische rechtgeleiding met eigenfrequentie = 0

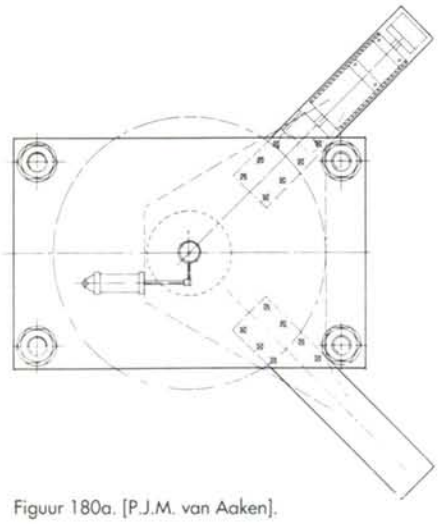
Een toepassing van U = constant toont figuur 180a, een pers voor het ijken van drukdozen, die dienen om een mechanische kracht om te zetten in een elektrisch signaal. Toepassing vinden deze bijvoorbeeld in een weegbrug. De ijkdrukdoos bevindt zich tussen de tafel (T) en de hydraulische balg (B).
De te ijken drukdoos bevindt zich tussen het stempel (S) en de tafel (T).
De tafel dient het koppel (20 Nm) dat ontstaat bij het niet zuiver in één lijn staan (< 1 mm) van de drukdozen op te nemen.
De tafel dient evenwijdig aan zichzelf te bewegen, daarbij geen of op zijn hoogst een reproduceerbaar krachtsverschil tussen de beide drukdozen veroorzakend.
Glijdende en rollende geleidingen kwamen niet in aanmerking binnen de gestelde eisen. Een hydrostatische geleiding is overwogen. Gekozen is voor een quasi-rechtgeleiding – een dubbel Roberts-mechanisme – met elastische scharnieren. Hiermee wordt voldaan aan de reproduceerbaarheid van de kracht bij een zekere uitwijking; de metalen veren zijn immers hysteresis-arm. Dit concept bleek een factor 10 goedkoper dan het hydrostatische alternatief. Bovendien werd het gecompenseerd, gebruikmakend van het idee van figuur 178.
Bij een bekende stijfheid $c_y$ van het elastische Roberts-mechanisme, zie figuur 180b, werd een veer $c_x$ van gelijke stijfheid aangebracht met tussenkomst van drukstaaf AB met meskantopleggingen.
Lezers die niet is opgevallen dat de meskanten aan de translatietafel res-



schematisch

Figuur 180b. [P.J.M. van Aaken].



Figuur 180a. [P.J.M. van Aaken].

pectievelijk het veeruiteinde dienen te zitten, in plaats van aan het tussenlichaam, worden verwezen naar aflevering 15 Mikroniek nummer 6-1993 p.174.
In de stand met y horizontaal kan men de veer $c_x$ zo instellen dat de eigenfrequentie op circa 0,1 Hz komt ($c_x$ is spanningloos als AB//y staat en $c_y$ is spanningloos als AB//x staat).

### Voorbeeld: Mechanismen zonder voorkeurstanden

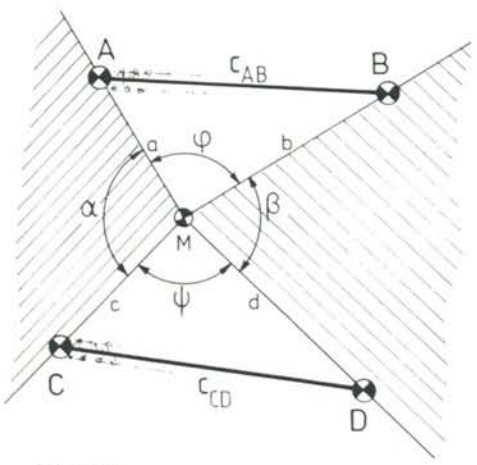
Figuur 178 is een bijzonder geval van het meer algemene geval van U = constant, dat in figuur 181 is afgebeeld. M is een scharnierpunt.

AMC en BMD worden op elkaar getrokken door de veren AB en CD. Deze veren hebben de eigenschap dat zij juist ongespannen zijn als B in A ligt, respectievelijk als D in C ligt: veren met "ontspannen-lengte-nul" (AB en CD moeten dus als uitrekkingen worden gezien).
De inwendige energie is
$U = \frac{1}{2} c_{AB} AB^2 + \frac{1}{2} c_{CD} CD^2$.

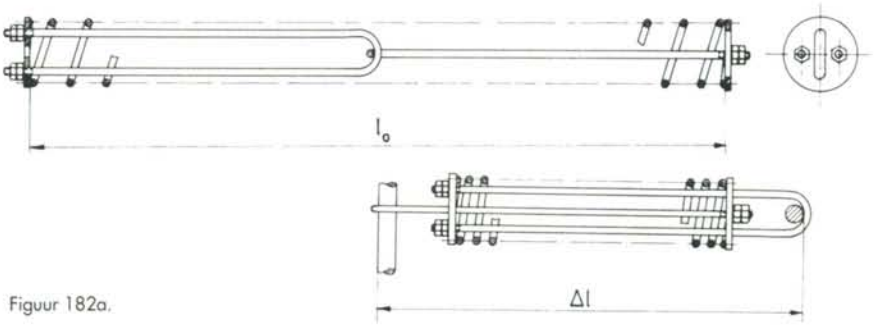
Als deze constant blijkt te kunnen zijn, dan is elke stand van BMD ten opzichte van AMC een evenwichtstand. Met behulp van de cosinusregel vinden we:
$c_{AB} AB^2 = c_{AB}(a^2 + b^2 + 2ab \cos\varphi)$ en
$c_{CD} CD^2 = c_{CD}(c^2 + d^2 + 2cd \cos\psi)$.

$c_{AB} AB^2 + c_{CD} CD^2$ is alleen standonafhankelijk als $\varphi$ en $\psi$ niet meer in de uitdrukking voor U voorkomen. Aan twee voorwaarden moet dan worden voldaan:
$c_{AB} ab = c_{CD} cd$ en
$\alpha + \beta = \pi \rightarrow \varphi + \psi = \pi \rightarrow \cos\varphi = -\cos\psi$.
Onder deze voorwaarden is U = constant.

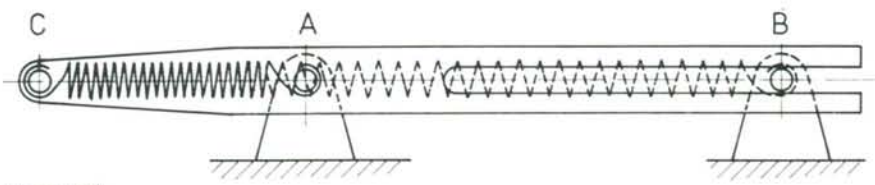
De veren met "ontspannen-lengte-nul" zijn conform figuur 182a gerealiseerd. Om een samengestelde beugel wordt een drukveer met grote spoed geschoven en de moeren worden zo aangedraaid dat de ontspannen lengte $\ell_0$ van de veer juist correspondeert met de lengte van de uitgeschoven samengestelde beugel. Nu wordt de beugel in elkaar geschoven tot de ogen van de beugel door de sleuven in de eindplaten naar buiten komen.
De afstand tussen de beugelogen is nu




Figuur 181.

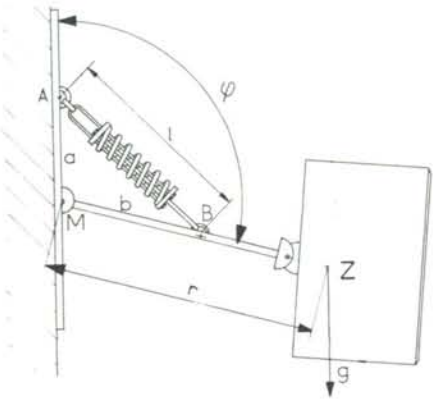



Figuur 182a.

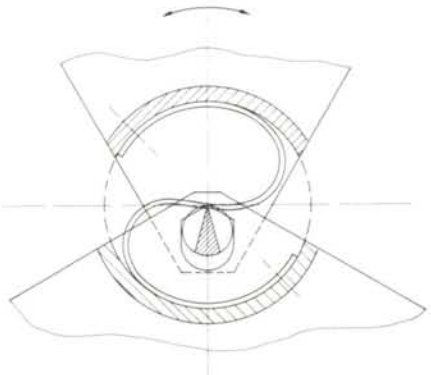



Figuur 182b.

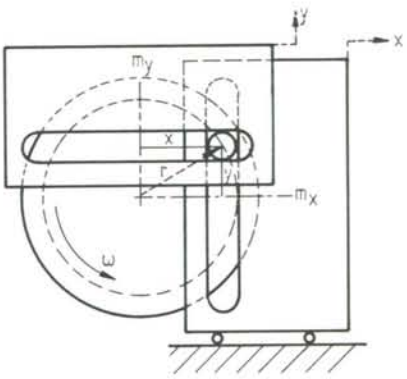
## Energiebeheer in mechanismen



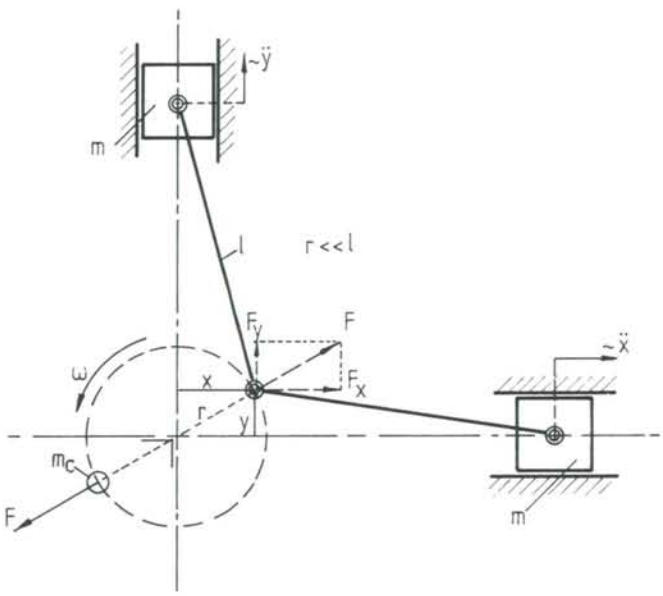

Figuur 183.



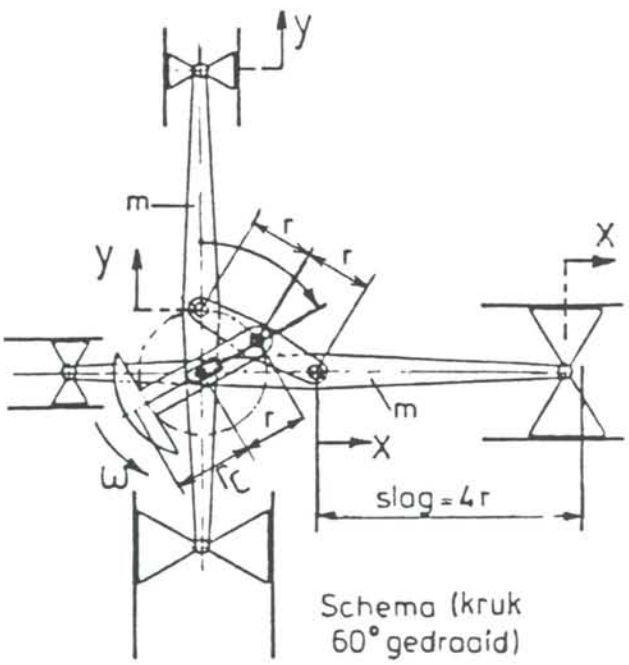
Figuur 184. S-veer [J.M. Wolf].




Figuur 185.




Figuur 186.




Figuur 187.

precies gelijk aan de $\Delta\ell$ (indrukking) van de veer.
Voor andere situaties moet men met "overhangende nullengtes" werken, $CA = \ell_o$, AB = rek, zie figuur 182b.

Een toepassing van deze veren met "ontspannen-lengte-nul" is compensatie van zwaartekracht (lampen, garagedeuren, enz.). Figuur 183 geeft een in alle richtingen instelbare arm met luidsprekerbox. De voorwaarde voor $dU/d\varphi=0$ wordt als volgt gevonden:

$\ell^2 = a^2 + b^2 + 2ab\cos\varphi$ en
$U = \frac{1}{2} c\ell^2$ dus
$dU_{veer} = -c_{AB}\, ab \sin\varphi\, d\varphi$.
Voor de variatie van de potentiële energie in de zwaartekracht geldt
$dU_g = mgr \sin\varphi\, d\varphi$.

Uit $(dU_{veer} + dU_g)/d\varphi = 0$ volgt:
$c_{AB}ab = mgr$.
Geschikte keuze van de veerconstante $c_{AB}$ of van de montagepunten van de veer maken dan dat deze opstelling exact uitgebalanceerd wordt. Een contragewicht, dat vaak veel ruimte vraagt en het totale gewicht van de constructie nadelig beïnvloedt, is dan overbodig geworden.
De lezers die het nog niet opgevallen is dat de veer verkeerd gemonteerd is (hij moet 90° gedraaid worden om zijn lengte-as) worden verwezen naar aflevering 15 in Mikroniek 6-1993 p.174.

Een ander (zeer fraai) voorbeeld van een veer met constante energie-inhoud is de S-veer van figuur 184 die is toegepast om stroomdoorgang te realiseren over een zeer lichtlopend lager heen. De oorspronkelijke rechte veer wikkelt zich op de ene ronde wand elastisch evenveel op als hij zich op de andere wand afwikkelt. De hartlijn van de S roteert daarbij met de halve hoeksnelheid van het lager.
Er wordt geen koppel uitgeoefend, wel een voorspankracht die zowel bij elastische bladveer- (of kruisveer-) scharnieren, taats- of kogellagers, alsook bij meskanten gewenst kan zijn; reden om deze veer ook toe te passen waar *geen* stroomdoorgang gevraagd wordt.

### T=constant

Van het eenvoudige kruk-sleufmechanisme van figuur 185 is de kinetische-energie-inhoud
$T = \frac{1}{2} m_x \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_y \dot{y}^2$,
$x = r\cos\omega t$, $y = r\sin\omega t$
$\dot{x} = -\omega r\sin\omega t$, $\dot{y} = \omega r\cos\omega t$.
Als de massa's gelijk zijn, $m_x = m_y = m$, dan blijkt
$T = \frac{1}{2} m\omega^2 r^2 (\sin^2\omega t + \cos^2\omega t) = \frac{1}{2} m\omega^2 r^2 = \text{constant}$.
Bij constant toerental is voor het alsmaar versnellen van de beide (gelijke) massa's geen koppel op de krukas nodig.

Bij een V-motor, zie figuur 187, doet men er goed aan de cilinders onder 90° op te stellen (1e orde-compensatie), gezien een aardig voordeel dat deze opstelling heeft. Voor de versnellingskrachten F van de zuigers op de krukas uitgeoefend geldt namelijk
(1e orde):
$F_x = -m\omega^2 r\cos\omega t$,
$F_y = -m\omega^2 r\sin\omega t$.
De resulterende kracht is
$F = -m\omega^2 r$.
Deze is constant, wijst langs de kruk en is dus zeer eenvoudig te compenseren met een contramassa, zoals in figuur 185 is aangegeven, waarvoor geldt dat $F = m_c\omega^2 r_c$. De *heen-* en *weer*gaande delen kunnen (1e orde) worden gebalanceerd door een *roterende* contramassa.

In tegenstelling tot het mechanisme van figuur 186 genereert het mechanisme van figuur 178 zuiver *harmonische, rechtlijnige* bewegingen, als het wordt gebruikt op de manier van figuur 187.
$x = 2\, r\cos\omega t$,
$y = 2\, r\sin\omega t$,
$T = \frac{1}{2} m\dot{x}^2 + \frac{1}{2} m\dot{y}^2$, dus
$T = \frac{1}{2} m\omega^2\, 4r^2 = \text{constant}$.
Voor de contramassa geldt:
$m_c r_c = m \,.\, 2r + m_{kruk} + m_{buitelstang}$.
Let op het "sleufgat" in de kruk om te voorkomen dat de constructie overbepaald is en dat alsnog de krukas radiaal door versnellingskrachten worden belast.

### Voorbeeld: Energiestromen in servo-systemen

Systemen waarin een voorwerp in een begrensd plat vlak elke plaats moet kunnen bereiken, worden in de meeste gevallen uitgevoerd als cartesische systemen, zie figuur 188. Vanuit het oogpunt van zowel het te installeren vermogen (servo-motor met versterker) als van het energieverbruik is dit niet op voorhand een optimale oplossing.
Indien wij aannemen dat de massa m van de in het x-y-vlak te bewegen wagen alle andere massa's zwaar overheerst, dan geldt in het geval dat banen met een constante snelheid worden doorlopen dat $T \approx$ constant.
Als we kunnen afzien van wrijvingsverliezen dan is het benodigde vermogen nul.
In het geval dat bijvoorbeeld cirkels worden doorlopen geldt voor de afzonderlijke motorvermogens:
$P_x = m \,.\, \ddot{x} \,.\, \dot{x} = m\omega^3 r^2 \sin\omega t \cos\omega t$,
$P_y = m \,.\, \ddot{y} \,.\, \dot{y} = -m\omega^3 r^2 \cos\omega t \sin\omega t$.
Hoewel de som van deze beide vermogens (uiteraard) nul is, moet het *te installeren* vermogen voor elke motor plus versterker gelijk zijn aan
$P_x = P_y = 2\, m\omega^3 r^2$.

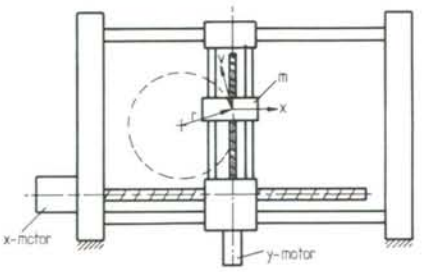
Zo gold voor een machine in de röntgendiagnostiek:
m = 300 kg (zware loodafscherming),
$\omega = 2\pi$ rad/s,
r = 0,4m
$P_x = P_y = 3{,}8$kW.

Het terugleveren van elektrische energie aan de stroombron heeft evenwel een zeer slecht rendement zodat men van de sommatie van $P_x$ en $P_y$ nauwelijks kan profiteren. Men kan dan ook vaststellen dat een cartesisch systeem voor wat betreft de installatie en energetisch een ongunstige oplossing is, als er bewegingen met (ongeveer) constante snelheid moeten worden gemaakt langs banen die niet ver afwijken van cirkels.

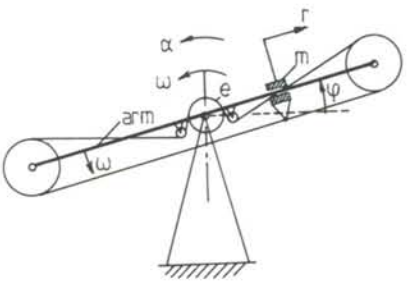
Een 2D-servosysteem volgens het r-$\varphi$-concept van figuur 189, *met het wiel (e) vastgezet* aan de arm voldoet perfect in het geval van cirkels.
T = constant kan dan ten volle worden benut. Het vermogen om de arm met de wagen (m) blijvend te laten roteren is (afgezien van wrijving) gelijk aan nul.

### T+U = constant

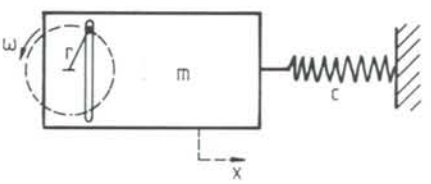
Kinetische en elastische energie worden onderling uitgewisseld. In figuur 190 wordt het mechanisme harmonisch bewogen.




Figuur 188.




Figuur 189.



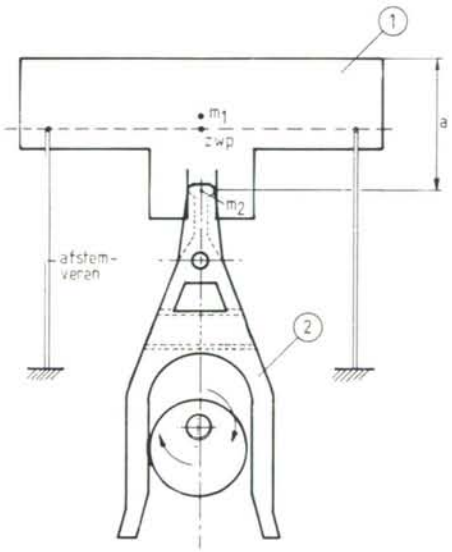

Figuur 190.

$T = \frac{1}{2} mx^2$, $U = \frac{1}{2} cx^2$,
$x = r\cos\omega t$, $\dot{x} = -\omega r\sin\omega t$, dus
$T + U = \frac{1}{2} m\omega^2 r^2 \sin^2\omega t + \frac{1}{2} cr^2\cos^2\omega t$.
T + U is alleen constant als
$m\omega^2 \sin^2\omega t + c\cos^2\omega t = \text{constant}$, wat voor een vaste $\omega$ slechts mogelijk is als $m\omega^2 = c$ (immers $\cos^2\omega t + \sin^2\omega t = 1$).
Er is dus slechts één frequentie van de ingaande *harmonische* beweging waarbij het goed gaat, de eigenfrequentie:
$\omega_e = \sqrt{(c/m)}$.
Als er geen externe krachten zouden optreden, zou *bij deze snelheid* door het aandrijvende mechanisme geen kracht behoeven te worden doorgeleid. Daarin treedt dan geen vermogenverlies op.

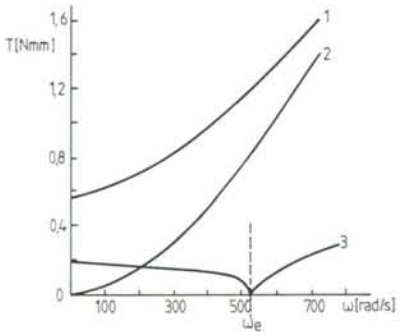
### Voorbeeld: Afgestemd mechanisme

Het in figuur 191 getoonde knipmechanisme maakt van dit principe gebruik.
De toepassing verlangt slechts één frequentie. Energieverbruik is van groot belang, omdat men de bedrijfstijd per acculading zo groot mogelijk wil heb-

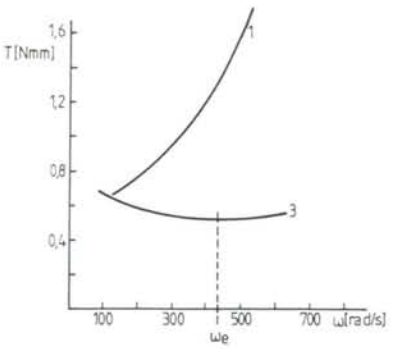
## Energiebeheer in mechanismen




Figuur 191. [D.W. Bikker].




Figuur 192a. Berekende koppels in een afgestemd systeem.




Figuur 192b. Gemeten koppels in een afgestemd systeem [D.W. Bikker].

ben. In de afgestemde toestand heeft het aandrijfvermogen een minimum, het héén- en weergaande mes hoeft immers, afgezien van wrijving en knipkracht, niet te worden aangedreven.

In een bestaand mechanisme werden de messen met veerbelasting op elkaar gehouden. De kromme 1 in figuur 192a toont het berekende koppel als functie van de asfrequentie. De eerste modificatie was de messen met een beheerste snijspleet ten opzichte van elkaar te bewegen, waardoor de wrijving tussen de messen en in het mechanisme aanmerkelijk daalde: berekende kromme 2. Tenslotte werd het *bewegende mes plus gereduceerde massa* van het mechanisme, samen met de afstemveren (figuur 191) gebracht op een eigenfrequentie gelijk aan de toekomstige bedrijfsfrequentie.
Kromme 3 geeft voor dat geval het berekende koppelverloop weer.
Als $\omega = \omega_e$ is theoretisch het vermogen gelijk aan nul als geen kniparbeid wordt verricht.

Doordat de verschillende delen elkaar toch raken is de werkelijke situatie minder gunstig, zoals de gemeten karakteristieken aantonen; zie figuur 192b.
Niettemin is de winst aanzienlijk en is er nog steeds een, zij het vlak, minimum in de buurt van $\omega_e$.
Om de belasting op de mesgeleiding te minimaliseren en zo de wrijving verder te beperken dient men de afstemveren te laten aangrijpen zoals in figuur 191 is aangegeven. Dus op een lijn in de bewegingsrichting door het gemeenschappelijke zwaartepunt van $m_1$ en $m_2$, waarbij $m_1$ het zwaartepunt is van het mes en $m_2$ de in het aangegeven punt gereduceerde massa van de hefboom (2).
De afstemveren werden ook als elastische rechtgeleiding gebruikt.
Om tijdens het knippen de rechtgeleiding zo weinig mogelijk te belasten is een zo klein mogelijke maat (a) van belang.

**"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.

M.T.S.'er fijntechniek,

25 jaar, wil graag z.s.m. aan de slag
in binnen- of buitenland

Reacties aan:
Patrick Wulz, tel: 079 - 163603
fax: 079 - 163698

**Uw botte frezen als NIEUW geslepen!!**

Maak kennis met onze nieuwe en perfekte slijpmethode, het is beslist de moeite waard, laat u overtuigen door uw proefzending, 5 stuks voor slechts *f* 15,--.
Wilt u verdere informatie, belt u ons.

**Kafra Hard Metal Tools, Precisieslijperij**
Tel. (05450) 9 49 45. Fax (05450) 9 51 17.
Postbus 79, 7160 AB Neede

Orgaan van de

NMFT

Nederlandse Vereniging voor
precisie-technologie



# Mikroniek

## Inhoudsopgave 1993

Paginaverdeling
(alleen de redactionele pagina's zijn genummerd)

Nummer 1993-1: van pagina 1 tot en met pagina 34
Nummer 1993-2: van pagina 35 tot en met pagina 62
Nummer 1993-3: van pagina 63 tot en met pagina 95
Nummer 1993-4: van pagina 96 tot en met pagina 124
Nummer 1993-5: van pagina 125 tot en met pagina 158
Nummer 1993-6: van pagina 159 tot en met pagina 190

## Editorials

Electronics '93, Mechatronica tussen techneut en commercie 36
J.C. Groeneveld
Flexibel denken geeft scherper beeld 97
J.W. Pel
Chemisch bewerken van glas 160
U.K.P. Biermann
Logische aanpassing 64
F.W. Ridderhof
Microverbinden van metalen 126
W.G. Essers
Nederland Transportland? 2
J. Verkerk

## Artikelen

Adaptieve optiek hedendaagse technologies geeft klassieke optica nieuwe impulsen 113
F. Zuurveen
Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren 28, 39, 70, 103 133, 169
P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker, M.P. Koster
Definitie stijfheden nieuwe gatscharnier afwijkend 187
A. Visscher
Eigenschappen, fabricage en toepassing van technische keramiek 53
J.J. Saurwalt
Gietwerk met zeer goede maatnauwkeurigheid 25, 45
M. Breuning
Harmonische analyse bij rondheidsmeting 49
J.W. van Beek
Inhoudsopgave 1992 16
anoniem
IR-postitiebepalingssysteem voor mobiele robot 82
H. van der Schoot
Lijmen van kleine onderdelen 140
J.A. Poulis, J.C. Cool, E.H.P. Logtenberg
Een lineaire piëzomotor 183
M.P. Koster, A. Visscher
Een luchtgelagerde precisiespil 117
J.M. Deurwaarder
Mechanische aspecten bij het ontwerpen en construeren met keramiek 88
Bach, P.W.
Microweerstandlassen met de geprogrammeerde transistorgestuurde gelijkstroombron 148
L. Schuringa
De ontwikkeling van een micro-pincet gebaseerd op elastische scharnieren 19
F.J.I.M. van Rongen
Oppervlakteruwheid: nader bekeken 79
M.A.J. van der Steen
De research-instrumentmaker van de jaren negentig 151
H.G.J. Rutten
Schaublin 74
H.G.J. Rutten
Toepassing van laser-Doppler anemometrie in knepen 7
G.F.M. Braat, H.G.J. Rutten
Het verbinden van keramiek aan staal 175
K.M. Broek
Het vormgeven van glas met chemische etstechnieken 164
G.A.C.M. Spierings

## Recensies

Simulatie-software voor mechanismen 58
A. Honders
Boek: Precision machine design 138
H.G.J. Rutten
Boek: Opto-mechanical systems design 181
H.G.J. Rutten

## Her en Der

De 'prinses op de erwt' onder de weegschalen 150
Justeren 86
Privé-TV in vliegtuigen 111
Spuitgieten met proefmatrijzen 110

## Auteurs

Bach, P.W. 88
Beek, J.W. van 49
Biermann, U.K.P. 160
Braat, G.F.M. 7
Broek, K.M. 175
Breuning, M. 24, 45
Cool, J.C. 140
Deurwaarder, J.M. 117
Essers, W.G. 126
Honders, A. 58
Koster, M.P. 28, 39, 70, 103, 133, 169, 183
Logtenberg, E.H.P. 140
Pel, J.W. 97
Poulis, J.A. 140
Reker, E.A.G. 28, 39, 70, 103, 133, 169
Ridderhof, F.W. 64
Rongen, F.J.I.M. van 19
Rosielle P.C.J.M. 28, 39, 70, 103, 133, 169

Rutten, H.G.J. 7, 74, 138, 151, 181
Schuringa, L. 148
Schoot, H. van der 82
Steen, M.A.J. van der 79
Saurwalt, J.J. 53
Verkerk, J. 2, 86
Visscher, A. 183, 187
Zuurveen, F. 113

## Produktinfo

Afstoppen van hulpboringen 158
Beitelinstelling met buitengewone precisie 93
Boriumnitride composiet 62
CAD/CAM pakket voor complexe vormen 21
Catalogus boren 33
Compact industrieel PC-chassis voor besturings-applicaties 95
Contactloos meten van diameters en andere maten 34
Contactloze laser-rondheidsmeters 124
Demonteerbare werktafel 189
Diepgraveren van metalen 62
Elektrisch geleidende vloer 93
Hand-etsapparaat 122
Inchworm-piëzomotoren, nanopositioneringsysteem 190
Keramische eindmaten 157
Keramische filterelementen 61
Keramische membranen toepasbaar tot 800°C 122
Kneedmassa voor zelf vervaardigen van grijperbekken 95
Kolomrekmeting in spuitgietmachines 124
Laagdiktemeter 94
Laser-beschermbrillen 190
Massacomparator tot 10 kg 124
Monteren in beperkte ruimte met haakse schroevedraaier 62
Motorreductor diameter 16 mm 93
Nieuwe optoelektronische componenten 94
Nieuwe kogelomloopeenheden 158
Objecttafel op luchtlagers 33
Opto-click systeem 61
Opto-elektronische kijker 33
Positioneren, sturen, tellen, meten 123
Positioneersysteem met geïntegreerde x,y,z en p-as 94
Programmeerbaar hoogtemeetinstrument met vergroot meetbereik 34
Robuuste slede-eenheden 189
Sensoren en -kabels voor hogetemperatuurtoepassingen 189
Toerentalsensor 121
Trekbank met geïntegreerde meetelectronica 157
Ultrasone lasapparatuur 121
Universele laser-snijinstallatie 122
Verende vacuumzuignappen 157
X-Y-positioneersysteem met submicron-nauwkeurigheid 158
Zeer nauwkeurige temperatuurmeter 123
Zelfsmerende glijelementen voor matrijzenbouw 61

## Rectificaties

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positoneren (9) 37
Oppervlakteruwheid: nader bekeken 102

## Verenigingsnieuws

### Berichten NVFT

Deelname aan elektronicavakbeurs "ELETRONICS '93" 3
Verslag Ledenvergadering 65
Microsyteemtechnologie 127
Nieuwe bedrijfsleden 98, 128
Nieuwe leden 128
NVFT op VAT '94 161
Vorm- en plaatstoleranties 127
Regionale Werkgroep Amsterdam
Fijnmechanische constructies 65
Stereolithografie 65

### Regionale Werkgroep Leiden

Bezoek aan MEOB 127
Fijnmechanische constructies 65
KEMA 66
Microgolftrilholtes 66
NEN ISO 9000-9002 66
Optical Disc Mastering 65

### Regionale Werkgroep Noord

Fijnmechanische constructies 37

### Regionale Werkgroep Twente

Fijnmechanische constructies 37

### Regionale Werkgroep Utrecht

Matrijzen voor kunststofoptiek 37
Stereolithografie 37

MATRIJZENMAKERIJ **SMH**

**Gespecialiseerd in het vervaardigen van aluminium en kunststof spuitgietmatrijzen**

Wilhelminastraat 39a, 3621 VG Breukelen
Tel. 03462 - 6 50 50 - Fax 03462 - 6 32 83

BUHRAL-KLN bouwt geheel naar klantwens machines die elke kunststofverbinding naadloos tot stand brengen. Een volledig droge techniek.

**Perfectie in kunststof verbindingen**

**Verbinden van thermoplasten d.m.v.**

Ultrasoon-techniek

Heetspiegel-techniek

Vibratie-techniek

Rotatie-techniek

**Voor meer informatie, ook over ULTRASOON REINIGEN:**

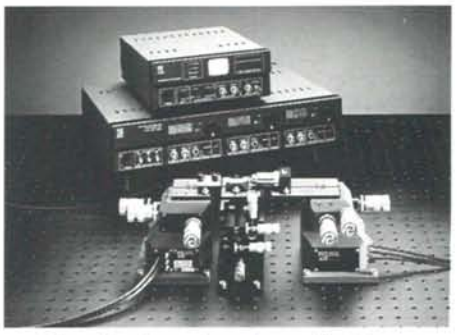
ULTRASONE TECHNIEKEN

buhral - kln b.v.

Nijverheidsweg 60 - 3812 PM Amersfoort
Tel. 033-630544 - Fax 033-631530

**MELLES GRIOT**

**Optics – Lasers – Instruments**



Fiber Couplers, -Launchers, -Positioners

Ons leveringspakket omvat een grote variateit aan translatie- en rotatie systemen voor nauwkeurige positionering.

U kunt geheel vrijblijvend informatie bij ons opvragen, ons adres is:

Melles Griot B.V.
Postbus 22, 6900 AG Zevenaar
Telefoon: (+31) 8360 – 33041
Telefax: (+31) 8360 – 28187

***Ze liggen in de hand als speeltjes,***
de miniatuurgeleidingen uit het Koch Kleeberg assortiment. Maar wat u feitelijk in handen hebt, is een lineair precisie produkt voor microtechniek op het hoogste niveau.

Van Koch Kleeberg mag u niet anders verwachten. Als dienstverlenende toeleveranciers bedienen wij de Benelux met het meest complete mechatronica assortiment voor lineaire bewegingstechniek. Waaronder de meer dan 200 miniatuurgeleidingen van de Amerikaanse innovator op dit gebied: Del-Tron.

Voor wie meer wil weten hebben wij uitgebreide documentatie beschikbaar, alsook de 10 minuten Del-Tron video 'Precision Linear Motion'. De lineair specialisten van Koch Kleeberg bereikt u op nummer ***036 • 532 05 04.***

**KOCH KLEEBERG**

Postbus 1069 • 1300 BB Almere • tel. 036 · 532 05 04 • fax 036 · 532 25 48

*creatief in lineaire bewegingstechniek*

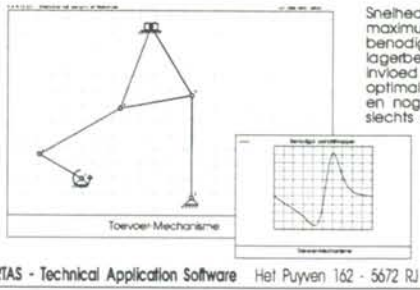
hft **DEN HARTOG**
fijnmechanische techiniek b.v.

vervaardiging en reparatie van
fijnmechanische onderdelen
kunststofmatrijzen
snijstempels
buigstempels
prototypen
bewerken van
kunststofonderdelen

Nijverheidsweg 8
3481 MB Harmelen
Tel.: 03483 - 3504
Fax: 03483 - 4187

**MECHANISMEN ANALYSE OP DE PC**

**SAM 2.2** Bewegings- en krachtenanalyse van willekeurige stangen-, riemen en planetaire mechanismen




Snelheden, versnellingen, maximum motorkoppel, benodigd aandrijfvermogen, lagerbelastingen, invloed compensatieveren, optimalisatie van de baan en nog veel meer in slechts enkele minuten !!

**v.a. hfl. 599,-**

Onderwijsinst. : hfl. 250,-
Studenten : hfl. 75,-
Demo : hfl. 10,-

Testrapport in "Mikroniek 93/2"

ARTAS - Technical Application Software Het Puyven 162 - 5672 RJ Nuenen - tel/fax 040-837552

Produkten en toepassingsgebieden

# LIGA - techniek

M.C. Dierselhuis

**De op de röntgenLIthografie, Galvanische vormgeving en Afscheiding (Duits: Abformung) gebaseerde LIGA-techniek maakt de vervaardiging van driedimensionale microstructuren industrieel mogelijk. LIGA-produkten zijn inmiddels commercieel verkrijgbaar. Op grond van de hoge mate van ontwerpvrijheid en de in verhouding tot het gebruikelijke silicium brede materiaalspectrum, opent zich een breed scala van toepassingsmogelijkheden. Dit geldt voor medische, telecommunicatie en fijnmechanische en consumentenprodukten en de automobielbranche.**

## LIGA-techniek

Naast de siliciummicromechanica [1] is de laatste jaren met name de LIGA-techniek voor de industriële en commerciële vervaardiging van microstructuren op de voorgrond getreden. Zij realiseert driedimensionale microstructuren met een relatief grote hoogte in metalen, polymeren en keramische materialen. Essentiële processtappen vormen de röntgenlithografie, de galvanische vormgeving en de matrijsafscheiding [2]. Een economische massaproduktie is door de aanmaak van produktiematrijzen uit een moedermatrijs mogelijk. Op grond van haar veelzijdigheid biedt de LIGA-techniek een uitstekende basis voor de realisatie van microsystemen [3]. De ommezwaai van macroscopische of hybride systemen naar microsystemen verloopt in de praktijk echter vaak nog in kleine stapjes. Meestal wordt een bestaand produkt alleen al verbeterd doordat men een bestaande component door een beter functionerende microstructuur vervangt. Maar ook de ontwikkeling van een sleutelcomponent, die pas door de toepassing van LIGA mogelijk wordt, vormt voor veel gebruikers de eerste stap op het veelbelovende terrein van de microsysteemtechniek (MST). Typische voorbeelden van dergelijke sleutelcomponenten worden in het hiernavolgende behandeld.

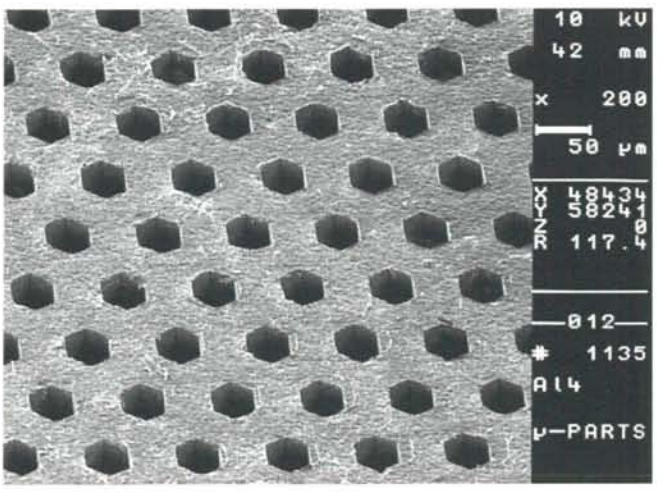
## Technologische kader

Karakteristiek voor de LIGA-techniek is het vermogen microstructuren te kunnen vervaardigen met een zeer hoge precisie, in een scala van materialen, in een relatief grote dikte, met een grote geometrievrijheid, met in verhouding lage produktkosten. De geometrische specificaties worden door het actuele ontwerp,de te volgen processtappen en het materiaal bepaald. Momenteel kunnen op een nuttig oppervlak van maximaal 20 x 60 mm, structuren met kleinste laterale afmetingen in het micrometergebied, tot een hoogte van circa 1.000 micrometer worden vervaardigd. De vormgeving is vrijwel geheel vrij en op dit moment wordt de mogelijkheid ook in de derde dimensie vormgevingsvrijheid te realiseren onderzocht [4]. Voor de gebruiksmogelijkheden zijn niet alleen de geometrische mogelijkheden, maar bovenal ook de vrije materiaaltoepassing van eminent belang. De LIGA-techniek biedt nu al het breedste spectrum aan toepasbare materialen. Al naargelang de probleemstelling kunnen metalen, kunststoffen en keramische materialen worden toegepast. De microstructuren kunnen ofwel los ofwel op een voor de toepassing toegesneden substraatmateriaal (metaal, kunststof, silicium, glas, keramiek, etc.) worden vervaardigd.

Als metalen kunnen voor de elektrolytische afscheiding nikkel, koper en goud standaard worden gebruikt. Voor mechanisch hoogbelaste onderdelen, zoals veren, zijn nikkel-kobaltlegeringen ontwikkeld, die een wezenlijk hogere hardheid(400 HV) en daarmee een beperkte mechanische hysteresis ten opzichte van nikkel (280 HV) bezitten. Al naargelang de wenselijkheid kan het nikkel tot een 30% kobaltgehalte worden gelegeerd. Bijzondere aandacht verkrijgt momenteel de ontwikkeling van een nikkel-ijzer legering [5], waarbij de magnetische en thermische eigenschappen, afhankelijk de samenstelling, beheerst kunnen worden verkregen.

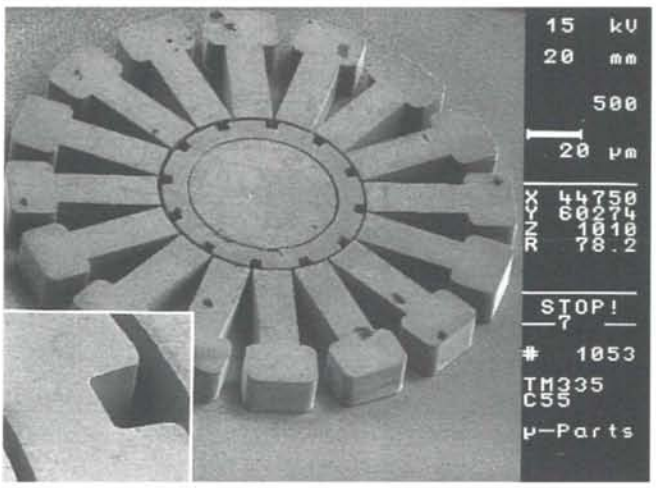
Als kunststoffen komen in de eerste plaats goed vloeiende thermoplasten in aanmerking. Deze kunnen in een spuitgietproces bij grotere produktieaantallen economisch worden verwerkt. Gebruikelijke materialen zijn PMMA (met uitstekende optische eigenschappen) en POM (polyacetal, met goede mechanische eigenschappen). Beide zijn ook voor medische toepassingen geschikt.

Bijzondere aandacht verdient de microvormgeving van keramische materialen met behulp van de LIGA-techniek. Elektroden voor brandstofcellen, spuitmonden, ventielzittingen en filters zijn slechts een paar voorbeelden waar-

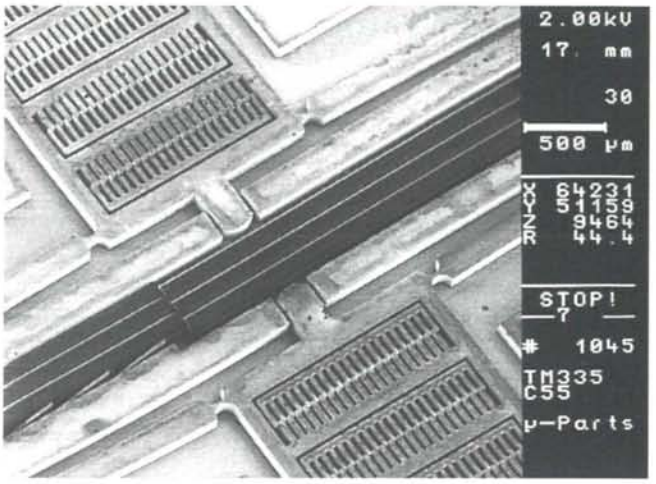



Figuur 1. Keramische structuur vervaardigd met LIGA.

## Produkten en toepassingsgebieden




Figuur 2. REM-opname van een elektrostatische stappenmotor, vervaardigd door röntgenlithografie en galvanovormgeving; rotordiameter 480 µm, materiaal nikkel, hoogte 120 µm.




Figuur 3. REM-opname van een 3 x 2 glasvezelschakelaar met capacitieve lineaire aandrijving, veerscharniergeleiding en geplaatste 125 µm glasvezels; vervaardigd door röntgenlithografie en galvanovorming; materiaal NiCo, structuurhoogte 120 µm.

bij hoge chemische resistentie, thermische stabiliteit, slijtageweerstand en een hard oppervlak van belang zijn. Maar ook andere te sinteren materialen, zoals piëzokeramieken, die een hoge energiedichtheid bezitten, zullen in de nabije toekomst het toepassingsgebied van de LIGA-techniek bij elektromechanische omvormers verbreden. De eerste praktijktesten van microvormgeving hebben met zirkoonoxyde en aluminiumoxyde plaatsgevonden. Uit figuur 1 blijkt dat deze materialen nu al over een relatief groot oppervlak, zonder gebreken, porievrij en met een hoge oppervlaktekwaliteit vormgegeven kunnen worden.

### Toepassingsgebieden

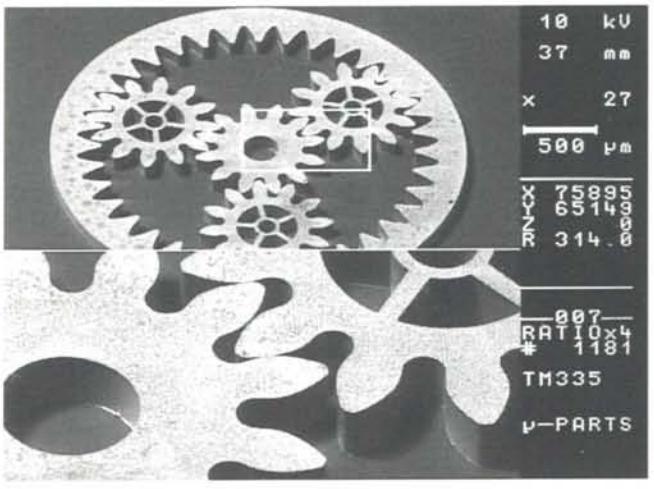
#### Micro-actuatoren

De ontwikkeling van microactuatoren komt uit het ontwikkelstadium. Voor de meeste toepassingen zijn de haalbare vermogens echter nog te gering. Voor de toekomst wordt een veelvoud van toepassingsgebieden, vooral in de besturings-, telecommunicatie- en medische techniek gezien. Het Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFK) heeft basisontwikkeling in de vervaardiging van lineaire aandrijvingen[6], microturbines [7] en micromotoren [8] met behulp van de LIGA-techniek uitgevoerd. Het specifieke van de LIGA-techniek ligt besloten in de mogelijkheid de aandrijfenergie bij een gegeven oppervlakte door een grotere structuurhoogte te verhogen, zoals bijvoorbeeld bij de in figuur 2 weergegeven elektrostatische stappenmotor.

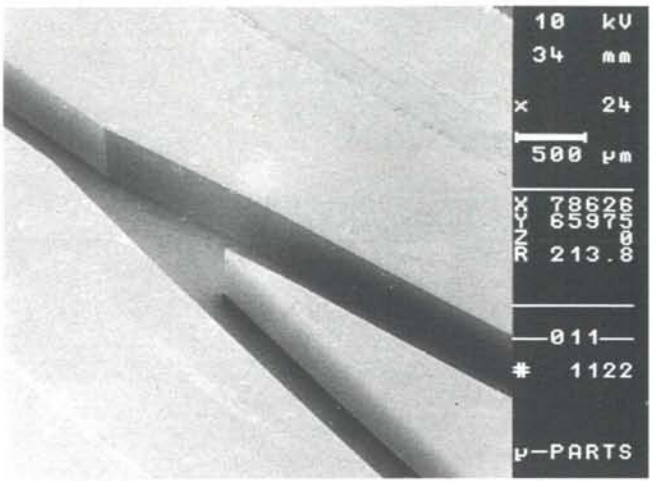
Een integrale aanmaak van beweeglijke en vaste delen is mogelijk door het toepassen van gestructureerde offerlagen – dit zijn lagen die naderhand worden verwijderd [9]. Montage- en correctiewerkzaamheden worden daardoor tot een minimum gereduceerd.
Bij het voorbeeld van een 3 x 2 glasvezelrelais, dat het selectief schakelen van optische kanalen mogelijk maakt, worden de genoemde voordelen direct duidelijk; zie figuur 3. Elektrostatische aandrijvingen in de vorm van kamstructuren bewegen afwisselend steeds 3 glasvezeleinden tegenover 2 vaste glasvezels, zodat optische signalen naar keuze in de afzonderlijke kanalen ingekoppeld kunnen worden. De bewegende kamstructuren van de elektrostatische aandrijving worden door veerscharnieren wrijvingsarm en nauwkeurig geleid. De grote aspectverhouding – de aspectverhouding is groot als laterale afmetingen in hoogterichting weinig variëren – verleent de veergeleiding een hoge dwarsstijfheid. De vaste glasvezels worden door vrijliggende bladveren gepositioneerd en vastgehouden. Onlangs is de toepassing van start gegaan van microtandwielen en microtandwielkastjes in de hoog ontwikkelde fijnmechanische techniek voor horloges en minimotoren. Dit is mogelijk omdat de nauwkeurigheid van de LIGA-techniek zeer kleine spelingen toestaat. Door de constructievrijheid van de LIGA-techniek kunnen naast evolvente vertandingen ook minder gangbare vertandingen, zoals bijvoorbeeld cycloïden, onronde en hybride vertandingen worden gerealiseerd. Voor de toerentalreductie van hoogtoerige minimotoren – toegepast bijvoorbeeld in audio, video en meetapparatuur als plaatselijke aandrijvingen – is een planeet overbrenging met een rechte evolvente vertanding vervaardigd. Het aantal tanden van het zonnewiel en de planeetwielen bedraagt 12, de binnenvertanding heeft 36 tanden, zodat een reductie van 3 wordt gerealiseerd; zie figuur 4. Met een moduul van 62,5 µm en een tandbreedte van 100 µm kan een draaimoment van 0,1 mNm worden overgebracht.

#### Optiek

1 x 2 Koppeling voor polymeervezelnetwerken
Bij optische netwerken voor datatransmissie over kortere afstanden, zoals bijvoorbeeld voor lokale netwerken, en besturingen van produktiemachines of voertuigen, vormen de polymeervezels een interessant alternatief voor glasvezels. Voor de vervaardiging van de hiervoor noodzakelijke passieve componenten, zoals bijvoorbeeld Y-koppelingen, T-koppelingen en axiale koppelingen, biedt de LIGA-techniek opmerkelijke voordelen met het oog op een zo klein mogelijke demping, een gedefi-




Figuur 4. REM-opname van een planeettandwielstelsel met rechte evolvente vertanding, vervaardigd door röntgenlithografie en galvanovorming; materiaal NiCo, moduul 62,5 µm; structuurhoogte 100 µm.



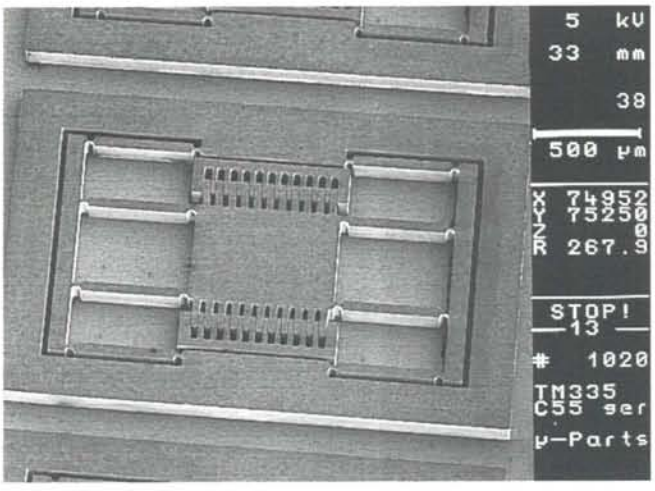

Figuur 5. Principeschets van een LIGA Y-koppeling uit PMMA met gemonteerde polymeervezels voor een LAN (Locaal computernetwerk).

nieerde energieverdeling en de mogelijkheid van massaproduktie [10]. Als illustratie van de structuureigenschappen zijn 1 x 2Y-koppelingen uit PMMA voor 500 µm dikke polymeervezels in de LIGA-techniek vervaardigd; zie figuur 5. Een vrijwel ideale energieverdeling van 50,7%/49,3% van de beide aftakkingen van de Y-koppeling kon bij de eerste vervaardigde LIGA-monsters al worden aangetoond. Indicatieve metingen van produkten hebben aangetoond, dat dempingsverliezen onder 1 dB (bij de golflengte 850 nm) worden bereikt. De "overspreekdemping" is met 25 dB voldoende hoog.

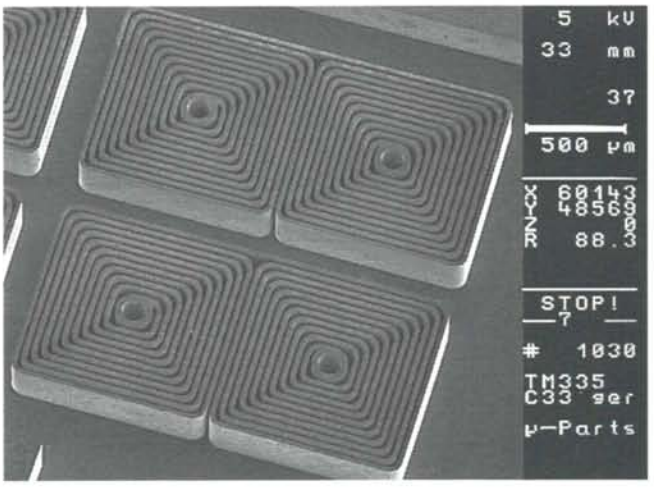
**Sensortechniek**

De karakteristieke eigenschappen van de LIGA-techniek kunnen ook bij sensorontwikkeling voordelen bieden [11]. Zo maakt de constructievrijheid geometrisch gecompliceerde structuren mogelijk, zoals deze bijvoorbeeld bij vloeistofsensoren nodig zijn. Bovendien kan hierbij door de hoge aspectverhouding de invloed van randeffecten worden verminderd. Figuur 6 toont een versnellingssensor, waarvan de seismische massa via een parallelveergeleiding aan het huis is bevestigd. De uitlezing van de massaverplaatsing vindt capacitief over differentiale kamcondensatoren plaats. Aspectverhouding en structuurhoogte van de LIGA-techniek maken relatief grote basiscapaciteiten en capaciteitsveranderingen mogelijk. De luchtspleet kan namelijk klein worden gedimensioneerd en het elektrodenoppervlak groot, in verhouding tot het door de condensator ingenomen substraatoppervlak.

Materiaalkeuze en aspectverhouding verlenen microspoelen – in relatie tot hun afmetingen – een hoge energiedichtheid. Het in figuur 7 weergegeven spoelenpaar bestaat uit koper en zal als detectorsysteem voor inductief werkende positiesensoren in de mechanisatietechniek worden toegepast.




Figuur 6. REM-opname van een LIGA-versnellingssensor met rechte veergeleiding van de seismische massa en kamcondensatoren voor capacitieve uitlezing; materiaal NiCo, structuurhoogte 120 µm.

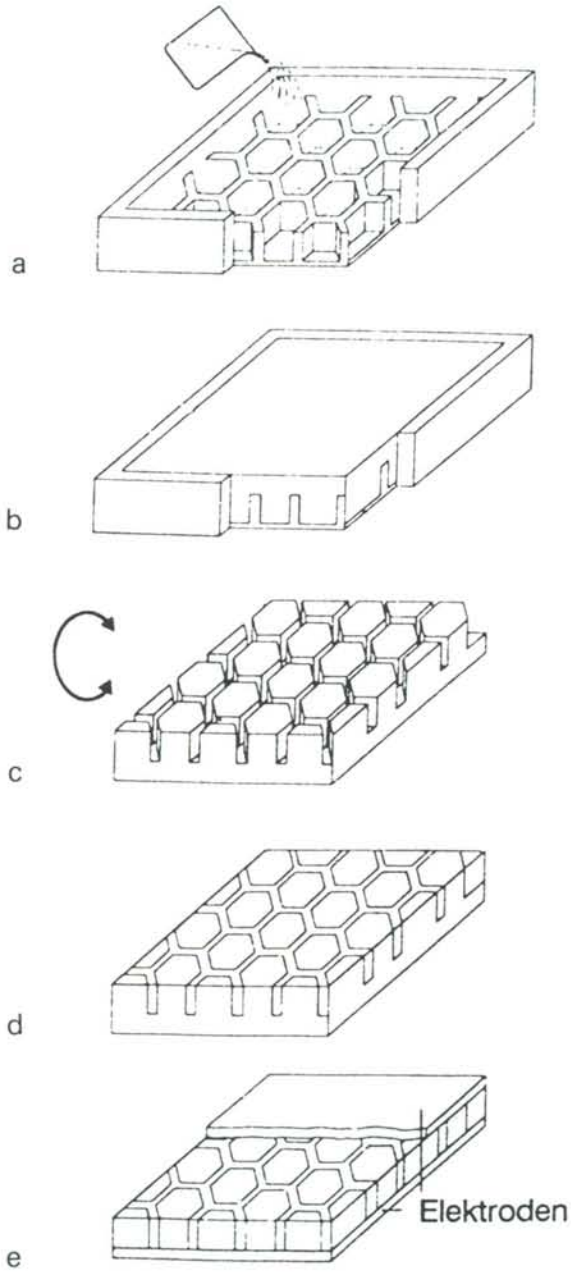



Figuur 7. REM-opname van een spoelenpaar, vervaardigd door röntgenlithografie en galvanovorming op een keramisch substraat; materiaal koper, structuurhoogte 220 µm.

## Produkten en toepassingsgebieden

Verdere toepassingsmogelijkheden voor spoelen komen voor in de hoogfrequenttechniek en bij contactloze, inductieve vermogensoverdracht in roterende systemen.

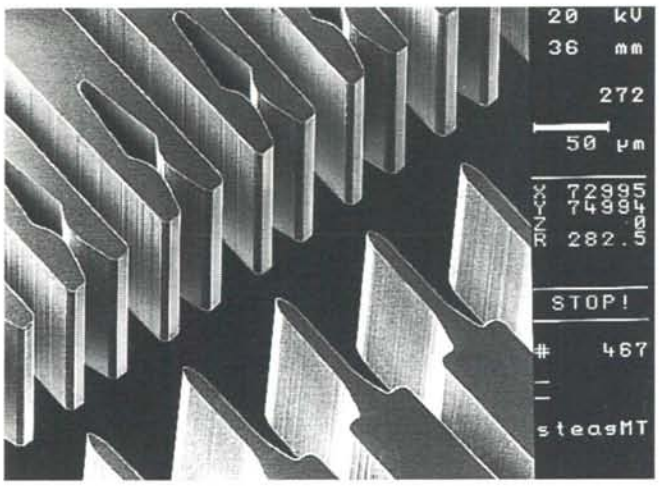
In de medische ultrasone diagnostiek worden voor verhoging van de gevoeligheid en aanpassing van de impedantie van actuatoren bij voorkeur zogenaamde 1-3 piëzokeramische polymeercomposieten toegepast. Deze bestaan uit een in kunststof ingebed piëzokeramische kolom-array. Van beslissende betekenis voor de prestaties van de actuatoren zijn geometrie, hoogte en diameter van de kolommen, alsook de afstand tussen de afzonderlijke kolommen. Bij de vervaardiging van composietkeramieken voor toepassingen in het hoogfrequentgebied (> 5 MHz) botst men echter door de hiervoor noodzakelijke microvormgeving tegen de grenzen van de bekende vervaardigingstechnieken. Zo wordt bijvoorbeeld de toepassing van "dice-and-fill"-techniek, waarbij het gesinterde piëzokeramiek door zagen wordt gevormd, relatief snel oneconomisch door de op grond van de fijnheid toenemende bewerkingstijd en het hogere uitvalpercentage. Hier biedt de LIGA-techniek door toepassing van de "verloren vorm"-methode een uitweg; zie figuur 8. Voor de vervaardiging van het 1-3 composietkeramiek [12] wordt een met LIGA verkregen microgestructureerde kunststofvorm met piëzokeramisch slib gevuld, gedroogd en na volledig wegbranden van de kunststofvorm gesinterd. Aansluitend wordt de ontstane gestructureerde keramische vorm weer met kunststof gevuld, tweezijdig op dikte geslepen, gemetalliseerd en gepolariseerd.
Met dit proces zijn 1-3 composieten met een diameter van 16 mm en circa 7.000 kolommen bij een relatief klein uitvalpercentage(<5%) vervaardigd [12]. De zeskantige kolommen hebben een sleutelwijdte van 95 µm en een structuurhoogte van 400 µm; de afstand tussen de kolommen bedraagt 50 µm.
Metingen aan de composietkeramische eindprodukten [12] gaven een zeer hoge elektromechanische koppelingsfactor (diktekoppelingsfactor Kt=0,67 [13]) en een goede trillingeigenschap van Q=10 [14] in het frequentiegebied van 5-10 MHz te zien, waardoor bij een kleine akoestische impedantie zowel een goed impulsantwoord alsook een sterke demping van dwarsgolven is verzekerd.



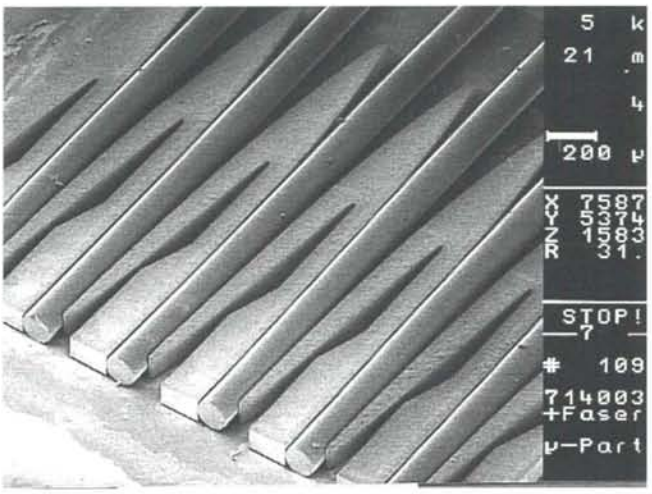

Figuur 8. Principe van de vervaardiging van een 1-3 composietkeramiek uit kunststof met behulp van de LIGA-'verloren vormen' [12].
De vorm wordt met keramisch slib gevuld (a), gedroogd, de kunststof uitgebrand en gesinterd (b). De gesinterde vorm wordt gevuld met kunststof (c), geslepen en gemetalliseerd (d). Vervolgens worden de elektroden gepolariseerd (e).

### Elektronica en elektrotechniek

Door de zich snel ontwikkelende miniaturisering en hogere integratiedichtheid van micro-elektronische componenten ontstaan steeds grotere contactproblemen. Hier biedt de LIGA-techniek een reeks van innovatieve oplossingen. Als voorbeeld dient een door röntgenlithografie en galvanovorming vervaardigde microconnector. Bij een steek van slechts 80 µm zijn op een zeer klein oppervlak 130 contacten ondergebracht; zie figuur 9. "Macroscopische" insteekgeleidingen met snapverbinding kunnen probleemloos in de




Figuur 9. REM-opname van een LIGA microconnector; steekmaat 80 µm, materiaal nikkel, structuurhoogte 180 µm.




Figuur 10. REM-opname van een LIGA-koppel-array, vervaardigd door röntgenlithografie en galvanovorming op een glassubstraat met geplaatste 150 µm glasvezels; materiaal nikkel, structuurhoogte 120 µm.

connector worden geïntegreerd.

Ook voor de vervaardiging van geïntegreerde optische chips biedt de LIGA-techniek goede mogelijkheden voor specifieke oplossingen. Voor de koppeling van verscheidene optische vezels aan geïntegreerde optische chips met positioneereisen in het submicrometergebied werd een koppelelementarray ontwikkeld, bestaande uit parallelgeplaatste aanslagen en veerelementen [9]. Deze array biedt een reeks van voordelen tegenover andere koppelelementen, zoals bijvoorbeeld anisotroop in silicium geëtste V-groeven. Zo kan bijvoorbeeld de uitzettingscoëfficient van het substraat aan de geïntegreerde optische chip worden aangepast en de hantering van de glasvezels door een veer worden vereenvoudigd.
In het kader van de ontwikkeling van geïntegreerde optische sensoren is een koppel-array op glassubstraat met de LIGA-techniek vervaardigd; zie figuur 10. De veerelementen zijn door plaatselijk aangebrachte offerlagen selectief vrijgemaakt. Metingen aan de koppelelementen voor 24 vezels met een steek van 400 µm hebben aangetoond dat de afwijking van de steek maximaal 0,3 µm bedraagt. Deze nauwkeurigheid is voor vezelchipkoppelingen in de monomodetechniek voldoende.

## Slotopmerking

De gepresenteerde produkten verduidelijken het grote potentieel van de LIGA-techniek voor de vervaardiging van microsystemen. De eerste microstructuuronderdelen worden commercieel vervaardigd en al in series gebruikt. Het zich uitbreidende palet van toepasbare materialen en de ontwikkeling van het proces in de richting van driedimensionale microstructuren met doorsnedeveranderingen in de structuurhoogten zullen de toepassingsmogelijkheden van de LIGA-techniek in de toekomst nog verder vergroten.

### Literatuur

[1] K.E. Petersen: Silicon as a Mechanical Material. Proc.IEEE Vol. 70(5)(1982) pp. 420-457.

[2] E.W. Becker, W.Ehrfeld, P.Hagmann, A.Maner, D. Münchmeyer: Fabrication of Microstructures with High Aspect Ratios and Great Structural Heights by Synchrotron Radiation Lithography, Galvanoforming, and PlasticMoulding (LIGA process). Microelectronic Engineering 4(1986) pp. 35-56.

[3] W. Ehrfeld: The LIGA Process for Microsystems. MicroSystem Technologies 90; 1st Int. Conf. Micro, Electro,Opto, Mechanic Systems and Components, Berlin, 10-13Sept. 1990, H. Reichl ed., Springer Verlag 1990, pp. 521-528.

[4] W. Bacher, M. Harmening, P. Bley, H. Kalb, W. Menz,A. Michel, J. Mohr: Molding of Three-Dimensional Microstructures by the LIGA Process. Micro Electro Mechanical Systems '92, Travemünde (Germany), February4-7, 1992.

[5] S. Harsch, D. Münchmeyer, H. Reinecke: A new process forelectroforming movable microdevices. Int. Techn. Conf.(SUR/FIN'91), American Electroplaters and Surface Finischer Soc., Toronto, June 24-27, 1991.

[6] B. Kowanz, W. Bacher, P. Bley, W. Ehrfeld: Linear DrivingDevice for Micro Actuators. Micromechanics Europe 1990, 2nd Workshop on Micromachining, Micromechanics and Microsystems, Berlin, 26.-27. November 1990.

[7] U. Wallrabe, M. Himmelhaus, J. Mohr, P. Bley, W. Menz:Rotierende Mikrostrukturen als Grundlage für einen mikromechanischen Strömungssensor. Werkstoffe der Mikrotechnik, Karlsruhe, 24./25. Oktober 1991.

[8] U. Wallrabe, P. Bley, B. Krevet, W. Menz, J. Mohr:Theoretical and Experimental Results of an Electrostatic Micro Motor with Large Gear Ratio Fabricated by the LIGA Process. Micro Electro Mechanical Systems '92, Travemünde(Germany), February 4-7, 1992.

[9] A. Rogner, W. Ehrfeld, D. Münchmeyer, P. Bley, C. Burbaum,J. Mohr: LIGA based Flexible Microstructures for FiberChip Coupling. J. Micromech. Microeng., 1(1991),pp. 167-170.

[10] A. Rogner, W. Ehrfeld: Die LIGA-Technik in der Integrierten Optik. VDI-Bericht 876; VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.

[11] W. Ehrfeld, J. Eicher, R.P. Peters: Utilization of Three-dimensional Microfabrication in Automotive Technology.Proc. 22nd Int. Symp. on Automotive Technology & Automation (ISATA), Florence, Italy, 14.-18. May 1990,Vol. 1, pp. 451-458.

[12] G. Preu, A. Wolff, D. Cramer, U. Bast: Microstructuring of piezoelectric Ceramic. Proc. 2nd ECERS, Augsburg, 11.-14. September 1991.

[13] Kt is de verhouding tussen uitgestraald ultrasoon vermogen en ingekoppeld elektrisch vermogen.

[14] Q is de maat voor de bandbreedte van de uitgestraalde frequenties ten opzichte van de resonantiefrequentie behorend bij de aangelegde spanning.

UV/ozon en andere reinigingsmethoden vergeleken

# Lijmen van kleine onderdelen (2)

**J.A. Poulis, J.C. Cool en E.H.P. Logtenberg.**

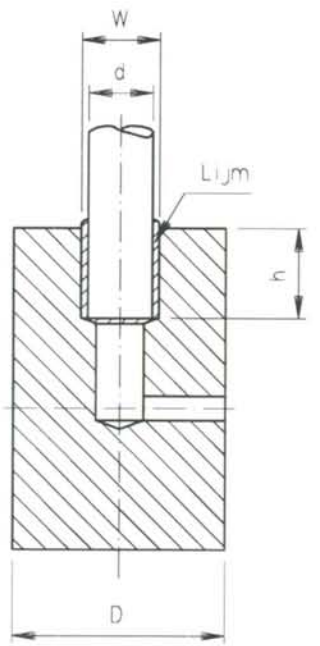
**De sterkte van lijmverbindingen is in belangrijke mate afhankelijk van de toegepaste reinigingsmethode. Dit geldt in het algemeen en in het bijzonder voor kleine cylindrische lijmverbindingen.**
**De sterkte van de verbinding kan worden geoptimaliseerd door het kiezen van de juiste reinigingsmethode. Voor het optimalisatieonderzoek is de reinheid van het oppervlak gemeten door het bepalen van de oppervlaktespanning met zogenaamde randhoekmetingen.**
**De onderzochte reinigingsmethoden bestaan uit een algemene voorreiniging met behulp van water en zeep, en aansluitend de hoofdreiniging met gasplasma of UV/ozon, een combinatie van UV-licht met ozongas.. Deze methoden zullen aan de hand van de gemeten randhoek en de gemeten sterkte van de lijmverbindingen worden geëvalueerd.**
**Vergelijking van de testresultaten leidt tot de conclusie dat een degelijke voorbehandeling, in de vorm van intensieve reiniging, bijzonder zinvol is. Tot slot worden de beide hoofdreinigingsmethoden onderling vergeleken uit zowel prestatie-technisch, praktisch en economisch oogpunt.**

## Lijmen van kleine onderdelen

De afgelopen jaren is uitvoerig onderzoek verricht naar het verlijmen van heel kleine roestvaststalen cylindrische onderdelen met een lijmoppervlak van 1,5 tot 27 mm$^2$. Deze miniatuurverbindingen worden steeds vaker toegepast bij de verdergaande miniaturisering van onderdelen in de produkten die bij de vakgroep Instrumenten van de Technische Universiteit Delft worden ontwikkeld. In deze vakgroep wordt wetenschappelijk onderzoek verricht naar lichtere en beter bedienbare kinder-protheses en ortheses.
Vanwege de steeds nauwere toleranties van de onderdelen, en het toenemend gebruik van kunststof blijkt lassen en solderen vaak niet mogelijk en worden de onderdelen gelijmd. De geconstrueerde lijmverbindingen bleken echter onbetrouwbaar en vaak begaven zij het al tijdens een eerste beproeving.
Om een verbetering van de kwaliteit van deze lijmverbindingen te bereiken werd een vierjarig promotieonderzoek opgezet. Een schets van de onderzochte – roestvaststalen – basisverbinding toont figuur 1. Daarin zijn eveneens de aanvoerkanalen voor de lijm zichtbaar, die moeten voorkomen dat er luchtinsluitsels in de lijm ontstaan die de sterkte nadelig beïnvloeden (zie Mikroniek 33(1993)5).

## Reinigen

Het is algemeen bekend dat het verven of lijmen op verontreinigde oppervlakken zal leiden tot loslaten van de verf of lijm.
Het oppervlak moet dus worden gereinigd, maar op welke wijze is de kwaliteit van de reiniging objectief te meten?




Figuur 1. Werktekening van de onderzochte standaardverbinding.

Het complete reinigingsproces dat gericht is op het verwijderen van zowel de organische als de anorganische vervuiling van het lijmoppervlak bestaat uit twee reinigingsstappen:
- de voor- of bulkreiniging, met water en zeep, waarbij het grootste gedeelte van de (an)organische vervuiling wordt verwijderd, en aansluitend
- de hoofdreiniging, met gasplasma of UV/ozon, waarbij het restant aan vervuiling, slechts enkele atoomlagen dik, wordt weggenomen.

Allereerst zal de voorreiniging worden besproken zoals deze is toegepast bij al de onderstaande experimenten.

### Voorreiniging

Deze bewerking, waarbij de meeste vervuiling verwijderd moet worden is opgedeeld in vijf opeenvolgende processtappen: reiniging met behulp van zeep en water, spoelen met stromend kraanwater, neutralisatie met behulp van een licht zure oplossing, spoelen met stromend kraanwater, spoelen met gedestilleerd water. Vanzelfsprekend zijn ook andere (combinaties van) methoden van voorreiniging toepasbaar, zoals bijvoorbeeld ultrasoon reinigen of borstelen.
Hoewel een aantal zeepsoorten getest werd, bleek er geen detecteerbaar verschil in het reinigingsresultaat. Uiteindelijk werd voor de beschreven experimenten een industriële zeepoplossing gekozen, bestaande uit een 2 vol.% oplossing van een RBS 50 concentraat in gedestilleerd water.

### Hoofdreiniging

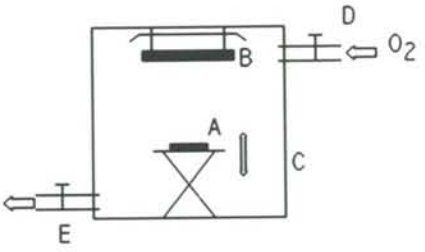
De laatste resten aan vervuiling van het oppervlak moeten worden weggenomen met de hoofdreiniging. De twee hieronder besproken hoofdreinigingsmethoden zijn ontwikkeld uit de behoefte aan een simpele, reproduceerbare en veilige methode die, zelfs bij onregelmatig gebruik, geen kwaliteitsverlies geeft aan de te maken verbinding.
Dit alles blijkt bij chemische reiniging slechts met grote inspanning realiseer-

baar. Veel chemische reinigingsmethoden werken op basis van alkalische of zure vloeistoffen. Op kleine schaal toegepast treden kleine veranderingen in de samenstelling van een reinigingsbad gemakkelijk op en kunnen dan grote gevolgen hebben op de uiteindelijke kwaliteit van gelijmde verbindingen. Dampontvetters worden ook weinig aantrekkelijk nu het gebruik van veel oplosmiddelen in de zeer nabije toekomst verboden wordt.

### UV/ozon reiniging

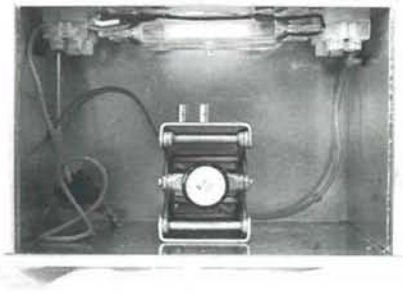
De methode werkt op basis van de reinigende werking van UV-licht tezamen met ozongas. Het is al lang bekend dat ultraviolet licht in staat is om organische moleculen te ontleden. Tot op heden wordt deze techniek echter voornamelijk gebruikt in de elektronische industrie om de siliciumplakken waarin de chips geëtst worden schoon te houden tussen de processtappen. (Reiniging met UV-licht wordt met succes op industriële schaal toegepast bij de drink- en rioolwaterzuivering in Engeland en Frankrijk voor het doden van bacterien en microorganismen. Red.)

De basisconstructie van het UV/ozon reinigingsapparaat is geschetst in figuur 2.




Figuur 2. a) De schematische weergave van het UV/ozon reinigingsapparaat met daarin: (A) substraat, (B) UV-bron, (C) aluminiumdoos, (D) toevoerbuis zuurstofgas, (E) afvoerbuis voor gebruikte gassen.

b) Het apparaat in bedrijf.



| Belichting | Reinigingsduur |
|---|---|
| "Black light" (>300 nm) | geen reiniging |
| $O_3$, geen UV | 10 uur |
| 253,7 nm, geen $O_3$ | 1 uur |
| 253,7 nm + $O_3$ | 90 seconden |
| 253,7 nm + 184,9 nm + $O_3$ | 20 seconden |

Tabel 1. De soort van "belichting" en de bijbehorende reinigingsduur, bij het gebruik van een aparte ozon generator. (2537 en 184,9 nm zijn twee golflengten uit het spectrum van de gebruikte UV-lamp.)

In essentie bestaat het uit een aluminiumdoos (C) met een volume van 1,5 liter, en een schuifdeur aan de voorzijde. In deze ruimte bevindt zich een lift waarmee de afstand tussen het substraat (A) en de UV-bron kan worden ingesteld. De belichting vindt plaats door middel van twee UV-lampen (B) die bovenin de doos gemonteerd zijn. Op deze wijze wordt een egale belichting van het substraat bewerkstelligd. Met de mogelijkheid om extra zuurstof toe te voeren en gas af te voeren (E) kan de gasinhoud ververst en de reinigingssnelheid worden geregeld.

*Het UV/ozon reinigingsproces*

De hoge oxydatie-reactiviteit van ozon tezamen met de destructieve invloed van UV-licht is zeer effectief in het verwijderen van kleine hoeveelheden organische vervuiling als huidvetten, snijolieën, siliconenolie (vacuümpomp) en restanten van oplosmiddelen zoals aceton, ethanol en methanol. De reinigingssnelheid is afhankelijk van:

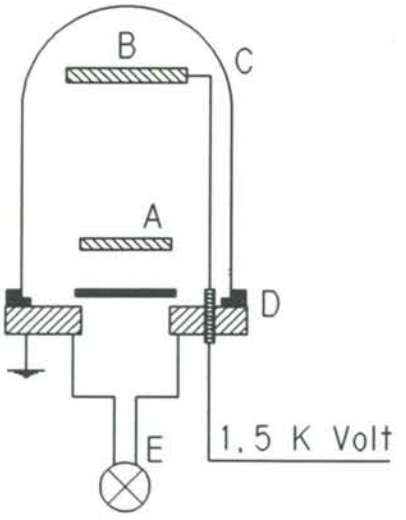
- de hoeveelheid en aard van vervuiling,
- de intensiteit van de UV-bron,
- de ozonconcentratie,
- het gebruik van reflectors boven de UV-bron,
- de aanwezigheid van andere gassen die kunnen functioneren als katalysator in de formatie van ozon via de reactie: $O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$ (waarbij M een inert molecule of atoom voorstelt),
- de partiële druk van het zuurstofgas,
- de temperatuur van het substraat.

Van bijzonder belang is de combinatie van twee golflengten uit het spectrum van de UV-lamp: 184,9 nm (verantwoordelijk voor de ozonproduktie) en 253,7 nm. Het weglaten van de ozon of een van de voornoemde UV-licht componenten zal de reinigingssnelheid verlagen, zoals geïllustreerd wordt in tabel 1.

Deze gegevens laten duidelijk zien, dat een extra hoge concentratie ozongas leidt tot een kortere reinigingstijd. Ozongas heeft echter een brede adsorptieband rond het gebied van circa 260 nm. De bronintensiteit ($I_0$) wordt gereduceerd en neemt af tot een waarde (I):

$I=I_0e^{-130pd}$

waarmee het substraat vervolgens wordt belicht. Hierbij is (p) de partiële ozondruk en (d) de afstand tussen het voorwerp en de bron in centimeters. Dit betekent, dat de hoogste reinigingssnelheid wordt bereikt wanneer het substraat zo dicht mogelijk bij de UV-bron wordt gebracht en bij een lage ozonconcentratie. Omdat de ozonconcentratie juist hoog moet zijn voor een hoge reinigingssnelheid, is het dus zaak zo dicht mogelijk bij de UV-bron te komen. Praktisch gezien houdt dit in, dat UV-reiniging vooral geschikt is voor het reinigen van vlakke onderdelen uit metaal, glas of kunststof.




Figuur 3. Een schematische weergave van het gasplasma reinigingsapparaat, met daarin: (A) substraat, (B) 1,5kV Anode, (C) vacuümstolp, (D) bodemplaat met doorvoeren, (E) vacuümpomp.

# UV/ozon en andere reinigingsmethoden vergeleken

### Gasplasma reiniging

Deze methode wordt vrijwel alleen gebruikt voor etsen, reinigen en het naderhand aanbrengen van dunne metaalfilms in de micro-elektronica en het voorbehandelen van kunststofonderdelen. Vanwege de bewezen werking in de halfgeleiderindustrie bij het reinigen van siliciumplakken, is de invloed op de hechting bij de verlijming van de kleine roestvaststalen cylindrische onderdelen proefondervindelijk onderzocht.
Het gasplasma is een toestand waarbij een gas, in een vacuüm van ongeveer 6,5 Pa, wordt aangeslagen door een elektrisch hoogspanningsveld, zie figuur 3. Als gevolg hiervan komt het gas in geleiding, waarbij geïoniseerde atomen op het substraatoppervlak (A) slaan.
In principe kan dit reinigingsproces plaatsvinden op twee fundamenteel verschillende wijzen.
Ten eerste, door een bombardement van geïoniseerde (zware) atomen zoals die van argon en stikstof, die zijn ontstaan in de reactie: $Ar + e^- \rightarrow Ar^+ + 2e^-$ en die voldoende energie hebben om de vervuilingen van het substraatoppervlak los te maken.
Ten tweede, door een chemische reactie tussen de vervuiling aan het substraatoppervlak en het geëxiteerde gasplasma. Het gaat hier om een zuurstofplasma dat een chemische reactie teweegbrengt tussen de gecreëerde zuurstof radicalen en de organische vervuiling die bij deze reactie wordt geoxydeerd.
$O_2 + e^- \longrightarrow O^\cdot + O^\cdot + e^-$ [+ organisch materiaal] $\longrightarrow CO_2 + H_2O + e^-$.
De reactieprodukten van beide processen zijn gasvormig en kunnen worden weggepompt.

### Meten van de reinheid

De lezer die thuis regelmatig de vaatwas doet, weet dat bij vette borden de waterdruppels als parels op het oppervlak blijven liggen. Na reiniging met water en zeep in de afwastijl zal een waterdruppel zich als een film over het oppervlak verspreiden. De bolling van de waterdruppel (oppervlaktespanning) is dus een maat voor de reinheid. Dit principe ligt ten grondslag aan de hieronder besproken randhoekmetingen.

Een goed moleculair contact is een noodzakelijke, hoewel niet altijd voldoende conditie voor het verkrijgen van een sterke lijmverbinding (zie ook het vorige artikel). De lijm moet dus de mogelijkheid hebben om spontaan over het oppervlak uit te vloeien. Om dit te realiseren moet de lijm:
- een kleine randhoek maken met het oppervlak,
- een lage viscositeit bezitten,
- in contact worden gebracht met het oppervlak, zodanig dat luchtinsluitsels worden voorkomen.

Het meten van de randhoek (bijvoorbeeld met water) geeft een goede, doch slechts kwantitatieve indicatie van de hoeveelheid organische vervuiling (zoals vetten) aan het lijmoppervlak. Hoe meer oppervlaktevervuiling, des te groter de randhoek en vice versa. Deze methode kan in de praktijk gebruikt worden om snel een indicatie te geven van de oppervlaktereinheid.

### Relatie reinigingsmethode, randhoek, sterkte en duurzaamheid

Diverse experimenten zijn uitgevoerd om de relatie te onderzoeken tussen de verschillende reinigingsmethoden en de daarmee behaalde randhoek, de verbindingssterkte en duurzaamheid na verlijming.

### Principe van de randhoekmeting

Kwantitatief kan de bevochtiging van een lijmoppervlak worden bepaald aan de hand van de randhoek van een vloeistofdruppel in evenwicht op een horizontaal oppervlak, zie figuur 4. Wanneer het systeem in evenwicht is, stelt zich aan het oppervlak van de druppel een hoek in als gevolg van de interactie tussen de vrije energie aan het scheidingsvlak vloeistof-damp $\gamma_{lv}$, de oppervlakte-energie aan het scheidingsvlak lijmvlak-damp $\gamma_{sv}$ en de oppervlakte-energie aan het scheidingsvlak lijmvlak-vloeistof $\gamma_{sl}$. Daarbij is:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv}.\cos\alpha. \quad (1)$$

Uit de figuur blijkt, dat wanneer $\alpha=0^o$ de vloeistof het substraatoppervlak spontaan bevochtigt, waarbij de snelheid afhankelijk is van de lijmviscositeit en de ruwheid van het substraatoppervlak. In dit geval geldt:

$$\gamma_{sv} \geq \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \ (\alpha = 0^o, \text{ dus } \cos\alpha = 1). \quad (2)$$

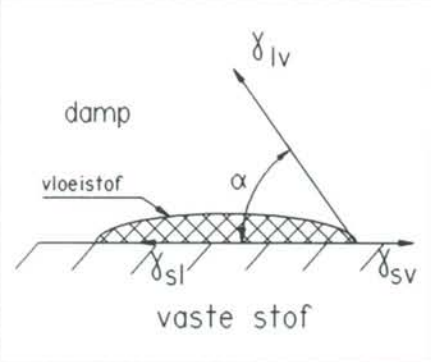
De adhesie-energie ($W_A$) is gedefinieerd als de energie die vrijkomt wanneer $1cm^2$ lijmoppervlak en lijm in contact komen:

$$W_A = \gamma_{lv} + \gamma_{sv} - \gamma_{sl}. \quad (3)$$

Wanneer we de vergelijking (1) in (3) substitueren, vinden we:

$$W_A = \gamma_{lv}.(1 + \cos\alpha). \quad (4)$$

Dit houdt in, dat de adhesieenergie maximaal is wanneer $\cos\alpha = 1$, ofwel $\alpha = 0^o$: $W_A = 2\gamma_{lv}$. (5)




Figuur 4. De bepaling van de randhoek ($\alpha$) die een druppel met het onderliggend oppervlak maakt.

### Reinigingsmethode en randhoek

Vlakke fijn gepolijste roestvaststalen (AISI 304) platen werden op een reproduceerbare wijze vervuild door ze onder te dompelen in snijolie voor roestvaststaal en daarna schoongeveegd met een tissue.
Reiniging met UV/ozon en gasplasma, zie figuur 5, is voorafgegaan door een voorreiniging met water en zeep. Voor dit laatste is gekozen omdat andere methoden van voorreiniging: tri/vegen, ultrasoon/tri, vim, een minder goed resultaat gaven.
Na elke reinigingsstap, aangegeven met de aanduiding 'test' in figuur 5, is de randhoek ($\alpha$) gemeten. Voor deze randhoekmetingen werd telkens een druppel dubbel gedestilleerd water op het te meten oppervlak aangebracht, wat de resultaten gaf zoals figuur 6 laat zien. Deze waarden zijn steeds het gemiddelde van 40 metingen en tonen duidelijk dat de randhoek kleiner wordt bij toenemende substraatreinheid. Het minimum van 8 graden ligt bij de reiniging met UV/ozon en gasplasma.
Figuur 6 geeft een totaalbeeld van de onderzochte reinigingsmethoden.

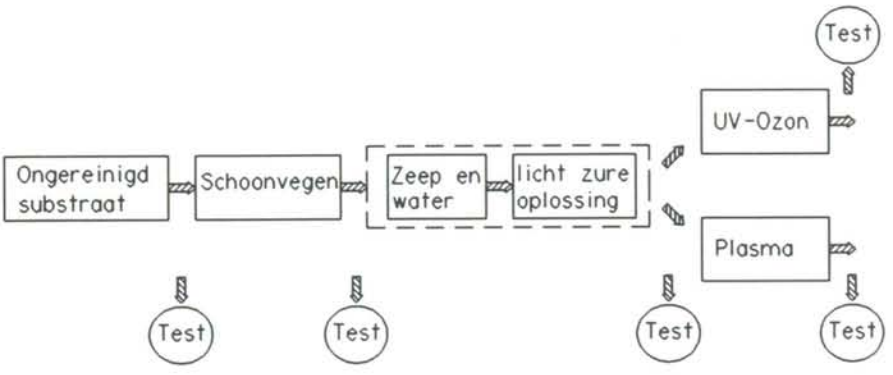
*Kwaliteitsbepaling van de reinheid*
De randhoekmetingen geven uitsluitend een kwantitatieve indicatie over de na reiniging op het substraat nog aanwezige restvervuiling. Om deze meer kwantitatief te bepalen en te onderzoeken welke reinigingsmethode welke vervuiling aanpakt zijn aanvullende metingen nodig.
Een methode hiervoor is de zogenaamde XPS-analyse (X-ray photon spectroscopy). Tabel 2 geeft het resultaat van de XPS-metingen in de vorm van het gemeten intensiteits*verschil* van de nog aanwezige elementen tussen reinigen met water en zeep en met UV/ozon en gasplasma. De laatste twee methoden geven een duidelijk beter resultaat dan water en zeep. Goed zichtbaar is ook de afname van de elementen die als zeeprestanten aan het roestvaststalen oppervlak zijn blijven hechten, zoals die van silicium en aluminium: $Si^{2s}$, $Si^{2p}$ en $Al^{2p}$.
De piekintensiteit van de verschillende atomen die zich aan het oppervlak bevinden (zoals Mo en Ni), wordt hoger na de plasmareiniging, doordat de oxydehuid van het metaal gedeeltelijk is verwijderd door het ionenbombardement.
Uit deze metingen blijkt verder, dat de reinigingseffecten van gasplasma en UV/ozon wel degelijk verschillen. Dit volgt onder andere uit het intensiteitsverschil van de koolstof, die afkomstig is van de organische vervuiling aan het oppervlak. Het blijkt dat de reiniging met gasplasma veel intensiever is geweest dan met UV/ozon. Dit kwam echter uit de kwantitatieve randhoekmetingen niet naar voren.

| | UV/ozon | gasplasma |
|---|---|---|
| $C^{1s}$ | -0,6 | -1,8 |
| $Si^{2s}$ | -0,2 | -0,7 |
| $Zn^{3s}$ / $P^{2p}$ | -0,1 | -0,2 |
| $Al^{2s}$ | -1,4 | -1,2 |
| $Si^{2p}$ | -0,3 | -1,1 |
| $Fe^{2s}$ $Zn^{3p}$ | 0,0 | -0,1 |
| $Al^{2p}$ | -1,8 | -5,6 |
| $Fe^{3p}$ | -0,3 | -0,1 |
| $Cr^{3p}$ | 0,0 | +0,6 |
| $O^{2s}$ | -0,3 | -0,6 |
| $Zn^{3d}$ | 0,0 | -0,1 |

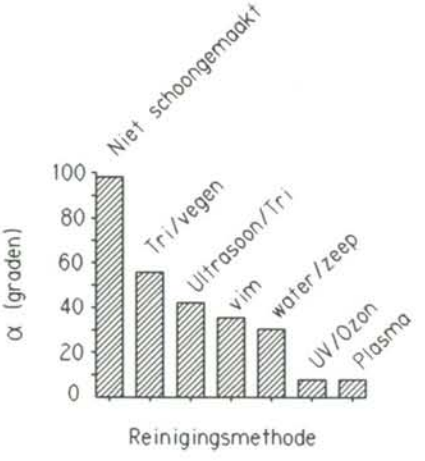
Tabel 2. De waarden in deze tabel geven aan hoe de relatieve intensiteit van verschillende chemische elementen aan het substraatoppervlak na een UV/ozon of plasma reiniging afneemt ten opzichte van een water en zeep reiniging. De metingen zijn verricht met behulp van XPS-apparatuur.

### Reiniging en sterkte van de verbinding

Over het algemeen is wel bekend, dat een schoner oppervlak vaak een betere hechting (en vaak ook duurzaamheid) geeft. Een onderzoek naar de invloed van de belangrijkste hierboven genoemde reinigingsmethoden – zeep, UV/ozon, plasma – op de hechtingssterkte wordt nu besproken.
Hiertoe werden verscheidene stellen van cylindrische substraten met afmetingen: d=2,0 mm, h=1,5 mm en een lijmspleet (W-d)/2 = 0,05mm in verschillende stadia van het reinigingsproces verlijmd met een anaerobe lijm (Loctite 638). Aan de onderzijde van




Figuur 5. Een schematische presentatie van de reinigingsstappen die tijdens de beschreven experimenten zijn uitgevoerd. De randhoekmetingen zijn aangegeven met 'TEST'.



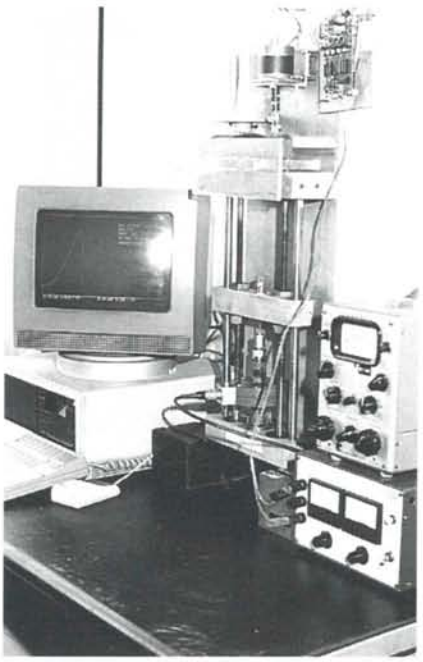

Figuur 6. Zes reinigingsmethoden en hun effect op de randhoek wanneer gemeten op gepolijst roestvaststaal. De standaarddeviatie in de gepresenteerde waarden bedraagt ongeveer 10%.

## UV/ozon en andere reinigingsmethoden vergeleken

de staf werd een lossingsmiddel aangebracht om slechts de adhesie aan de cilindrische zijwand te meten.
Na een droogtijd van 12 uur op kamertemperatuur werden de verlijmde substraten blootgesteld aan een warmtebehandeling van 2 uur op 80°C om de lijm goed uit te laten harden. De bereikte waarden van de sterkte van de verbindingen laat figuur 7 zien. Hieruit blijkt de sterkte van de verbindingen na behandeling met UV/ozon en gasplasma. Bovendien blijkt uit tabel 3 dat de hechting tussen lijm en metaal zeer goed is, getuige de mate van adhesief falen na langdurige blootstelling aan een warm en vochtig milieu. Dit leidt tot de conclusie dat een hoofdreiniging met behulp van UV/ozon of gasplasma bijzonder goed voldoet.

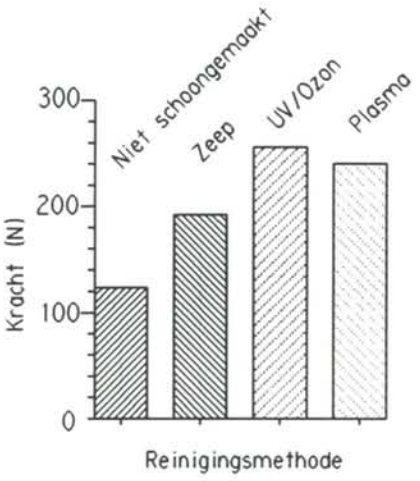
| | 0 maanden | 4 maanden | 8 maanden |
|---|---|---|---|
| ongereinigd | 95% | 97,5% | 100% |
| water/zeep | 75% | 95% | 90% |
| UV/ozon | 65% | 90% | 85% |
| gasplasma | 65% | 85% | 85% |

Tabel 3. De waarden in deze tabel geven de gemiddelde waarde aan van de kans op adhesief falen na verschillende verblijftijden in een warme vochtige omgeving (klimaatkast). Zij zijn gebaseerd op visuele waarneming van resterende lijm op het cilindrische oppervlak na destructief testen.

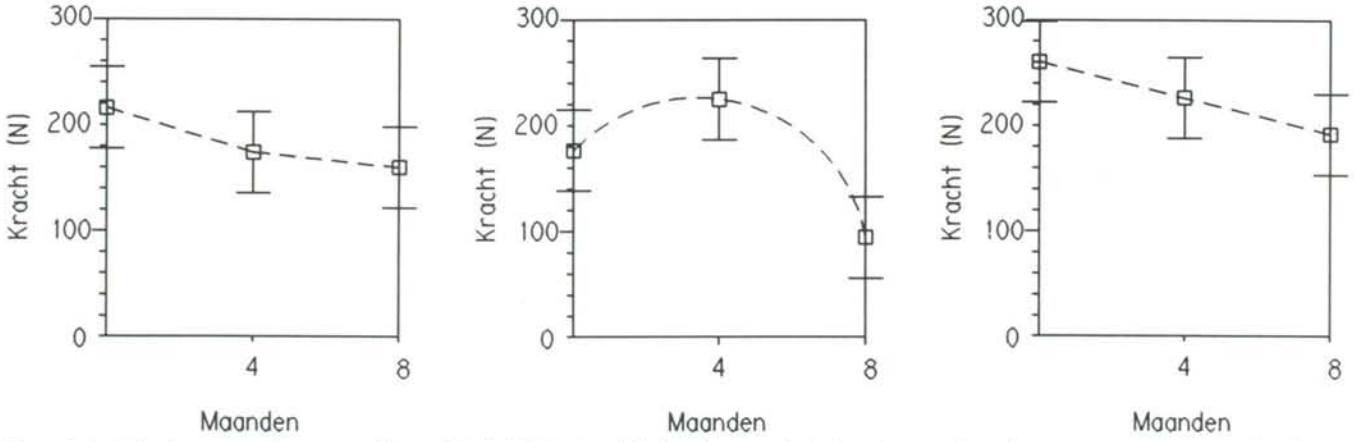


Opstelling voor het meten van de sterkte van de gelijmde verbindingen.

*Vocht en duurzaamheid*
In het voorgaande is het belang van de duurzaamheid van de lijmverbinding slechts kort belicht. In de praktijk blijkt dit vaak een belangrijke factor te zijn. Hieronder zal door middel van experimenten worden aangetoond dat een juiste reiniging de sterkte van de lijmverbinding op lange termijn ten goede kan komen.
Bij de experimenten werden eerder beschreven cylindrische substraten gebruikt. Na verlijming werd steeds een stel direct op sterkte getest terwijl twee andere voor 4 en 8 maanden in een klimaatkast werden geplaatst bij een temperatuur van 40°C en een relatieve luchtvochtigheid van 95%.
De resultaten van de metingen zijn gegeven in de figuren 8a, b en c. Zij laten zien dat de substraten die alleen met water en zeep gereinigd waren al direct een slechtere hechting vertonen dan degenen die waren gereinigd met UV/ozon of gasplasma. Verbazingwekkend is echter het feit dat, na een verblijf van acht maanden in de klimaatkast, de met UV/ozon gereinigde onderdelen ten opzichte van de met gasplasma gereinigde substraten een veel hogere sterk-




Figuur 7. Vergelijking van drie verschillende reinigingsmethoden en hun invloed op de hechtsterkte.




Figuur 8. De invloed van een vochtig en warm klimaat (40oC, 90% R.V.) op de hechtsterkte van cylindrische substraten die werd gemeten na 0, 4, en 8 maanden blootstelling aan dit klimaat:
a) gereinigd met water en zeep, b) gereinigd met gasplasma, c) gereinigd met UV/ozon.

| | gasplasma | UV/ozon |
|---|---|---|
| **randhoek** | vergelijkbaar | vergelijkbaar |
| **initiële sterkte** | vergelijkbaar | vergelijkbaar |
| **reinigingssnelheid** | relatief snel, doch vooral afhankelijk van de tijd om het benodigde vacuüm te bereiken | |
| **materiaal** | reiniging van diverse materiaal vormen mogelijk | vooral geschikt voor het reinigen van eenvoudige substraatvormen |
| **duurzaamheid** | matig | zeer goed |
| **bediening** | kennis van het proces is onontbeerlijk | extreem simpel: aan/uit |
| **investering** | | laag t.o.v andere reinigingsapparaten |

Tabel 4. Een algemene vergelijking tussen de twee beste reinigingsmethoden: gasplasma en UV/ozon.

te bezitten. Dit is in tegenspraak met de geconstateerde intensievere reiniging door middel van de gasplasma behandeling, als gemeten bij de XPS-metingen. Mogelijk activeert de UV/ozon behandeling het oppervlak zodanig, dat de lijmverbinding beter bestand blijkt tegen vochtige warmte. Ook is het mogelijk dat het gasplasma geleid heeft tot de vorming van een corrosiegevoelige oppervlaktelaag hetgeen verder onderzocht zou moeten worden. Een intensieve verwijdering van alle op het oppervlak aanwezige vervuiling - dit wordt niet bereikt door schoonmaken met water en zeep - blijkt uit deze metingen dus niet als essentiële eis voor duurzaamheid.

## UV/ozon ten opzichte van gasplasma en andere reinigingsmethoden

Zoals uit het voorgaande al bleek, biedt UV/ozon-reiniging een goed en eenvoudig alternatief voor het vervaardigen van hogekwaliteitsverbindingen. De tot nog toe tamelijk onbekende reinigende werking van UV/ozon blijkt in vele opzichten vergelijkbare en soms zelfs voor betere resultaten te zorgen dan gasplasma-reiniging, in het bijzonder na langdurige blootstelling aan vochtige lucht.
In tabel 4 worden plasma- en UV/ozon-reiniging vergeleken. UV/ozon-reiniging is ten opzichte van gasplasma-reiniging een goedkoop, veilig en milieuvriendelijk reinigingsalternatief, zowel voor industrieel als voor laboratoriumgebruik. Vooral gezien de steeds verder aangescherpte eisen ten aanzien van het gebruik van CFK's zoals omschreven in het milieuproject KWS 2000, dat het aantal mogelijke toepassingen van bijvoorbeeld dampontvetters terugdringt.
UV/ozon geeft in de hierboven besproken experimenten een winst in initiële hechtsterkte van zo'n 20% ten opzichte van zeepreiniging. Op langere termijn wordt deze winst echter steeds groter.
Een aantal voordelen van de UV/ozon techniek is:
- milieuvriendelijk;
  De vervuiling wordt geoxydeerd en verdwijnt gasvormig als $CO_2$, $H_2O$, $NO_2$.
- werkt bij kamertemperatuur;
- droge reinigingsvorm;
- zowel op metalen als op kunststoffen toepasbaar.

## Algemene conclusies

Het goed reinigen van materialen moet als essentieel worden gezien voor het verkrijgen van een duurzame lijmverbinding.
De relatie tussen een gemeten randhoek en de (initiële) hechtsterkte blijkt voor de onderzochte verbindingen slechts gedeeltelijk op te gaan.
De experimentele resultaten laten zien dat de oppervlaktereinheid van de substraten vooral de aanvangswaarde van de hechtsterkte bepaalt.
De zeer hoge reinheidsgraad die met gasplasma-reiniging behaald kan worden blijkt op langere termijn geen betere hechting op te leveren dan UV/ozon-reiniging.
Vooral om praktische redenen is UV/ozon-reiniging de meest aanbevelenswaardige methode, zowel voor laboratorium- als industrieel gebruik.

### Literatuur

[1] D.M. Brewis; Surface analysis and pretreatment of plastics and metals; Appl. science publishers London/New Jersey, ISBN 0-85334-992-4, 1982, pp 1-11.
[2] A.J. Kinloch; Adhesion and adhesives science and technology; Chapman and Hall, London/New York, 1987.
[3] W. Brenner; Structural adhesives challenge mechanical fasteners; Mach. Design, 24-01-1985, pp 61-64.
[4] R.G. Rice; Handbook of ozone technology and applications; Vol.1, Butterworth sc. group, ISBN 0-250-40324-2, 1982.
[5] J.R. Vig; UV/ozone cleaning of surfaces, Treatise on surface Technology; Ed. K.L.Mittal, Vol. 1, Plenum Press NY, 1987.
[6] Dyckerhoff, Von G.A. and P.J. Sell; Über den einfluss der grenzflächenspannung auf die haftfestigkeit; Die Angew. Makromol., Chemie 21, 1972.
[7] P.H.Holloway, D.W. Bushmire; Detection by Auger electronspectroscopy and removal by ozonization of photoresist residues; Proceedings of the 12th annual reliability physics symposium, Institute of electrical and electronic engineers, Piscataway, N.J., 1974, pp 180-186.
[8] Cherry B.W., S. El Muddaris; Wetting kinetics and the strength of adhesive joints; J. Adhesion (1970)2, pp 42-49.
[9] A. Kwakernaak; Oppervlaktebehandeling: een randvoorwaarde voor duurzame verbindingen; Materialen (1988)6.
[10] D.M. Manos; Plasma etching; Academic press, ISBN 0-12-469370-9, pp 12, 1989.
[11] R.A. Powell; Dry etching for microelectronics; North Holland Publ., 1984.
[12] J.A Poulis; Small Cylindrical Adhesive Bonds; Delft University of Technology, Fac. of Mech. Eng., Mekelweg 2, 2628 CD Delft, Holland, ISBN 90-370-0082-7, 1993.

### Auteursnoot

J.A. Poulis en J.C. Cool zijn verbonden aan de Technische Universiteit Delft, Faculteit Werktuigbouw en Maritieme Techniek te Delft.
E.H.P. Logtenberg is verbonden aan het Hechtings Instituut te Delft.

Dit artikel is een zeer beknopte weergave van een deel van het werk dat beschreven staat in het proefschrift "Small cylindrical adhesive bonds". Het proefschrift is bij de auteur te verkrijgen door overmaking van f 40,- op postgironr 3195292 t.n.v. J.A. Poulis te Leiden, onder vermelding van naam, adres en de opmerking "Proefschrift".
Meer inlichtingen betreffende UV/ozon-reiniging zijn te verkrijgen op het bovenstaand adres, of tel. 071 232269.

# KOPER / MESSING / ALUMINIUM

Voor 't geval dat u 't nog niet wist.:...

**enorme voorraden**

**en korte levertijden**

beheersen onze handelswijze!

Onze voorraad platen, staven, buizen, draad, profielen etc. is groot, erg groot zelfs.
En deze voorraad wordt voortdurend op peil gehouden, want lange levertijden zijn bij ons taboe.
Vraag omgaand informatie. We zijn snel te toetsen!

| KOPER<br>E-Cu/SF Cu | MESSING<br>Ms 58/Ms 60 Pb/Ms 63 | ALUMINIUM<br>50 ST/51 ST/28 ST/54 S |
|---|---|---|
| ● - 3 t/m 250 mm | ● - 1 t/m 350 mm | ● - 3 t/m 500 mm<br>51 ST + 28 ST |
| ■ - 4 t/m 200 mm | ■ - 2 t/m 150 mm | ■ - 4 t/m 200 mm<br>51 ST + 28 ST |
| ⬢ - 6 t/m 60 mm | ⬢ - 2 t/m 110 mm | ⬢ - 5 t/m 36 mm 28 ST |
| ▬ - 6 x 2 t/m 100 x 60 mm | ▬ - 3 x 2 t/m 100 x 80 mm | ▬ - 10 x 2 t/m 150 x 75 mm<br>50 ST + 28 ST |
| ○ - buis t/m 106 mm | ◠ - 6 x 3 t/m 40 x 6 mm | ◎ - buis/holstaf t/m 300 mm<br>50 ST/51 ST/28 ST |
| | ✹ - kartel 5 t/m 23 mm | ● plat + vierkant<br>óók in kortspanig 28 ST |
| | ◎ - buis/holstaf t/m 180 mm | |

**SALOMON'S METALEN B.V.**

*Voorsprong door Voorraad!*

GOTENBURGWEG 24,
9723 TL GROININGEN TEL. 050-421200 FAX 050-416892



# PRECISIE OPTISCHE COMPONENTEN

**Lenzen in standaard waarden of geheel volgens Uw specificatie.**
**Onze slijperij kan t/m testglas-controle, optische kwaliteits onderdelen leveren.**

- Plan-Convex, Bi-Convex, Plan-Concaaf, Bi-Concaaf, Achromaten.
- Miniatuur Lenzen, Ronde Lenzen, Cylinder Lenzen, alles op uw maat of Standaarduitvoering.
- Optische Spiegels, Deel-Spiegels, Achtervlak Spiegels.
- Prisma's als Rechthoek, Retro, 60°, Penta en Wiggen.
- Testglazen in Vlak- Hol- en Bol, Plan-Glazen, Optische Vensters van diverse glasmaterialen, Kwartsglas en Kwartskristal.
- Coaten met metalen en Fluoriden op uw Substraten en Spiegels.
- Precisie glasbewerking in Standaard Glas, Optisch Glas, Kwartsglas en Kwartskristal.

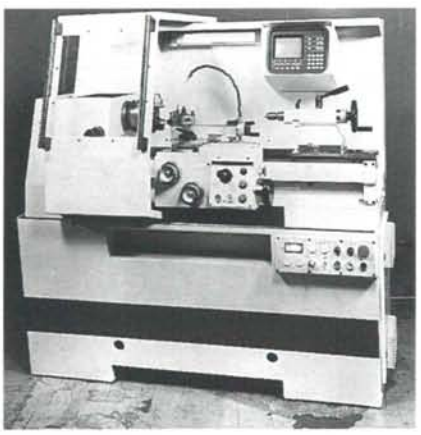
STABILIX

**STABILIX B.V.**
**Burg. Hovylaan 84**
**2552 AZ DEN HAAG**
**tel. 070 - 3970061 fax 070 - 3979321**

# Produktinfo

## Conventionele draaimachine met programmeerbare bewerkingscycli

Voor werkplaatsen waar een CNC-machine wat overdadig is, maar toch een mate van automatisering wordt gewenst, ontwikkelde het bedrijf Weiler de draaimachine type E-35.

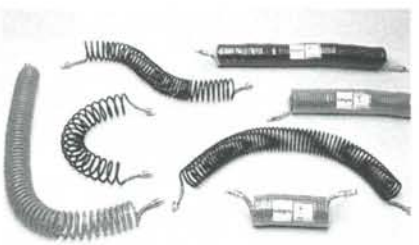


Het betreft hier een met moderne hulpmiddelen uitgeruste conventionele precisiemachine waarmee op een praktische wijze enkelstuks en kleine series vervaardigd kunnen worden. Het gebruiksgemak ervan bestaat vooral uit de beschikbaarheid van diverse automatische cycli voor verspaning in langs- en dwarsrichting, draadsnijden, kegeldraaien, insteken en boren. Door de voor een specifieke bewerking vereiste condities in te toetsen wordt de complete bewerkingscyclus uitgevoerd. De sledeverplaatsingen, het spiltoerental en de voeding zijn zichtbaar op een monitor. Een regeling zorgt voor een constante snijsnelheid, onafhankelijk van de draaidiameter.
De maximum afstand tussen de centers is 950 mm, bij een draaidiameter boven het bed van 410 mm. Het toerental is traploos regelbaar tot 3.000 omw/min. De sledeverplaatsingen worden gerealiseerd door middel van kogel-omloopspillen; hoge ijlgangsnelheden zijn mogelijk.
De machine is standaard zeer compleet uitgevoerd, onder andere met koelmiddelinrichting, snelwisselbeitelhouder, centrale automatische smering voor de sleden.

**Voor uitvoerige info:**
Schreuder en Co.
Postbus 326
3330 AH Zwijndrecht
Telefoon: 078 - 100 111
Fax: 078 - 103 193.

## Polyamide spiraalslangen

De firma Legris heeft haar assortiment slangen uitgebreid met een reeks spiraalslangen. Deze zijn in de eerste plaats bedoeld voor gebruik in combinatie met pneumatische gereedschappen, maar ook uitstekend toepasbaar bij apparatuur waarvan een pneumatisch onderdeel geen vaste plaats heeft, maar bijvoorbeeld heen en weer beweegt.
De spiraalslangen zijn uit polyamide 11/12 vervaardigd aan beide uiteinden voorzien van een rechte instant-koppeling met conische inschroefaansluiting. Ter plaatse van de aansluitingen zijn ze uitgevoerd met een knikbeveiligingsveer.

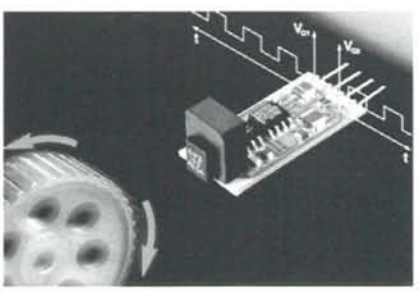


De reeks omvat twee buitendiameters - 6 mm en 8 mm - en drie lengtematen met een werklengte van respectievelijk twee, vier en zes meter. Dit zijn maximum lengtes die aanbevolen worden om ervan verzekerd te zijn dat de spiraal zich ook na veelvuldig uitrekken weer zo goed als geheel in de oorspronkelijke toestand herstelt.
Alle slangen zijn in twee kleuren leverbaar, oranje en blauw; werkdruk maximaal 1,8 MPa (18 bar).

**Voor uitvoerige info:**
Legris B.V.
Postbus 74
1380 AB Weesp
Telefoon: 02940 - 80 209
Fax: 02940 - 80 294.

## Contactloze rotatie- en draairichtingsensor

De hybride halfgeleidersensor KM-110BH/31 kan zowel de draaisnelheid als de draairichting van een object meten zonder er contact mee te maken. Toepassingsgebieden zijn motorregeling en machinebesturing. De sensor kan worden gecombineerd met tal van soorten tachometervertandingen en is ongevoelig voor trilling; zijn temperatuurgebied loopt van -40 tot + 150°C.
Omdat de sensor wordt geplaatst op enige afstand van de vertanding (maximaal 3 mm) is er geen slijtage en daardoor zeer betrouwbaar. Bovendien is hij uiterst eenvoudig te vervangen, zonder kalibratie en afregeling.
De KM110BH/31 is geschikt voor tandfrequenties van 2 Hz tot 50 kHz. In tegenstelling tot inductieve sensoren levert de nieuwe sensor een signaal waarvan de amplitude niet van de frequentie afhangt, maar slechts van de voedingsspanning. Deze mag 4 tot 10 V bedragen, zodat rechtstreekse verbinding met CMOS- of TTL-logica mogelijk is.
De sensor wordt uitgebracht in een gebruiksklare hybride-uitvoering, waarvan het magnetoresistieve sensorelement KMZ10B het hart vormt. De hybride-uitvoering maakt het echter ook



mogelijk de schakeling aan te passen aan specifieke wensen van de afnemer, bijvoorbeeld het tevens erin onderbrengen van de elektronica voor verdere signaalverwerking.

**Voor uitvoerige info:**
Philips Nederland B.V.
Components, Eindhoven
Telefoon: 040 - 783 749.

## Elektronisch synchroon koppelen van machinebewegingen

In veel produktieprocessen komt het voor dat twee of meer machines of machinebewegingen synchroon met elkaar moeten lopen.
Mechanisch koppelen van machines en de van een (hoofd)aandrijving afgeleide bewegingen geschiedt veelal door curveschijven, tandwielkasten, tandwielen, tandriemen of kettingen. Als machines op grotere afstanden van elkaar staan kan dat problemen geven, wat ook het geval is als flexibiliteit in de onderlinge afstelling van bewegingen wenselijk is. In dergelijke gevallen kan het de oplossing zijn elke machine en/of in aanmerking komende bewegingen een eigen aandrijving te geven. Deze wordt dan elektronisch bestuurd en gekoppeld met "de rest", zodat synchroon lopen verzekerd is en het aanbrengen van verschillen in de onderlinge afstelling mogelijk is.
Een dergelijk synchronisatiesysteem biedt de Britse firma Quinn met de Ratio:er. Hierdoor bestuurde stilstaande bewegingen kunnen direct synchroon worden gekoppeld, eventueel in een bepaalde overbrengingsverhouding, met de in bedrijf zijnde machine. Indien men een machine geheel elektronisch wil sturen dienen de in aanmerking komende bewegingen ieder met een Ratio:er te worden uitgevoerd.
In het elektronische systeem van de Ratio:er zijn tal van veiligheidsvoorzieningen ingebouwd waarmee machinestoringen worden gedetecteerd. De actuele bedrijfstoestand wordt door middel van LED's op de Ratio:er aangegeven. Extra outputs stellen de gebruiker bovendien in staat de positie- en snelheidsgegevens via externe displays en instrumenten weer te geven.
Het programmeren van de Ratio:er is bijzonder eenvoudig: met behulp van een duidelijk menuscherm zijn alle verlangde instellingen in te voeren op een PC, die via de ingebouwde RS 232 interface met de Ratio:er is verbonden.

**Voor uitvoerige info:**
Groneman B.V.
Postbus 24
7550 AA Hengelo
Telefoon: 074 - 434 545
Fax: 074 - 430 178.

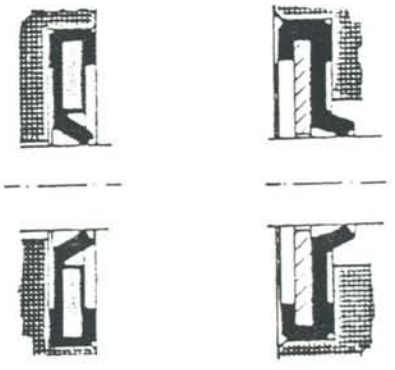
## Lengtemeetsysteem voor meetstappen tot 1 nm

In het bijzonder voor machines die ultra-precieze bewerkingen moeten uitvoeren, alsmede voor vervaardigings- en meetinstallaties in de halfgeleiderindustrie, zijn lengtemeetsystemen met meetstappen tot 0,1 µm tot 1 nm nodig. Hiervoor werd door HEIDENHAIN het open incrementele lengtemeetsysteem LIP 201 R ontwikkeld.
De LIP 201 R maakt gebruik van het fenomeen van de lichtbuiging en lichtinterferentie. De meetliniaal van het lengtemeetsysteem bestaat uit een Zerodurr-glaskeramiek met een thermische lengte-uitzettingscoëfficiënt van $\alpha \approx 0 \,.\, 10^{-6}K^{-1}$. Het heeft een dwarsdoorsnede van 5 x 15 mm en wordt thans voor meetlengten t/m 75 mm geleverd. De nauwkeurigheid van de DIADUR-verdeling op de meetliniaal bedraagt ± 0,1 µm.
De aftastkop levert sinusvormige uitgangssignalen met een signaalperiode van 1,024 µm en een referentiemerksignaal, waaruit een referentie-impuls gevormd wordt, die aan een bepaalde meetstap exact toegekend is en waarvanuit de meting kan worden verricht. Door elektronische onderverdeling zijn meetstappen tot 1 nm mogelijk.

**Voor uitvoerige info:**
HEIDENHAIN NEDERLAND B.V.
Postbus 107
3900 AC Veenendaal
Telefoon: 08385 - 40 300.

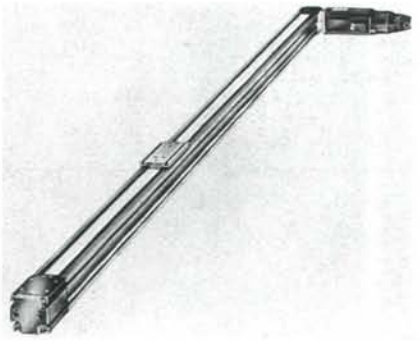
## Smalle radiale lipafdichtingen

Voor uiterst begrensde inbouwruimten is een radiale lipafdichting, de VR Lipseal met de typen DOA en DOB ontwikkeld, die in tegenstelling tot afdichtingen naar DIN 3760 slechts 3 tot 5 mm inbouwdiepte nodig hebben. De afdichting bestaat uit een steunschijf, waarover een elastomeermembraan gespannen is. Al naargelang de drukrichting van het medium en de inbouwsituatie is de dichtlip naar binnen of naar buiten gekeerd.
Door minimalisatie van de inbouwruimte te combineren met de mogelijkheden van deze afdichtingen, zoals het kunnen lopen op ongeharde en ongeslepen assen, zelfs bij hoge toerentallen en drukken, is een bedrijfszekere afdichtingsplaats te creëren.
De afdichtingsringen zijn leverbaar in 9 verschillende elastomeren (van Vredestein) met een stalen of roestvaststalen steunschijf.



**Voor uitvoerige info:**
NMF Techniek B.V.
Helperoostsingel 40b
9722 AV Groningen
Telefoon: 050 - 275 777
Fax: 050 - 275 905.

## Lineairmodule

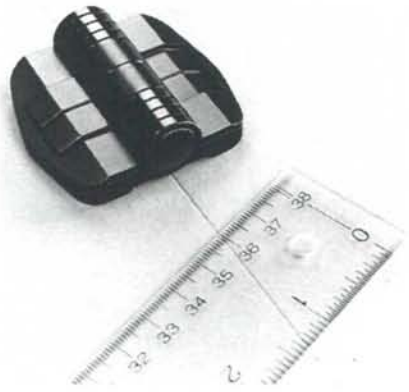


Deutsche STAR introduceerde onlangs een uiterst compacte lineairmodule, grootte 15/65, als kleinste van een reeks eerder uitgebrachte grotere modules.
De nieuwe module is een complete inbouweenheid waarin de geleiding en de aandrijving zijn gecombineerd. De aandrijving geschiedt door middel van een tandriem. Het aluminium extrusieprofiel is 65 x 65 mm groot en heeft een maximum lengte van 3000 mm. Intern is een smalle geleidingswagen grootte 15 aangebracht.
De aandrijving bestaat uit een tandriem en een kleine poelie, zodat de lastinertie aan de motoras laag is gehouden. Naast de met tandriem aangedreven module is eveneens een module zonder aandrijving opgenomen die als volger dienen kan.

**Voor uitvoerige info:**
Koch Kleeberg B.V.
Bolderweg 41
1332 AZ Almere
Telefoon: 036 - 5 320 504
Fax: 036 - 5 322 548.

## Scharnier met "voorkeuze"-stand

Onkenhout & Onkenhout B.V. te Diemen heeft het assortiment SOUTHCO-sluitingen en scharnieren uitgebreid met een bijzonder produkt.
Het betreft scharnieren voor verticaal gebruik waarmee een deur onder zekere voorspanning gesloten en, afhankelijk van het type, na 85°, 120° of 155° open wordt gehouden. De voorspanning is in drie grootten leverbaar. Het scharnier is ook verkrijgbaar zonder vaste standen.



**Voor uitvoerige info:**
Postbus 66
1110 AB Diemen
Telefoon: 020 - 6 600 221
Fax: 020 - 6 904 246.

SUPERIEURE POSITIONEERTAFELS MET FEILLOZE PRECISIE EN REPRODUCEERBAARHEID

TSL TSLB
Lineaire Precisie Positioneertafels

- Snel en accuraat in te stellen
- Kompakt, lichtgewicht en vormvast
- Instelbaar over lange reikwijdte
- Uiterst betrouwbaar en duurzaam

*Leverbaar als TSL met Kogelomloopspindel of TSLB met tandriem aandrijving.*

IKO NIPPON THOMPSON EUROPE B.V.

Sheffieldstraat 35-39, 3047 AN Rotterdam
Telefoon: 010-462 68 68 Telex: 26025 (IKO NL) Fax: 010-462 60 99
- Mündelheimer Weg 56, 40472 Düsseldorf, F.R. Duitsland
Telefoon: 0211-414061 Telex: 8586242 (IKO D) Fax: 0211-427693
- Polig. Ind. AIDA, A-8 Ofic 2, 1ª, 19200-Azuqueca de Henares (Guadalajara), Spanje
Telefoon: 911-26 33 90 Fax: 911-26 31 13
- 2 Vincent Avenue, Crownhill, Milton Keynes Bucks MK8 OAB, Groot-Brittannië
Telefoon: 0908-566144 Fax: 0908-565458

DC Motor Controller board
+
DC Mike Drive
=
PRECISIE POSITIONEREN

- Met de C 812, DC motor controller insteekkaart is een 4-assige programmeerbare precisie positionering mogelijk
- 4 DC motoren, 12V-3W, kunnen worden aangestuurd
- programmering middels ASCII
- DC Mike Drives in 10, 25 en 50 mm uitvoering
- reproduceerbaarheid van 0,1 micron

PHYSIK INSTRUMENTE
is uw partner

Laat u uitnodigen tot een oriëntatie.
Voor uitgebreide informatie en produktkatalogus:
Tel. (31) 4959 3300
Fax (31) 4959 1153

APPLIED LASER TECHNOLOGY

# NVFT, vereniging voor precisie-technologie

*De NVFT is een vereniging van technici die hoogwaardige professionele apparatuur ontwerpen, ontwikkelen of fabriceren. Het betreft zowel consumenten- als kapitaalgoederen. Door integratie van technieken als mechanica, optica, elektronica en glastechniek ontwikkelen zij steeds nieuwe, geavanceerde produkten.*

- De NVFT stimuleert de onderlinge contacten en informeert haar leden over ontwikkelingen in het vakgebied door regionale bijeenkomsten, cursussen, symposia en publikaties in Mikroniek.
- Bij deelname aan de **Mikropool** worden moeilijk (in kleine hoeveelheden) verkrijgbare materialen en specialistische bewerkings-technologieën uitgewisseld.
- NVFT-leden krijgen korting op de door de NVFT georganiseerde activiteiten, evenals op de activiteiten van andere verenigingen waarmee de NVFT een samenwerkingsovereenkomst heeft.

***Inlichtingen:***
*Secretariaat NVFT, Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven, tel.: 040 – 473 659 fax: 040 – 460 645.*

## MECHANICAL PARTS PRODUCTION
**Delft Instruments**

MPP DELFT INSTRUMENTS

Röntgenweg 1, 2624 BD Delft
Postbus 483, 2600 AL Delft
Telefoon: 015 - 698500
Fax: 015 - 571352

***MPP***
MPP (Mechanical Parts Production) is een dynamisch bedrijf met tientallen jaren ervaring op het gebied van fijnmechanische fabricage en co-makership, een ervaring opgedaan bij de vervaardiging van onderdelen voor de apparatuur van Delft Instruments.

***Kwaliteit***
Inzet, toewijding en kunde staan bij MPP hoog in het vaandel. Zo kan MPP een uitstekende kwaliteit van haar produkten waarborgen. Bij MPP wordt dan ook volgens ISO 9002 gewerkt.

***Co-makership***
Dankzij de jarenlange ervaring in het samenwerken met anderen voor fabricage van onderdeln, bouwden de MPP-medewerkers een grote expertise op in het projectmatig werken, waarbij het co-makership altijd als uitgangspunt geldt. Dit betekent dat al bij de ontwikkelingsfase van een produkt wordt meegedacht.

***Doelstelling***
MPP wil met de klanten Co-makership relatie opbouwen. Een relatie die gebaseerd moet zijn op een wederzijds vertrouwen in elkaars mogelijkheden en die gericht is op zo gunstig mogelijke markt-condities voor die klant. Nauwe samenwerking en goede afspraken moeten leiden tot de juiste prijs/prestatie verhouding.

*Kontaktpersonen:*
W.H.H. Evertsz
tel: 015 - 698666
H.J. Berbeé
tel: 015 - 698538

# 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.

GROOT IN HET KLEINE

micro montage
Postbus 3108 - NL 3760 DC SOEST - Holland

# Suikerklontje op 1/2 meter afstand

**Opname met Long Distance Microscope**

Rik

Custom made Optics:

* specialistisch slijpwerk
* long-distance microscopen
* telescopen

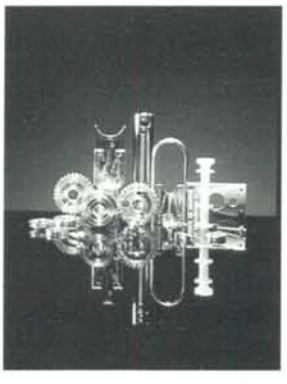
Bel Opticon !
050-567072

afz. Bart

OPTICON

Hoendiep 244 9745 EG Groningen
tel: 050-567072 fax: 050-566430





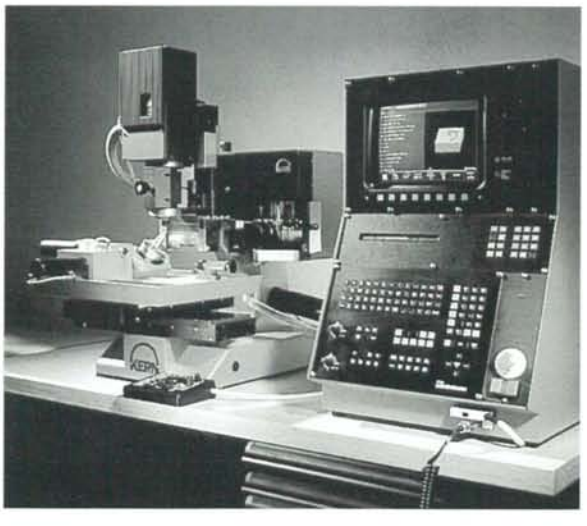
De laatste jaren wordt de vraag naar mikrotechniek steeds groter. A.J.B. Instrument wil daarop inspelen en heeft daarvoor een aparte afdeling opgericht. Wij gaan ons speciaal richten op het vervaardigen van zeer kleine precisieonderdelen t.b.v. de High Tech Industrie.

Deze afdeling wordt gekoppeld aan onze zeer geavanceerde meetkamer met onder andere twee CNC 3D-meetmachines. Uitgebreide meetrapporten kunnen worden meegeleverd.

Voor dit doel heeft AJB het kleinste bewerkingscentrum ter wereld aangeschaft.

*Technische omschrijving:*

| | |
|---|---|
| Merk | : KERN |
| Aantal gereedschappen | : 12 |
| Gereedschapopname | : ISO 20 |
| Toerental | : 300 - 20.000 |
| Besturing | : Heidenhain TNC 415, 5 assen |
| Werkbereik | : X220 mm, Y160 mm, Z220 mm |
| Verdeelapparaat | : CNC 2-assig, met mini palletsysteem |



AJB instrument bv

Zuidzijde 7, Postbus 1173
3180 AD Rozenburg
Telefoon 01819-13377
Telefax 01819-15542

# Precisie...
## daar zijn wij sterk in!

Opgericht in 1919 heeft Esmeijer zich ontwikkeld tot een van de toonaangevende ondernemingen in zijn branche.

Vooral voor fijnmechanische- en hoognauwkeurige bewerkingen omvat het leveringsprogramma een nagenoeg compleet aanbod aan machines en gereedschappen van wereldwijd gerenommeerde topfabrikanten.

Een wezenlijk onderdeel van onze contacten met klanten bestaat uit gedegen voorlichting, technische adviezen, demonstraties en het inbedrijfstellen en servicen van geleverde machines door gespecialiseerde onderhouds-technici.

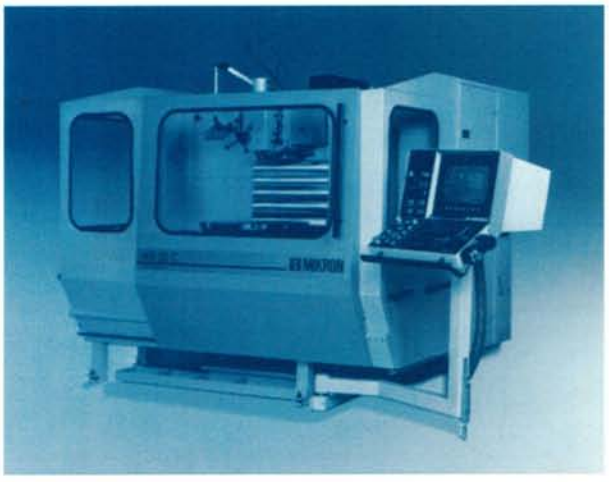
Precisie, daar leven wij al 75 jaar van.

**Voor meer informatie of documentatie:**
**Telefoon 010-415 27 88, Fax 010-437 89 66**

1919 - 1994

**ESMEIJER SINDS 1919 UW PARTNER VOOR DE HOOGSTE PRECISIE**

**Schaublin**
*Voor hoogwaardige draai- en freesbewerkingen.*
*Conventionele- en CNC uitvoeringen.*
*Draaien tot Ø 250 mm.*
*Frezen XYZ tot 700 x 500 x 400 mm.*



**Mikron**
*Voor alle freesbewerkingen van klein tot groot.*
*Conventionele- en CNC-uitvoeringen.*
*Bewerkingscentra.*
*Werkbereik XYZ tot 2000 x 800 x 1000 mm.*

**Fehlman**
*In één opspanning co-boren, kotteren, frezen.*
*Conventionele- en CNC uitvoeringen.*
*Werkbereik XYZ tot 2100 x 435 x 500 mm.*

esmeijer

ESMEIJER BV • INDUSTRIEWEG 110 • 3044 AT ROTTERDAM • POSTBUS 11077 • 3004 EB ROTTERDAM • TEL. 010-415 27 88 • FAX 010-437 89 66