

# In dit nummer

Vakblad voor precisietechnologie en fijnmechanische techniek en orgaan van de NVPT. Mikroniek geeft actuele informatie over technische ontwikkelingen op het gebied van mechanica, optica en elektronica. Het blad wordt gelezen door functionarissen die verantwoordelijk zijn voor ontwikkeling en fabricage van geavanceerde fijnmechanische apparatuur voor professioneel gebruik, maar ook van consumentenproducten.

#### **Uitgave:**

Twin Design bv  
Postbus 317  
4100 AH Culemborg  
Telefoon: 0345-519525  
Fax: 0345-513480  
E-mail: mikroniek@twindesign.nl

#### **Uitgever:**

Andries Harshagen / Marije Roefs

#### **Abonnementen:**

Twin Design bv, Culemborg

#### **Abonnementkosten:**

Nederland: € 55,- per jaar ex BTW  
Buitenland: € 70,- per jaar ex BTW

#### **Hoofredactie**

Marije Roefs  
E-mail: mikroniek@twindesign.nl

#### **Redactiesecretariaat/eindredactie**

Mikroniek/ Marije Roefs  
Twin Design bv  
E-mail: redactie@twindesign.nl

#### **Advertentie-acquisitie:**

Waterfront media  
Barry Stok  
Tel: 078-630-5500

#### **Secretariaat NVPT**

Boerhaavelaan 40  
Postbus 190  
2700 AD Zoetermeer  
Tel: 079-35 31 151  
Fax: 079-35 31 365  
E-mail: office@NVPT.nl

#### **Vormgeving en realisatie:**

Twin Design bv, Culemborg

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

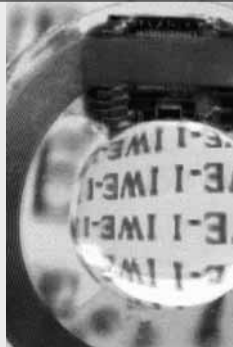
ISSN 0026-3699

De coverfoto is beschikbaar gesteld door TNO  
TPD, Delft

## 4 Editorial

## 5 Continue oogdrukmeting op afstand

Meten in het lichaam wordt steeds belangrijker. Het telemetrisch overdragen van patiëntgegevens wint steeds meer aan betekenis. Inwendige sensoren leggen de belangrijkste lichaamsparameters vast en dragen die met behulp van een transponder over aan de buitenwereld. Nieuw is het overbrengen van meetgegevens vanuit het inwendige oog.



## 9 Verhuisbericht / Persberichten

## 16 Actueel

## 17 Microstraalbewerken als precisie vormgevingstechnologie

Bestaande technieken voor de vervaardiging van microsysteemtechnische componenten blijken in onvoldoende mate toepasbaar om het toenemende spectrum aan gewenste geometrieën en materialen vorm te geven. De behoefte aan geschiktere technieken neemt daarvoor toe. Aan de TU Delft is een onderzoek afgerond naar één van de mogelijkheden hiervoor: het microstraalomvormen.

## 25 Ontwikkeling van een refocus mechanisme voor de tweede generatie Meteosat-weersatellieten

Voor het SEVIRI instrument, van de tweede generatie Meteosat is een scherpstelmechanisme ontwikkeld. Het mechanisme is bedoeld om in de baan om de aarde het brandpunt in te stellen van een spiegelstelsel. Terwijl de MSG-satelliet vanuit zijn baan de aarde en haar atmosfeer observeert, zal het REM worden gebruikt om kleine vervormingen van de satellietconstructie te compenseren.

# De eerste Mikroniek in een nieuw jaar

Laten we als NVPT nog even stil staan bij het vorige jaar en tegelijk vooruitblikken op dit nieuwe jaar.

We hebben het vorige jaar afgesloten met een geslaagde bewerkingsdag. Deze dag, georganiseerd in samenwerking met het Mikrocentrum trok meer dan vijftig bezoekers. De opkomst en de interesse zijn dusdanig dat we op dit moment al bezig zijn met een volgende bewerkingsdag. Verder komt er dit jaar een vakliedendag, voor instrumentmakers en iedereen werkzaam en betrokken bij het realisatie- en integratietrajecten.

Afgelopen jaar zijn we begonnen met een Nederlandse internetsite voor de precisietechnologie. Jammer is dat de site nog niet klaar is. Dit wordt gecompenseerd doordat we een aantal zusterorganisaties, zoals Fotonica, bereid hebben gevonden mee te werken aan het op regelmatige basis vullen van de site. Dat geeft een site meer inhoud en daarmee draagkracht. We beloven voor de ledenvergadering 2003 on line te zijn!

De Precisiebeurs 2002 was weer succesvol. Ook in 2003 zullen we weer onze bijdragen leveren aan de Precisiebeurs, al was het maar de uitreiking van de Rien Koster Prijs. Vorig jaar was Theo Heeren de gelukkige. Mocht u dit jaar iemand weten die deze gewilde en eervolle onderscheiding verdient, laat het ons dan vooral weten.

Met de naam Rien Koster zijn we bij Mikroniek aangekomen. Beiden een begrip in Precisieland. Ook vorig jaar is het de redactie onder aanvoering van Rien Koster gelukt een serie interessante artikelen te realiseren. Toch is het vinden van voldoende kopij niet altijd eenvoudig. We willen u bij deze dan ook vragen om kopij te leveren, zodat we ook in 2003 een aantal interessante en leerzame Mikronieken krijgen!

Last but not least zijn we in december verhuisd naar Zoetermeer. Het FME zal vanaf heden de administratie en secretariaatsvoering voor de NVPT verzorgen. Een grote professionele organisatie, waar ons secretariaat in goede handen is, zodat we ons zoveel mogelijk kunnen richten op de ontwikkeling van de kennis en het netwerk in de precisietechnologie. Het nieuwe jaar is alweer meer dan een maand oud. Toch willen we u voor het komende jaar nog veel succes, precisie en een aantrekkende economie toewensen!

*Pieter Kappelhof*  
*Secretaris NVPT*

# Continue oogdrukmeting op afstand

*Metten in het lichaam wordt steeds belangrijker. Maar een bezwaar is dat meetgegevens door de huid naar buiten moeten worden gebracht via een geleider, met alle infectierisico's van dien. Daarom wint het telemetrisch overdragen van patiëntgegevens steeds meer aan betekenis. Inwendige sensoren leggen daarbij de belangrijkste lichaamsparameters vast en dragen die met behulp van een transponder over aan de buitenwereld. Geheel nieuw is het telemetrisch overbrengen van meetgegevens vanuit het inwendige van het oog.*

• *Christine Weiß en Detlef Streufert (Vertaling en bewerking: Frans Zuurveen)* •

**D**e meest voorkomende oogaandoeningen, die uiteindelijk tot blindheid kunnen leiden, zijn grijze staar (cataract) en groene staar (glaucoom). In ontwikkelingslanden kampt men bovendien met infectieuze aandoeningen van het hoornvlies. Cataract heeft als oorzaak een vertroebeling van de ooglenzen. In het algemeen kan dit ouderdomsprobleem goed worden opgelost door het implanteren van een intra-oculaire kunstlenzen, maar voor het oplossen van glaucoom bestaat op het ogenblik nog geen bevredigende behandelingsmethode. Toch is in de Westerse wereld glaucoom - na diabetes mellitus - de op een na meest voorkomende oorzaak van blindheid.

Glaucoom ontwikkelt zich door een soort opstuwning van de vloeistof in de oogkamer, waardoor de overdruk in het

inwendige van het oog stijgt tot meer dan 26 mm Hg. Het gevolg daarvan is een pathologische toename van de druk op de oogzenuw, waardoor op bepaalde punten het gezichtsvermogen verdwijnt. Deze 'zwarte vlekken' in het gezichtsveld breiden zich uit tot de patiënt ten slotte geheel blind is.

Eén van de problemen die optreden bij de behandeling van glaucoom, is dat het tot nu toe onmogelijk was de druk in het oog continu te meten. Een oogarts meet doorgaans de oogdruk van glaucoompatiënten met intervallen van zes tot twaalf weken, maar deze metingen zijn niet altijd betrouwbaar omdat de intra-oculaire druk binnen één etmaal sterk fluctueert. Objectieve informatie over pathologische verandering van de oogdruk is alleen te verkrijgen door deze gedurende een ruim tijdsverloop continu te meten. De meet-

resultaten vormen dan het uitgangspunt voor een therapie die is toegespitst op de patiënt.

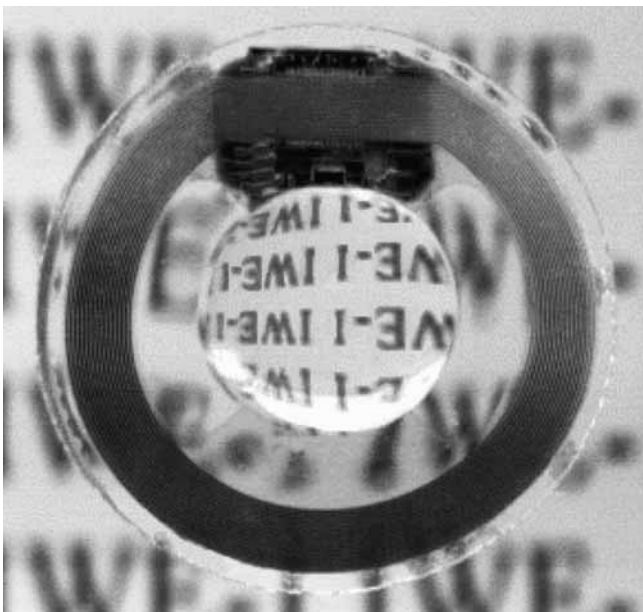
### Telemetrisch systeem

Geholpen door een subsidie van het BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) is er een project gestart voor het ontwikkelen van een intra-oculair drukmeetsysteem (IODS). Daarin werken het Technologiecentrum VDI/VDE en de leverancier van implantatielens Agri.Tec samen met andere projectpartners.

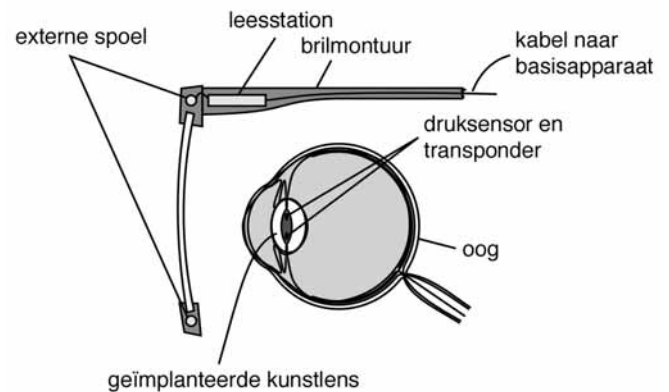
Het drukmeetsysteem omvat diverse modules voor het meten van de oogdruk, het verwerken van de meetresultaten en de opslag ervan. De sensor wordt opgenomen in een 'normale' intra-oculaire lens (IOL) voor het verbeteren van het gezichtsvermogen van een cataractpatiënt. Het IODS combineert een IOL met een geïntegreerde miniatuur-druksensor en -spoel voor het telemetrisch overdragen van meetgegevens en energie, zie afbeelding 1. Transpondertechnologie maakt het 'overseinen' van de meetgegevens vanuit het oog naar een externe ontvanger mogelijk, zie afbeelding 2.

### Intra-oculaire lens

Het gedeelte dat in het oog wordt geïmplanteerd, bestaat uit een flexibele, opvouwbare IOL met een lensdoorsnede van



Afbeelding 1. Een intra-oculaire Acri.Tec kunstlens met geïntegreerde druksensor.



Afbeelding 2. Het complete oogdruk-meetsysteem met een druksensor en transponder in het oog en een externe spoel met leesstation in een brilmontuur.

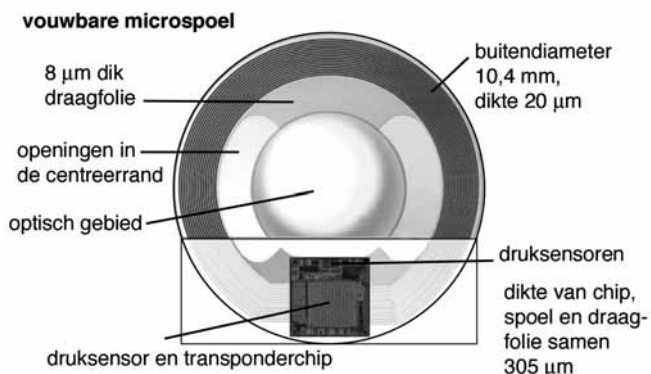
5 mm en een buitendiameter van 10,5 mm. Het materiaal van de siliconenlens is het gezuiverde en oogvriendelijke polydimethyldiphenylsiloxaan dat Acri.Tec al meer dan vijf jaar met succes voor zijn flexibele implantatielensen toepast. In de centreerrand aan de omtrek van de eigenlijke lens is een chip met een druksensor geïntegreerd, evenals een vouwbare miniatuurspoel van goud, zie afbeelding 3.

Het vervaardigen van de implantatielensen vindt plaats in een stofarme ruimte. In laminair stromende en gezuiverde lucht spuit de operator het uit meerdere componenten bestaande prepolymer in een matrix. Vervolgens polymeriseren de componenten in een verwarmde pers bij een nauwkeurig geregelde temperatuur en druk. Na opening wordt de lens met een zuigpincet uit de matrix gehaald. Dan volgen de controle van het polymerisatieproces en de eindcontrole.

### Druksensor en transpondertechniek

De elektronische componenten van het meetsysteem zijn ontwikkeld door de projectpartners MesoTec GmbH, het Fraunhofer-instituut voor micro-elektronische schakelingen (IMS) en de firma Bytec GmbH. Het hart van de elektronica wordt gevormd door een CMOS-ASIC-chip, waarin een micromechanisch vervaardigde capacitieve druksensor is geïntegreerd, zie afbeelding 4.

De ASIC bevat alle componenten die nodig zijn voor het meten van de oogdruk en het telemetrisch overdragen van de meetgegevens. Dat zijn de reeds genoemde druksensor, een analoog-digitaalomzetter, een digitale-gegevensverwerker en schakelingen voor de energievoorziening en de gege-

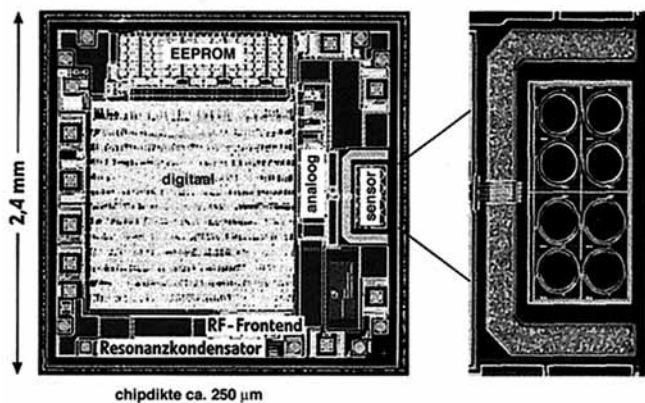


Afbeelding 3. Schematekening van de intra-oculaire lens met sensor, spoel en chip.

vensoverdracht. De ASIC bevat ook nog EEPROM-cellen voor het opslaan van het serienummer en identificatiegegevens van het implantaat. De afmetingen van de ASIC zijn 2,6 bij 2,6 bij 0,25 mm.

Voor het maken van de miniatuurspoel wordt een microgalvanisch procédé toegepast. Dat maakt het mogelijk de spoel geheel vlak te vormen, waardoor de oogchirurg deze kan vouwen en ontvouwen zonder dat er beschadigingen optreden.

De druksensor bestaat uit een achttal identieke condensatoren. Ieder daarvan bestaat uit een membraan van polysilicium, dat een geëvacueerde holte afsluit die is gevormd in een kuipvormig gebied van hooggedoteerd substraatmateriaal. Voor het maken van de holte wordt een speciale etstechniek gebruikt. Na dat etsen zorgt een tweede etsstap voor het verwijderen van zoveel materiaal boven de holte dat er een



Afbeelding 4. De ASIC met geïntegreerde druksensor.

membraan overblijft. Het membraan vormt samen met de holtebodem van hooggedoteerd silicium een condensator.

Drukverandering resulteert in deformatie van het membraan, waardoor de capaciteit van de condensator verandert. Die verandering wordt door een analoog-digitaal-omzetter die zich direct naast de druksensor bevindt, gedetecteerd. Slechts vier van de condensatoren zijn uitgevoerd als druksensor. De andere condensatoren dienen als referentie met het doel een hogere stabiliteit en betere storingsongevoeligheid te bereiken. Bovendien is er in de ASIC een temperatuursensor geïntegreerd voor het compenseren van temperatuureffecten. De digitale-gegevensverwerker zet de gedigitaliseerde meetresultaten voor druk en temperatuur samen met het opgeslagen serienummer om in een CRC-beveiligd meetsignaal.

### Externe leeseenheid

Zoals gezegd, bestaat het meetsysteem uit een extern en een intra-oculair gedeelte (afbeelding 2). Het externe gedeelte omvat naast een bril met een geïntegreerde spoel voor het ontvangen van meetgegevens en overdragen van energie, ook een basiseenheid die elektrisch aan de bril is gekoppeld. Afbeelding 5 laat zien dat de gegevens naar een geheugen met microprocessor gaan, die door de arts kan worden geprogrammeerd wat betreft de meetfrequentie. De arts kan de gegevens ook uitlezen. De meetfrequentie bedraagt maximaal twintig metingen per seconde.

De externe leeseenheid is uitgevoerd als batterijgevoed apparaatje, dat door de patiënt kan worden gedragen. Met dat leesapparaat wordt in twee verschillende modi gemeten. Bij de ene modus werkt het samen met de spoel in de bril, die permanent voor het oog van de patiënt is geplaatst. De bril is via een kabel met het apparaatje verbonden. In deze modus wordt een door de arts voorgeschreven meetprogramma afgewerkt zonder dat de patiënt daar iets van merkt of daar invloed op kan uitoefenen. Deze modus is bedoeld voor het opnemen van zeer dichte meetprofielen. Daarmee kan de oogarts een indruk krijgen van het verloop van de intra-oculaire druk en dienoverkomstig zijn therapie aanpassen. Een speciaal nachtmasker maakt het mogelijk ook meetgegevens te verkrijgen tijdens het slapen van de patiënt.

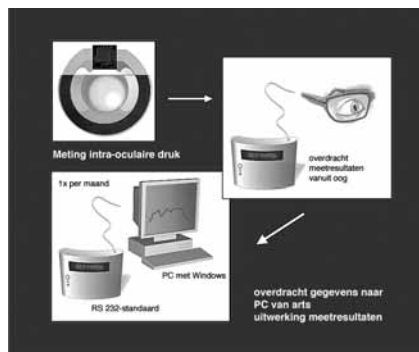
Bij de andere meetmodus is een opzetantenne vast met het leesapparaat verbonden. Via een daardoor opgevangen signaal krijgt de patiënt opdracht de bril voor zijn ogen te plaatsen. De metingen vinden minder vaak plaats en zijn vooral

bedoeld om de therapie te bewaken. Het leesapparaat legt alle gemeten waarden vast in het niet-vluchtige geheugen. Na verloop van ongeveer één maand brengt de arts de meetgegevens van het leesapparaat over naar zijn computer, zodat hij het oogdrukverloop van zijn patiënt kan analyseren. Dat geeft – samen met andere onderzoeksresultaten – aanknopingspunten voor een verbetering van de glaucoomdiagnose en -therapie.

**Toelating en marktintroductie**

Bij wijze van voorstudie zijn er op de Universiteit van Keulen een aantal geïntegreerde druksensoren in de ogen van konijnen geïmplanteerd. De resultaten tonen aan dat het mogelijk is de intra-oculaire druk reproduceerbaar te meten. Gebleken is ook dat het gezichtsvermogen niet nadelig wordt beïnvloed door het implanteren van een gevouwen kunstlens met drukopnemer.

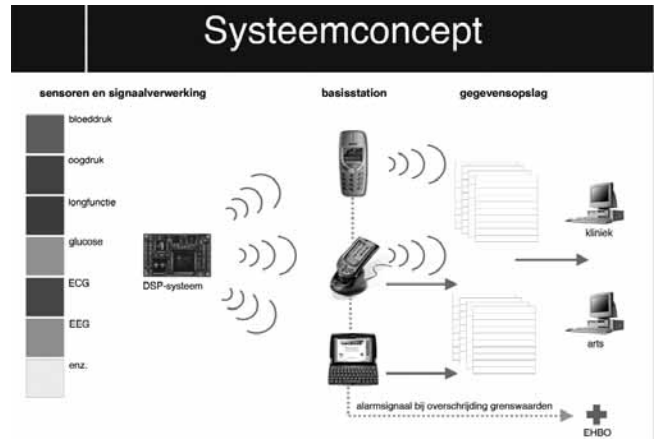
Tevens kon de afwezigheid van afstotingsverschijnselen met succes worden geverifieerd. Dat alles biedt hoopgevende perspectieven voor een volgende, uitgebreidere studie met proefdieren. De toelating volgens MPG-richtlijnen en een voorstudie met patiënten zijn de volgende stappen. Het is de bedoeling dat Agri.Tec de intra-oculaire lenzen gaat vervaardigen. De planning geeft aan dat eind volgend jaar het complete systeem nationaal en internationaal marktrijp is.



Afbeelding 5. Het overbrengen van de meetresultaten.

**Toekomstperspectieven**

Het opslaan van fysiologische patiëntgegevens in een leesapparaat is een belangrijke stap in de richting van een veelomvattend telemetrisch patiëntbewakingssysteem. Daaraan zal ook een volgend project bijdragen dat door de BMBF wordt gesubsidieerd. Dat is het project PeHeaMon: Personal Health Monitoring, zie afbeelding 6. Hierin worden allerlei patiëntgegevens als bloeddruk, bloedsuikerspiegel, ademge-ruis en oogdruk ambulant vastgelegd en door middel van



Afbeelding 6. Schema van een toekomstig veelomvattend telemetrisch patiëntbewakingssysteem gebaseerd op Blue-Tooth-technologie.

Blue-Tooth-technologie overgebracht naar een computernetwerk. Daarmee krijgt de behandelende arts de mogelijkheid on line patiëntgegevens te verkrijgen. In dat netwerk zijn alarmfuncties ingebouwd die het overschrijden van grenswaarden van vitale parameters signaleren.

**Over de auteurs**

Dipl.-Ing. Christine Weiß is senior-consultant en projectleider in het vakgebied microstroomtechniek van het VDI/VDE-Technologiecentrum Informatietechniek in Teltow bij Berlijn.  
E-mail: weiss@vdivde-it.de

Dr. rer. nat. Detlef Streufert is als projectbeheerder werkzaam bij Acri.Tec GmbH in Glienicke bij Berlijn.  
E-mail: d.streufert@acritec.de

**Bron**

C. Weiss en D. Streufert, Sensor im Auge, Telemetrie mit Druckaufnehmer in der Augenheilkunde, F&M Mechatronik 110, blz. 14-17, oktober 2002.

## De NVPT is verhuisd!

Vorig jaar is de NVPT op de valreep verhuisd. Na een aantal jaren hebben we Den Bosch verlaten en zijn overgestapt naar de FME -CWM. Daarmee hebben afscheid genomen van het bureau Sprint dat ons met name in de persoon van Ingrid Geerbex, altijd goed heeft ondersteund bij de secretariaatsvoering van de NVPT.

Toch hebben we gemeend de secretariaatsvoering te moeten overdragen aan de FME-CWM.

De FME- CWM is een werkgeversorganisatie voor drieduizend ondernemingen. Daarnaast is de FME-CWM dienstverlenend voor 160 aangesloten branche organisaties in de metaal-elektro sector. Dit laatste is tevens een van de belangrijkste redenen voor de overstap. De NVPT heeft zijn netwerk met 160 organisaties uitgebreid. We hopen en verwachten dat dit nieuwe netwerk interessante nieuwe activiteiten en initiatieven zal opleveren.

Door de grootte is de FME-CWM een zeer professionele organisatie met de juiste infrastructuur voor verenigingen als de onze. Zo zit vanaf heden de ledenadministratie, finan-

ciële administratie en de abonnementsadministratie in één database.

Voor meer informatie over de FME -CWM kunt u terecht op hun website: [www.fme.nl](http://www.fme.nl).

Ook bij de FME-CWM ligt de secretariaatsvoering bij één vaste persoon. Als u vanaf heden naar de NVPT belt zal Janette van de Scheur, branchemanager, u te woord staan.

### Het nieuwe adres van de NVPT:

NVPT  
Postbus 190  
2700 AD Zoetermeer

*Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,  
2713 HX Zoetermeer  
Tel.: 079- 353 11 51  
Fax.: 079- 353 13 65  
E-mail: [office@nvpt.nl](mailto:office@nvpt.nl)*

## Vereniging EKH naar de Metaalunie

**De Vereniging van Erkende Keurbedrijven Hijs- & hefmiddelen, kortweg EKH genoemd, heeft per 1 januari jl. haar secretariaat bij de Metaalunie ondergebracht. De leden van deze branchevereniging voor 66 gespecialiseerde keurbedrijven hebben dit tijdens de najaars-ledenvergadering besloten.**

De Vereniging EKH maakt zich sterk voor het op eenduidige wijze in praktijk brengen van de wettelijke normen en richtlijnen aangaande de keuring van hef- en hijsmiddelen. Dankzij de synergie met de Metaalunie, kan de Vereniging EKH dit slagvaardiger aanpakken.

De Metaalunie telt een vijftigtal branchegroepen/-verenigingen en -secretariaten. Zij houden zich bezig met branchespecifieke belangenbehartiging, met name op het economische en technische vlak. Deze sluit goed aan bij de brede collectieve en individuele belangenbehartiging van de Metaalunie, die met meer dan 11.000 leden de grootste ondernemersorganisatie is in de mkb-metaalsector. De Metaalunie richt zich op bedrijven in alle voorkomende branches in de mkb-metaalsector, alsmede handel en service. Deze bedrijven bieden werkgelegenheid aan zo'n 135.000 mensen en hebben een gezamenlijke omzet van ruim 13 miljard euro. In 2003 bestaat de Metaalunie 100 jaar.



EKH-voorzitter de heer ing. F.L. Noordegraaf (rechts) en Metaaluniedirecteur de heer mr. H.J. Keijer (links) ondertekenen het samenwerkingscontract EKH-Metaalunie.

## Overname Doedijns InQPro door DeR-Tec Aandrijftechniek BV

Eind 2002 heeft DeR-Tec Aandrijftechniek alle activiteiten van Doedijns InQPro overgenomen. DeR-Tec Aandrijftechniek maakt deel uit van dezelfde groep als waartoe ook Nobels Machinefabriek uit Katwijk en handelsonderneming JAVO uit Noordwijkerhout behoren. Deze laatste twee bedrijven produceren en verkopen al meer dan veertig jaar machines voor onder andere de tuinbouw, intern transport en verpakkingindustrie. Door de overname is het voor DeR-Tec Aandrijftechniek mogelijk haar productenprogramma verder uit te breiden maar bovenal gebruik te maken van de bij Nobels aanwezige faciliteiten zoals verschillende productiemachines, constructieafdeling, magazijn, logistieke knowhow en tekenkamer.

Der-Tec Aandrijftechniek is een echte aandrijftechnische handelsonderneming met een aantal toonaangevende (vaak exclusieve) vertegenwoordigingen. De meest in het oog springende zijn:

- AMK Tornado; compact vormgegeven motorreductoren met een koppelbereik tot 800 Nm;
- System Plast Conveyor components, delen voor flessenvul- en verpakkingmachines, scharnierbandkettingen, en machinestelvoeten;
- System Line modulaire pakketten voor veiligheidsomkastingen in de machinebouw;
- TVT group; planetaire tandwielkasten, motorreductoren, motorvarioren en wormwielkasten;
- Eurobelt; modulaire mattenbanden uit technisch hoogwaardige kunststoffen voor transport van voedingsmiddelen of industriële producten;
- All vacuüm: vacuüm ejectoren;
- Orobica; delen voor flessenvulma-

chines zoals vacuümgrijpers en vacuüm cups.

medewerkers kent, weet dat we hier praten over een industrie met voldoende



Frans Noest (l) en Harm Pröpper (r), initiatiefnemers van DeR-Tec hebben bijzonder veel vertrouwen in de toekomst. Hier staan zij in hun nieuwe kantooromgeving die zich bevindt in Nobels Machinefabriek te Katwijk.

### F-part

Bijzonder is verder dat DeR-Tec aandrijftechniek onder haar eigen label F-part vele topproducten levert waaronder draaistroommotoren, wormwielvertragingen, variatoren, haakse tandwielkasten, geleideprofielen, rollenkettingen, ketting-, plaat- en tandwielen, asnaaf verbindingen en ventilatoren. Binnenkort zal het mogelijk zijn om via de eigen internetsite [www.dertec.nl](http://www.dertec.nl) de verschillende producten direct te bestellen (deze site wordt verwacht in de loop van 2003).

Frans Noest (initiatiefnemer): "Een bijzonder sterk punt van Der-Tec, en daar zijn wij best trots op, is de mogelijkheid die wij hebben om verschillende producten uit Azië te betrekken. Wie de lokale industrie met haar

de kennis en potentie maar vooral met zeer hardwerkende mensen die niets liever doen dan technisch en esthetisch zeer verantwoorde producten te maken! Omdat wij voldoen aan de belangrijkste eis, het hebben van een lokaal contactpersoon met een krachtige instelling, hebben wij al meerdere malen mogen meemaken dat prototypes binnen zes tot acht weken hier werkend en fraai afgewerkt op ons bureau lagen. Maar dan wel voor een prijs waaraan verder niemand in Europa aan kan tippen! Voor de toekomst zullen we zeker vaak gebruik maken van de mogelijkheden die ons hier worden geboden."

### Kansrijke toekomst

DeR-Tec is momenteel gevestigd in het hoofdkantoor van Nobels Machi-



nefabriek in Katwijk waar het de mogelijkheid heeft gebruik te maken van uiteenlopende faciliteiten variërend van het magazijn, productiemachines, ruimte, logistieke voorzieningen enzovoorts.

Harm Pröpper (initiatiefnemer): "Eén en ander heeft er inmiddels toe geleid dat we een prachtige voorraad aandrijftechnische componenten hebben opgebouwd.

Onlangs nog zijn er zeven elektromotoren met een vermogen van

132 kW aan een Franse afnemer geleverd. Daarnaast leveren we veel aandrijftechnische componenten hier binnen de fabriek waarmee we gelijktijdig de beste testfaciliteiten tot onze beschikking hebben want reken maar dat de componenten in deze fabriek tot het uiterste worden belast!"

In de toekomst zal de markt nog vaak van DeR-Tec horen, onder andere over nieuwe en zeer interessante vertegenwoordigingen waaraan momenteel wordt gewerkt en uiteraard over ont-

wikkelingen en vernieuwingen in het producten- en dienstenpakket.

Voor meer informatie:  
DeR-Tec Aandrijftechniek BV  
Nijverheidsstraat 2  
2222 AV Katwijk  
Frans.noest@dertec.nl  
Tel.: +31 (0)71- 409 24 09  
Fax: +31 (0)71- 409 24 00

## Nieuwe modulaire thermische pers voor plastics versnelt en vereenvoudigt aanpassing ter plaatse

Een nieuwe, gemakkelijke uit te breiden en aan te passen lasmachine voor het lassen en tussenvoegen van plastics met behulp van warmte is door Dukane Corporation op de markt gebracht. Door het modulaire ontwerp van de nieuwe serie 48H thermische pers is de stilstandtijd minimaal aangezien nieuwe besturingsmodules voor de verwarmers snel ter plaatse geïnstalleerd kunnen worden zonder openingen uit te stansen of handmatig bedrading aan te brengen. De modules worden eenvoudig aan de hoofdbesturingskast gebouwd en door twee voorbereide buizen verbonden: laagspanning voor besturing en hoogspanning voor de verwarmers. De besturing van de proceslogica herkent toegevoegde verwarmingsmodules voert automatisch aanpassingen uit, waardoor de installatietijd verder wordt verkort.

De nieuwe pers vult Dukane's bestaande assortiment ultrasone en andere lasmachines aan en voegt thermische capaciteiten van hoge kwaliteit toe,

zoals meerdere niveaus en inzetstukken van diverse afmetingen met een hoge tolerantie voor variaties in harskwaliteit en additieven. Hij produceert betrouwbare permanente inzetstukken zonder deeltjes of lawaai.

De pers bevat diverse functies om de beperkingen van bestaande thermische persen te ondervangen. Dit zijn, naast de eenvoudige aanpassing, een radicaal instelbaar ultrastijf H-frame en plug-in modulaire controllers met Master/Slave capaciteit die zes zones kunnen besturen. Elke master-controller kan tot drie verwarmers plus nog drie slave-modules aansturen, die elk tot drie extra verwarmers kunnen aansturen. Het apparaat heeft ook een instellingsmodus waarin de bovenste plaat stapsgewijs kan worden ingesteld om de gereedschapsuitrusting gemakkelijk te kunnen uitlijnen.

Alle besturingselementen, waaronder een robuust LCD-aanraakscherm, zijn gemakkelijk bereikbaar op het voorpa-



Modulaire thermische pers- Dukane 48H- maakt snelle configuratieveranderingen ter plaatse mogelijk en beperkt stilstandtijd bij het overschakelen op nieuwe vereisten voor het tussenvoegen of lassen van plastics.

neel. Een digitale besturingsmodule voor de verwarming en digitale timers voor lastijd, voorverwarming van het inzetstuk en nakoeling zijn standaard. De persen zijn zo voorgeprogrammeerd dat optionele schuifsets, nakoeling, spanklemmen en optische schakelaars kunnen worden aangebracht. Modellen zijn verkrijgbaar met een druk van  $\frac{3}{4}$  ton, 1 ton en  $1\frac{1}{2}$  ton en met een vermogen van 2100 Watt en 4200 Watt. Toepassingen van de nieuwe serie 48H omvatten warmlassen, tussenvoegen, dieptrekken, gauferen, datumcoderen en ontbramen. De apparatuur is bedoeld voor plasticassemblage in vele afzetgebieden zoals automobielen, medische apparatuur, speel-

goed, sportartikelen en consumenten-, kantoor- en industriële producten.

Dukane heeft octrooi aangevraagd op de nieuwe Multi-Adjustable Thermal Probe (MATP)> met deze als optie verkrijgbare sonde is configuratie of aanpassing van de uitlijning met minimale stilstandtijd mogelijk. De hoogte, zijwaartse of radicale stand kunnen met gewoon handgereedschap bij bedrijfstemperatuur worden bijgesteld. De schacht van de sonde kan conventionele verwarmingsspiralen bevatten. Zowel mof als schacht zijn gemaakt van beryllium-koper om de thermische massa te verminderen en de verwarmingstijd te beperken.

Dukane Corporation is een wereldwijd leverancier van ultrasone, trillings- en wrijvingslasmachines, thermische persen en lasmachines met verwarmingsplaat voor OEM en commerciële afzetgebieden voor plasticassemblage.

Voor meer informatie:  
Dukane Corporation  
Russ Witthoff  
International Sales & Marketing  
Manager  
E-mail: [rwitthoff@dukane.com](mailto:rwitthoff@dukane.com)  
Tel.: +630- 584 23 00, toestel 880  
Fax.: +630- 584 31 62  
Website: [www.dukane.com](http://www.dukane.com)

## Klein en licht! De nieuwe aandrijving DC-Micromotor, type 0615 S Planetaire vertraging, type 06/1

Als marktleider in ijzerloze DC-Micromotor technologie, stelt Faulhaber de nieuwe lijn voor van subminiatur DC-Micromotoren en Planetaire Vertragingen die het gamma van hoog kwalitatieve en precisie Miniatur Aandrijvingen verder uitbreidt. De ijzerloze DC-Micromotor, type 0615 S heeft een diameter van slechts 6 mm, is 15 mm lang, en weegt maar 2 gram.

De DC-Micromotoren zijn beschikbaar in nominale spanningen van 1,5, 3 en 4,5 VDC, bij nullast-snelheden van 19900 rpm, een houdkoppel van 0,23 mNm en een uitgaand vermogen van 0,12 Watt.

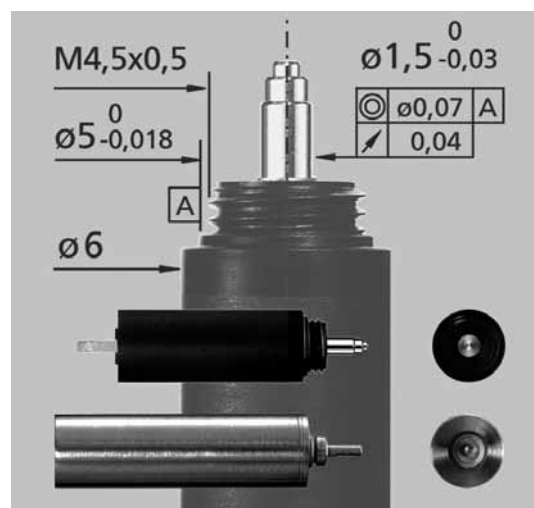
Ontworpen met Neodymium magneten (NdFeB) en ijzerloze rotor met de zelfdragende gepatenteerde wikkeling (System Faulhaber®), hebben de motoren een typische massa draagheid van 0,03 gcm<sup>2</sup> en een mechanische

tijdsconstante van minder dan 27 ms. Het temperatuurbereik in bedrijf gaat van -30°C tot + 85°C.

De passende in-lijn Planetaire Vertragingen, type 06/1 met dezelfde diameter van slechts 6 mm, bestaat uit precisie tandwielen en metalen behuizing voor bedrijfstemperaturen tot +100°C, en is beschikbaar in overbrengingsverhoudingen van 4:1 tot 4096:1. Het maximum uitgangskoppel bedraagt 25 mNm voor continu en 35 mNm voor intermitterend bedrijf.

Dit kleine, krachtige en betrouwbare stukje techniek creëert nieuwe mogelijkheden voor integratie in toepassingen waar de beschikbare ruimte heel beperkt is. Dat is bijvoorbeeld het geval in vele medische en optische apparatuur, veiligheids- en inspectiesystemen, micro positioneersystemen, telecommunicatie en vele andere miniatur applicaties.

Voor meer informatie:  
MINIMOTOR Benelux  
Postbus 49  
1540 AA Koog a/d Zaan  
[info@minimotor.nl](mailto:info@minimotor.nl)  
Tel.: +31 (0) 756 14 86 35  
Fax.: +31 (0) 756 14 86 36  
Website: [www.minimotor.nl](http://www.minimotor.nl)



## MCA verwerft vertegenwoordiging Motoman-robots

Motion Control Automation te Varsseveld heeft voor Nederland de vertegenwoordiging verworven van de bekende robotfabrikant Motoman. Motoman is de Europese merknaam van de robots die door de Japanse Yaskawa Electric Corporation worden ontwikkeld. Behalve in Japan zijn er productievestigingen in diverse Europese landen.

De Motoman-familie omvat 25 robotbasistypen met vier of zes vrij programmeerbare assen. Het draagvermogen varieert van drie tot vijfhonderd kg en het maximale werkbereik van 677 tot 3291 mm. De robots kunnen staand dan wel verticaal of horizontaal gemonteerd worden ingezet. De repeteerbaarheid varieert afhankelijk van onder andere het draagvermogen van  $\pm 0,02$  tot  $\pm 0,5$  mm. Alle robots beschikken over een geïntegreerde software-matige bescherming tegen botsingen. De hoge beschermingsklasse maakt inzet onder zware omstandigheden mogelijk.

De robots kennen een zeer brede toepassing. Ze worden onder andere ingezet voor booglassen, puntlassen, handling, montage, slijpen en polijsten, lijmen en afdichten, snijden en ontbramen, meten en testen, het be- en ontladen van machines en palletiseren. Het

programma wordt nog voortdurend uitgebreid. Recentelijk is een robotserie uitgebracht speciaal voor lakken. Deze PX-serie, in zes typen, is geschikt voor lakken en poedercoaten van kleine onderdelen tot autocarrosserieën. Eveneens nieuw is de kleine, zesassige robot SV 3X-4.5 die vanwege het geringe eigen gewicht van dertig kg gemakkelijk aan wand of plafond kan worden gemonteerd.

De Motoman-robots vormen veelal onderdeel van een compleet geïntegreerd, geautomatiseerd systeem. Onlangs heeft automobielfabrikant Saab bijvoorbeeld een dergelijk systeem in gebruik genomen voor het lassen van de tamelijk complexe uitlaten van de Saab Epsilon. De installatie omvat onder andere een bijzonder handling-systeem voor het uitnemen van de producten.

MCA zal zich met de nieuwe vertegenwoordiging vooral profileren als systeemintegrator. Bedrijven uit diverse sectoren kunnen bij MCA aankloppen voor de oplossing van automatiseringsproblemen. Motoman-robots kunnen deel uitmaken van die oplossing, bijvoorbeeld verpakkings-robotcellen, lasinstallaties of flexibele palletiseerinrichtingen. Specifieke onderdelen zoals productgrijpers kunnen

daarbij afzonderlijk worden ontwikkeld. Naast advisering, omvat de dienstverlening ook ontwikkeling van complete installaties en op maat gemaakte software, alsmede de installatie en after-sales. Voor softwareoplossingen kan gedeeltelijk worden teruggegrepen op Motoman-standaard software, zoals het lasprogramma RoboWELD.

Voor meer informatie:  
Motion Control Automation,  
Varsseveld  
Tel.: 0315- 25 72 60  
Fax: 0315- 257 2 69  
Website: [www.mcabv.nl](http://www.mcabv.nl)



## Leidse Instrumentmakerschool (LIS) is vertegenwoordigd op de VTT

De LIS gaat deelnemen aan de Vakbeurs Technische Toelevering (VTT) in de Groenordhallen te Leiden welke plaatsvindt op 15, 16 en 17 april 2003.

Iets meer dan honderd jaar geleden is de LiS opgericht om te voldoen aan de vraag naar instrumentmakers die, als lid van een researchteam, voor de uitvoering van praktisch-technische werkzaamheden zorg moesten dragen.

Het motto van de LiS is altijd geweest: als je het niet zelf kunt maken, kan je ook geen concrete oplossingen aandragen! Inmiddels gaat een groot gedeelte van de leerlingen naar het bedrijfsleven, met name naar bedrij-

ven die zelf aan productontwikkeling doen. Deze Vakschool voor precisietechnologie is de enige opleiding in Nederland waar je wordt opgeleid tot Research Instrumentmaker. De LiS is in kringen van natuurkundig wetenschappelijk onderzoek al meer dan honderd jaar een begrip. Veel wetenschappelijk onderzoek zoals bij TNO, het NLR en universiteits- en ziekenhuislaboratoria zou onmogelijk zijn zonder de door instrumentmakers gemaakte apparaten of meetopstellingen. Ook de industrie (Akzo-Nobel, Philips Research, Koninklijke/Shell Laboratorium en veel kleinere (MKB) ondernemingen), die voortdurend op zoek is naar nieuwe producten en productiemethoden, doet een beroep op de kennis en vaardigheden van instrumentmakers.

De LiS ondersteunt het initiatief om een nieuwe vakbeurs voor de technische toelevering op te zetten in het westen van het land van harte en wil dan ook graag de activiteiten van haar opleiding onder de aandacht brengen

op deze vakbeurs. Dit gaat gebeuren door middel van vertegenwoordiging van de school op de beursvloer. Zo kunnen de bezoekers optimaal worden geïnformeerd over de nieuwste ontwikkelingen en praktische toepassingen van de instrumentmakersopleiding. Deze informatieverschaffing kan allemaal gebeuren onder het genot van een hapje en een drankje (mogelijk gemaakt door de all-in service welke bij de VTT 2003 wordt gehanteerd).

Door deze all-in service wordt een deelname aan de Vakbeurs Technische Toelevering namelijk erg makkelijk gemaakt voor de exposanten. De organisatie regelt voor haar exposanten onder andere de standopbouw, de catering en het versturen van de uitnodigingen voor de bezoekers uit naam van de exposant. Dit wordt allemaal voor de exposant geregeld voor één vast bedrag.

Het voordeel van deze all-in service voor de bezoekers van de VTT is dat zij geen geld kwijt zijn aan een dure

parkeerkaart, entreegeld of dure consumpties op de beursvloer. Dit is voor de bezoekers van de VTT namelijk allemaal gratis. De LiS ziet ook de voordelen in van deze service en heeft dan ook besloten om hier als opleiding gebruik van gaan te maken.

Een deelname van de LIS aan de VTT 2003 is een mooie aanvulling op het aanbod van exposanten op de VTT 2003 en maakt een bezoek aan de VTT zeker de moeite waard voor de beslissingsbevoegde bezoeker die zich wil laten informeren over de toepasbaarheid van de instrumentmakersopleiding binnen het bedrijf.

Voor meer informatie over de Vakbeurs Technische Toelevering 2003: [www.vttleiden.nl](http://www.vttleiden.nl). Indien u nu al meer informatie wenst over de LIS: [www.lis-mbo.nl](http://www.lis-mbo.nl).

## *Industriële Elektronica* Workshop Sensortechnologie dit jaar in Wageningen

### FHI en STW confronteren wetenschap en bedrijfsleven opnieuw met elkaar

Het succes van 'The sense of contact IV', de vierde sensorconferentie die FHI en STW gezamenlijk organiseerden in maart 2002, was zo groot, dat besloten is dit evenement jaarlijks te doen plaatsvinden. Dit jaar brengen beide organisaties op 12 en 13 maart in Wageningen Conference Centrum de sensorindustrie en de wetenschap bij elkaar.

In de conferentie, die bestaat uit een aantal workshopsettings, presenteren de wetenschappers de resultaten van de sensortechnologie-onderzoeken die

zij hebben verricht op basis van de zogenoemde 'twee geldstroom' financiering. Anderzijds wordt het bedrijfsleven uitgedaagd nieuwe ideeën in te brengen voor vervolgonderzoek of voor geheel nieuw onderzoek waarvoor projectvoorstellen kunnen worden ingediend bij de technologiestichting STW ter honorering met budget. Voorwaarde voor financiering van wetenschappelijk onderzoek via STW is dat het bedrijfsleven actief betrokken moet zijn bij de voortgang van het onderzoek door promovendi. STW heeft ook van overheidswege de op-

dracht erop toe te zien dat de resultaten daadwerkelijk worden 'geutiliseerd', toegepast. Ook dat is een reden om de conferentie te organiseren: bedrijven kunnen de resultaten die worden gepresenteerd meteen meenemen om er 'business' mee te gaan doen.

#### **marktvraag centraal**

In elke editie van de conferentie staan de sensorvragen uit een aantal geselecteerde applicatiemarkten centraal. Deze keer zijn de volgende sensor eindmarkten gekozen:

- chemische analyse
- semiconductor industrie
- agro industrie
- medische toepassingen; biosensor-chips

Specialisten die in deze markten werkzaam zijn zijn al uitgenodigd om te komen vertellen welke sensoronderzoek-behoefte zij zien voor de komende jaren. Aan de hand daarvan kunnen dan ter plekke projectvoorstellen worden gedefinieerd en projectteams worden gevormd. In de 2001-editie kwamen op deze wijze acht projectvoorstellen tot stand.

De uitwerking en daadwerkelijke indiening vindt uiteraard plaats na de conferentie.

### de sensorprojecten van vorig jaar

De 'wireless sensor bus' en de 'sensor voor meting van flexibiliteit van rode bloedcellen' zijn twee voorbeelden van de acht projecten die bij de vorige editie van de Sensorconferentie zijn gegenereerd. Deze projecten lopen nu een jaar. Hoe het gaat met deze projecten wordt straks tijdens The Sense of Contact V verteld door de verantwoordelijke projectleiders, ter lering en stimulering.

### evenwicht tussen industrie en wetenschap

De evenwichtige deelname van mensen uit de industrie en de wetenschap,

die er in de voorgaande editie van de Sense of Contact was te zien, is vrij uniek te noemen in de Nederlandse context. De steeds groeiende samenwerking tussen FHI, de federatie van technologiebranches en de technologiestichting STW is de sleutel op het slot van de deur die de twee werelden scheidt. De wetenschappers worden door STW uitgenodigd. FHI als organisatie van 850 bedrijven en de FHI Sensor Technologie Club in het bijzonder, zorgen ervoor dat de industrie zich in hoge mate betrokken voelt. Professor dr. ir. Han Huijsing vat het als volgt samen: "Als je ook maar enig belang hebt bij sensor ontwikkeling dan ben je aanwezig bij 'the Sense of Contact V'."

### table top presentaties

Bedrijven die zich specifiek willen profileren tijdens The Sense of Con-

tact V kunnen dat doen via een table top presentatie. Er is ook nog beperkt de mogelijkheid om een rol te spelen in het lezingenprogramma. Aanmelden voor een bezoek en deelname in de workshops is uiteraard nog ruimschoots mogelijk. Voor al deze mogelijkheden kan contact worden opgenomen met Leo Oosterveen of Sandra van Dusschoten van het FHI bureau.

Voor meer informatie:  
 FHI, Federation of Technology Branches  
 Postbus 2099  
 3800 CB Amersfoort  
 Sandra van Dusschoten  
 Management-assistente  
 E-mail: [s.van.dusschoten@fhi.nl](mailto:s.van.dusschoten@fhi.nl)  
 Tel.: 033- 465 75 07  
 Fax.: 033- 461 66 38  
 Website: [www.fhi.nl/senseofcontact](http://www.fhi.nl/senseofcontact)



## 'Precisie in beweging' krijgt bedrijfsleven enthousiast

Bewegen, jongleren en samenwerken. Dat deden de twee acteurs tijdens het slotstuk van 'Precisie in beweging' van het IOP Precisietechnologie. En dat was nu precies waar het om draaide tijdens dit symposium op 2 oktober. Wetenschap en bedrijfsleven zijn in beweging en ontwikkelen nieuwe projecten. Deze twee werelden maakten kennis met elkaar en elkaar expertises op het gebied van precisietechnologie. In De Vereniging in Nijmegen werd de basis gelegd voor verdere samenwerking.

Precisietechnologie is nodig om producten te maken met een hoge vorm- of maatnauwkeurigheid. Maar ook om producten of onderdelen snel en zeer precies te positioneren. Op het symposium presenteerden wetenschappers in workshops acht nieuwe projecten die binnenkort van start gaan binnen het IOP Precisietechnologie. Daar waren zo'n 120 belangstellenden op af gekomen. Voor het bedrijfsleven bood het symposium de kans om met de projecten kennis te maken en ze ook hierna te blijven volgen. Belangstellenden konden zich namelijk inschrijven voor begeleidingscommissies. Gedurende de uitvoering van het project blijven ondernemers op de hoogte van de nieuwste ontwikkelingen.

Vertegenwoordigers van bedrijven doen dus zowel kennis als kennissen op en zitten op de eerste rij als er doorbraken zijn. Het animo voor de begeleidingscommissies tijdens het symposium was groot, aldus voorzitter Lou Hulst en programmacoördinator Casper Langerak van het IOP Precisietechnologie. Een belangrijk resultaat van de dag zijn de liefst 45 mensen die zich direct hebben aangemeld voor begeleidingscommissies. Vooral nog betekent dit dat ieder project een begeleidingscommissie heeft van zo'n vijf á zes man.

### Zelfreinigende oppervlakken

Voor het project 'Lotus textuur' meldden zich na de workshop zes mensen voor een begeleidingscommissie aan. In dit project worden zelfreinigende oppervlakken ontwikkeld. Allereerst bij metaal, later bij kunststoffen. Waardoor kan een oppervlak zelf-

reinigend zijn? Projectleider prof. Meijer van de universiteit van Twente vertelt dat dit afhangt van de textuur, de manier waarop het oppervlak is gestructureerd. Bij organische oppervlakken, zoals bij de Lotusbloem, is er een relatie tussen de oppervlak en de hechting van deeltjes en het afstoten van water. Dat wordt het Lotus-effect genoemd. Oppervlakken worden niet aangetast door algen en bacteriën. De structuur van het oppervlak bepaalt het reinigend effect en dit gegeven is interessant voor apparaten die in contact komen met de huid, zoals een scheerapparaat, aldus Meijer. Maar je kunt ook denken aan medische gereedschappen, waarbij steriliteit heel belangrijk is. De toehoorders kwamen met interessante vragen: Wordt er in het onderzoek ook rekening gehouden met de slijtage-eigenschappen en duurzaamheid van de oppervlakken? Richt het onderzoek zich ook op bijvoorbeeld porselein?

### Geen alledaagse stof

Het symposium bevatte in totaal acht workshops. Eén daarvan ging over 'precisie-verspanen van kunststoffen.' In het project wordt een precisie-draaitechniek ontwikkeld die het polijstingsproces moet vervangen. Normaal wordt bijvoorbeeld een lens uitgesneden die daarna nog moet worden gepolijst. Je kunt het vergelijken met het snijden van een plak kaas met de kaasschaaf. Die plak kaas heeft verschillende diktes, omdat je niet regelmatig schaaft. Via de nieuwe draaitechniek moeten lenzen dusdanig worden uitgesneden dat er geen nabewerking nodig is. Het voordeel hiervan is dat het een nauwkeurige manier van werken is en ook nog eens minder milieubelastend. Voor interviewer Willem Lust, bekend als presentator van het actualiteitenprogramma Nova, waren de thema's op het symposium 'Precisie in beweging' geen alledaagse stof. Mede hierdoor wist hij de essentie uit de projecten te halen en (toekomstige) toepassingen aan het licht te brengen. Aan het einde van de dag was hij wel een stuk wijzer geworden. 'Ik weet nu het verschil tussen een micrometer en een nanometer', aldus Lust.

### Precisietechnologie

Met precisietechnologie kun je de vorm en de maat van producten heel nauwkeurig bepalen. Bovendien stelt deze technologie je in staat onderdelen snel en zeer precies te positioneren. De drijvende kracht achter precisietechnologie is meestal miniaturisatie. Dit betekent dat er steeds meer functies met een steeds grotere nauwkeurigheid op een steeds kleiner oppervlak komen. Precisietechnologie is van toenemend belang voor producten als laptops, kopieermachines, DVD-spelers, optische instrumenten en medische apparaten.

### Het Innovatiegericht

#### Onderzoeksprogramma (IOP)

De overheid wil de onderzoekswereld toegankelijker maken voor het bedrijfsleven en de contacten tussen het bedrijfsleven en de onderzoekswereld verbeteren en intensiveren. Een IOP geeft subsidie aan innovatiegerichte technologische onderzoeksprojecten bij universiteiten en (non-profit) onderzoeksinstituten, die aansluiten bij de (lange termijn) behoeften van het bedrijfsleven. IOP's betrekken het bedrijfsleven bij onderzoeksprojecten, kennisoverdracht en netwerkactiviteiten. Het Ministerie van Economische Zaken heeft de organisatie van het IOP uitbesteed aan Senter.

### Meer informatie

Voor meer informatie over het symposium en/of het IOP Precisietechnologie kunnen belangstellenden contact opnemen met Casper Langerak, programmacoördinator IOP Precisietechnologie, telefoon (070) 361 03 12, e-mail [cjg@senter.nl](mailto:cjg@senter.nl), of kijken op: [www.senter.nl/iop](http://www.senter.nl/iop).

Voor meer informatie:  
Arjen Elsemulder, Communicatieadviseur  
Tel.: 070- 361 05 90.

# Microstraal bewerken als precisie vormgevingstechnologie

*Bestaande technieken voor de vervaardiging van microsysteemtechnische componenten blijken in onvoldoende mate toepasbaar om het toenemende spectrum aan gewenste geometrieën en materialen te kunnen vormgeven. De behoefte aan geschiktere technieken neemt daardoor toe. Een grote potentie lijkt aanwezig voor een incrementeel vormgevingsproces in combinatie met een niet-productgebonden gereedschapsconcept. Aan de Technische Universiteit Delft is een verkennend onderzoek afgerond naar één van de mogelijkheden hiervoor: het microstraalomvormen.*

• *ir. E. Schippers, dr.ir. A.M. Hoogstrate, dr.ir. R. Delhez (Technische Universiteit Delft)* •

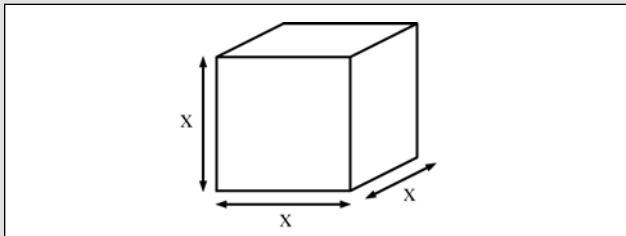
**M**echatronische en microsysteemtechnische producten spelen een steeds grotere rol in het dagelijks leven, waarbij de consumentenelektronica en medische technologie belangrijke toepassingsgebieden vormen. Hieruit volgt onvermijdelijk een marktvrage naar efficiëntere en betrouwbare productieprocessen voor deze producten.

Gelet op de toenemende functiedichtheid en de afnemende karakteristieke afmetingen van deze producten stuiten de bestaande, op silicium-technologie gebaseerde vervaardigingstechnieken, zoals ets- en depositietechnologieën, op technologische grenzen. Daarbij speelt enerzijds de productiviteit van de vervaardigingstechniek een rol, maar anderzijds ook de bereikbare geometrie en het spectrum van toepasbare materialen [1].

De vraag rijst dan ook of er toch niet ook voor de conventionele productieprocessen en materialen toepassingen in het microdomein weggelegd zijn; temeer daar deze veelal met het oog op voor economisch rendabele toepassing in grote series ontwikkeld zijn. Hierbij moet vooral gedacht worden aan oer- en omvormtechnieken. Ook verspanings- en verbindingstechnieken komen zeker in aanmerking. Dit resulteert in de vertaling van reeds bestaande technologieën voor de vervaardiging van hoogwaardige producten in het macrodomein naar het toepassingsgebied van microsysteemtechniek, het microdomein. Dit is één van de opgaves die de sectie ProductieTechniek en -Organisatie (PTO) van de faculteit Ontwerp, Constructie en Productie (OCP) van de Technische Universiteit Delft (TU Delft) zichzelf stelt.

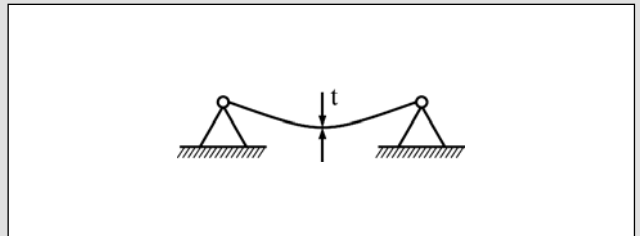
**Voorbeeld 1: Volume en oppervlakte**

Een kubus met ribbe  $x$  heeft een volume van  $x^3$  en een oppervlak van  $6x^2$ . Naarmate de kubus kleiner wordt, vermindert het volume met een waarde  $x$  meer dan het oppervlak en dit houdt dus in dat het kubusoppervlak in verhouding groter wordt dan het volume. Deze afhankelijkheid speelt bijvoorbeeld een rol bij zoogdieren die leven in een koud klimaat, waarbij kleine dieren een relatief groot verlies aan lichaamswarmte moeten compenseren.



**Voorbeeld 2: Buig- en membraanstijfheid**

Loodrecht op een scharnierende plaat met dikte  $t$  wordt een belasting aangebracht. Naarmate de plaat dunner wordt, neemt de buigstijfheid  $D$  van de plaat af met  $t^3$ . De membraanstijfheid  $M$  neemt dan echter af met  $t$ , waardoor de membraanstijfheid in verhouding minder afneemt dan de buigstijfheid. Door deze afhankelijkheid buigt een dunne plaat relatief minder ver door dan een dikke.



Binnen het onderzoeksgebied ‘free particle processes’, waartoe eveneens Micro Abrasive Waterjet Machining en Micro Abrasive Air Jet Machining behoren, is recent gestart met een verkennend onderzoek naar de mogelijkheden om met behulp van een van deeltjes voorziene luchtstraal onderdelen om te vormen. Dit artikel geeft een overzicht van de aanpak en de eerste resultaten van een verkennend onderzoek naar de mogelijkheden van deze nieuwe vormtechniek.

**Microbewerkingstechnieken**

Bij de ontwikkeling van een gereedschapsgebonden micro-vormgevingsproces blijkt steeds, dat de vervaardiging van het gereedschap zelf het meest kritisch is. Zelfs als het technisch mogelijk is gereedschap van voldoende kwaliteit te produceren, dan is de ontwikkelingsinspanning hiervoor vaak economisch onverantwoord. Bovendien kan de flexibiliteit die wordt bereikt bij macro-vormgevingsprocessen middels een modulaire opbouw van het gereedschapssysteem over het algemeen niet vertaald worden naar micro-gereedschappen.

Wanneer men echter bestaande macro- en micro-vormgevingstechnologieën nader onderzoekt, dan zijn er, in het bijzonder in het microdomein, twee benaderingen veelbelovend. De eerste is het vervuilen van een productgebonden gereedschap voor een universeel gereedschap. De tweede is het toepassen van een incrementeel proces in plaats van een continu proces.

Voorbeelden van de eerste benadering zijn het omvormen met een water- of laserstraal [2,3]. Met name laserstraalomvormen heeft echter als nadeel, dat op het product een warmtebeïnvloede zone achterblijft. Combinatie van beide benaderingen wordt gevonden in bijvoorbeeld het incrementeel vormgeven van een ultra-dunne plaat met behulp van een micro-hamer [4]. Ook bij het vormgeven op basis van de cumulatieve werking van versnelde deeltjes, zoals het kogelstraalomvormen (shot peen forming) vindt men een combinatie van de twee benaderingen [5].

Hierbij moet echter wel opgemerkt worden dat met name voor een micro-bewerking geldt dat de combinatie van een eenvoudig niet-productgebonden gereedschapsconcept en de grote flexibiliteit alleen dan tot een industrieel toepasbaar productieproces leidt, wanneer de nodige kennis voor integrale procesbeheersing beschikbaar is.

**Schaaleffecten**

Miniaturisering is het reduceren van afmetingen van het product tot minder dan 1 mm. Bij deze afmetingen treden eerste en tweede orde schaaffecten op, die het procesresultaat beïnvloeden. De eerste orde schaaffecten worden beschreven door middel van wiskundige vergelijkingen die de invloed van veranderde verhoudingen tussen procesparameters weergeven. In het bovenstaande kader zijn enkele voorbeelden te zien van eerste orde schaaffecten. Bij het omvormen met een laserstraal spelen eerste orde effecten als een grotere warmte-beïnvloeding en de geringere flexibiliteit van de eindvorm een rol.

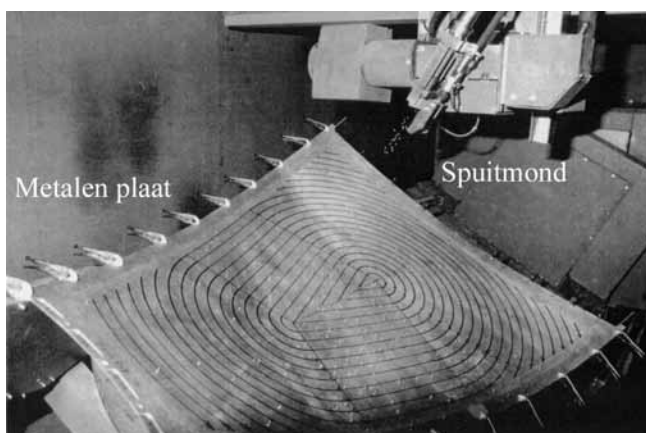


De tweede orde schaaleffecten kunnen niet beschreven worden door algemene modellen en zijn daardoor minder voorspelbaar. Deze effecten spelen bij afmetingen in het submillimeter gebied een steeds grotere rol. Experimenteel bepalen van de invloed van deze effecten is noodzakelijk om een optimale procesbeheersing te kunnen realiseren. Door tweede orde effecten kunnen procescondities van bijvoorbeeld dieptrekken verslechteren, doordat het materiaal sneller verdunt en er eerder scheurvorming kan ontstaan. Deze condities ontstaan door variabele waarden van vloeispanning, anisotropie en ductiliteit.

De tweede orde effecten wordt veroorzaakt door de microstructuur van het materiaal. Onder de microstructuur wordt, in geval van polykristallijne metalen, met name de grootte en oriëntatie van de kristallen verstaan. De individuele kristallen krijgen, door hun afnemend aantal bij afnemende afmetingen van het product, een steeds grotere betekenis en beïnvloeden de lokale materiaalresponsie. Bij grotere afmetingen worden de lokale effecten, door het grotere aantal betrokken kristallen, uitgemiddeld tot een uniforme responsie.

Deze effecten treden over het algemeen op bij afmetingen van circa 1 mm, maar kunnen soms al optreden bij grotere of kleinere dimensies. Dit is afhankelijk van de verhouding tussen product- en kristalafmetingen.

Onderzoek naar de tweede orde effecten is nog in volop in ontwikkeling, waardoor bepaalde materiaalgedragingen nog niet onderzocht of verklaard zijn. Het microstraalomvormen kan daarom effecten blootleggen die nog niet eerder zijn waargenomen.



Afbeelding 1. Segment van een tankbodem van de Ariane 5 raket, dat door middel van kogelstraalvormen wordt gevormd (Bron: Dornier)

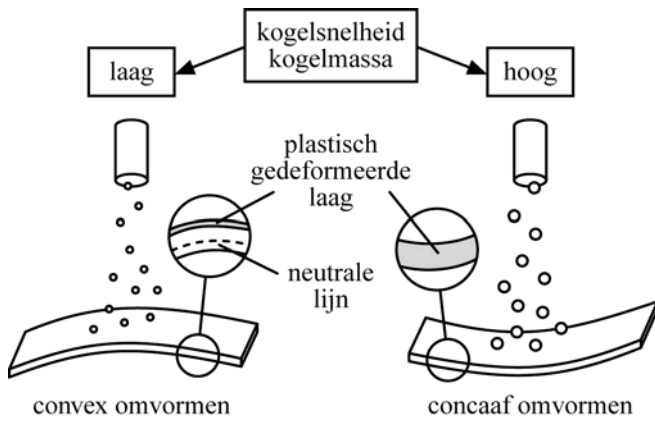
## Microstraalomvormen

De techniek van het vormgeven met behulp van een microstraal wordt op macro schaal toegepast voor het omvormen (zie afbeelding 1) van plaatvormige onderdelen voor de lucht- en ruimtevaartindustrie. Met behulp van kogelstraalomvormen worden platen van enkele millimeters dik, bijvoorbeeld huidpanelen van vliegtuigen, door middel van een kogelstraal omgevormd. De kogels, waarvan de diameter in een zelfde orde van grootte ligt als de plaatdikte, worden met snelheden van enkele tientallen meters per seconde op de platen afgeschoten. Bij het schalen naar het microstraalomvormen moeten de straaldeeltjes verhoudingsgewijs een zelfde kinetische energie bezitten, daar de minimaal benodigde omvormenergie per volume eenheid materiaal niet verandert. Kleine straaldeeltjes dienen dus een veel hogere snelheid te bezitten.

De procescondities van het kogelstraalomvormen worden over het algemeen experimenteel bepaald, omdat het omvormproces dermate complex is dat modelleren ervan nauwelijks mogelijk is. Bovendien worden deze gegevens uit concurrentie overwegingen zelden of niet gepubliceerd. De meeste gepubliceerde gegevens beperken zich, gezien de grote industriële toepassing, tot het convex vormen van platen (zie afbeelding 2). Naast convex vormen bestaat echter nog een complementaire variant, concaaf vormen, die wetenschappelijk gezien zelfs interessanter is, maar die industrieel slechts zeer beperkt toegepast wordt.

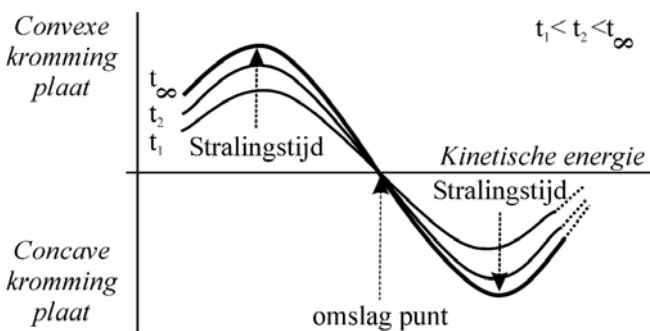
Bij gelijkblijvende plaafeigenschappen is het convex of concaaf vormen afhankelijk van de kinetische energie van de kogels, die een dunne, respectievelijk dikke plastisch gedeformeerde laag in de plaat veroorzaken. Deze plastische deformatie veroorzaakt een spanningspatroon over de dikte van de plaat, die de uiteindelijke vorm van het product bepaald. Iedere verandering in hardheid, materiaal of dikte van de plaat zorgt voor een andere reactie van de plaat, en dus voor een andere eindvorm. Om een volledig beeld van de geschikte procescondities te verkrijgen, is het experimenteel vaststellen van de invloed van de diverse parameters vaak de enige optie.

Wel zijn er bepaalde trends bekend waarin de omvormcurve van afbeelding 3 zich beweegt, zoals het vlakker worden van de curve en het korter worden van de curve bij afnemende dikte van de plaat. Deze trends zijn duidelijke gevolgen van de eerste orde schaaleffecten. Onderzocht is in hoeverre deze trend zich doorzet wanneer de afmetingen afnemen tot in het microdomein.



Afbeelding 2. Bij lage kinetische energie van de kogelstraal ontstaat een dunne gedeformeerde laag aan de bestraalde zijde van de plaat en daardoor zal de plaat convex vormen. Bij hoge kinetische energie wordt deze laag dikker en krijgt de plaat een concave kromming.

De mate van omvormen is afhankelijk van de tijd, waarbij langer of korter bestralen slechts invloed heeft op de mate van omvormen, niet op het type omvormen. Bij langer stralen neemt de zogenaamde bedekkingsgraad van de plaat toe, dat wil zeggen: de verhouding tussen het door kogelinslagen geïndenteerde oppervlak en het onvervormde oppervlak. Ervaringen bij het kogelstraalomvormen hebben geleerd dat zeer lang stralen, waardoor de bedekkingsgraad oploopt tot boven de 100%, een negatieve invloed heeft; de plaat verliest een deel van de vervorming en keert enigszins terug naar de oude vorm. Een optimale verhouding tussen enerzijds de



Afbeelding 3. Lage kinetische energie veroorzaakt een convexe kromming van de plaat, die bij hogere waarden van de kinetische energie via het omslagpunt verandert in een concave kromming. Bij toenemende stralingstijd neemt de kromming van de plaat toe.

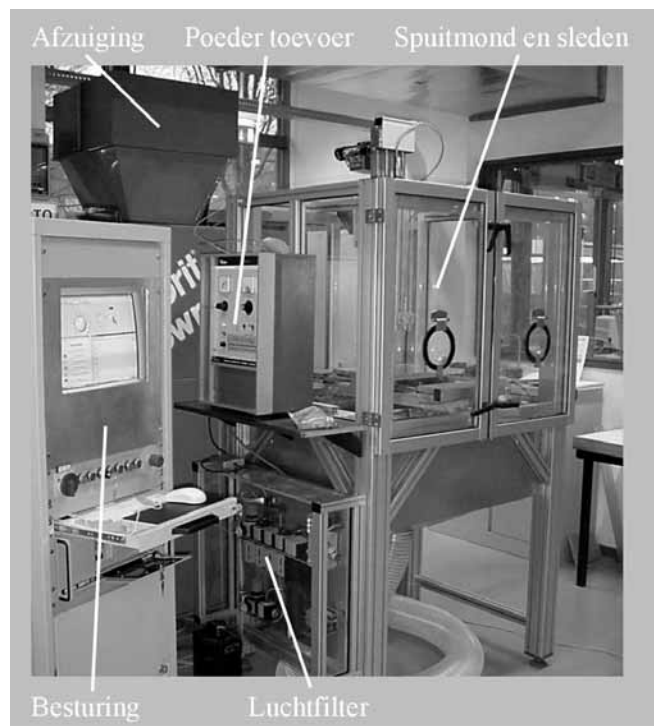
bestralingsduur en anderzijds de mate van omvormen wordt verkregen bij een bedekkingsgraad van ongeveer 5%.

De uitgangshardheid van het product beïnvloedt niet alleen het verloop van het omvormproces, de hardheid zelf verandert ook tijdens het proces. Bij het convex omvormen vindt er over het algemeen 'workhardening' plaats aan de bestraalde zijde van de plaat. Bij geharde, koud vervormde of voorgespannen producten treedt er echter onder invloed van de bewerking 'worksoftening' op. Over hardheidsveranderingen tijdens het concaaf omvormen zijn geen gegevens gevonden.

Om de invloed van miniaturisatie van het kogelstraal- tot microstraalomvormen te onderzoeken is het van belang de hardheidswaarden te bepalen van zowel convex als concaaf gevormde werkstukken.

### Procestechnische ontwikkeling

Met behulp van de in het laboratorium van PTO aanwezige onderzoekopstelling voor het Micro Abrasive Air Jet Machining (afbeelding 4), is het microstraalomvormen experimenteel onderzocht. Om een vormende in plaats van afnemende bewerking te realiseren, is het abrasief vervangen door ronde glaskogeltjes met een gemiddelde diameter

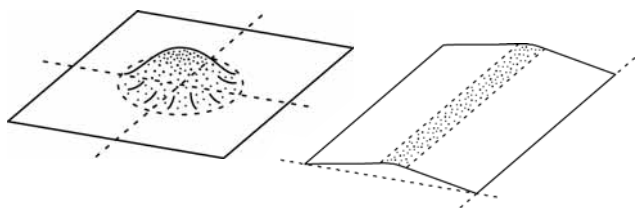


Afbeelding 4. Microstraalomvormmachine

van 75  $\mu\text{m}$ , de diameter varieerde tussen de 50 en de 105  $\mu\text{m}$ . Als proefstukken zijn strippen (120x35 mm) van nage-nog zuiver aluminium (A199,5), met een dikte van 100 of 150  $\mu\text{m}$  gebruikt. Deze strips bevatten in beide gevallen ongeveer twintig kristallagen over de dikte, die langgerekt en dun van vorm zijn door het op dikte walsen van de strip-pen.

Deze afmetingen zijn gekozen met het oog op de schaaleffec-ten die een rol kunnen gaan spelen. Hierdoor zijn de ver-schillen en overeenkomsten tussen kogelstraalomvormen en microstraalomvormen duidelijk te onderscheiden.

Er zijn twee straalprincipes toegepast, ten eerste door de spuitmond gedurende enige tijd op één vaste plaats te hou-den en ten tweede door de spuitmond herhaaldelijk in lijnen boven de plaat te bewegen (afbeelding 5). Voor elk van deze bewerkingstechnieken is een geschikt inklemsysteem ont-

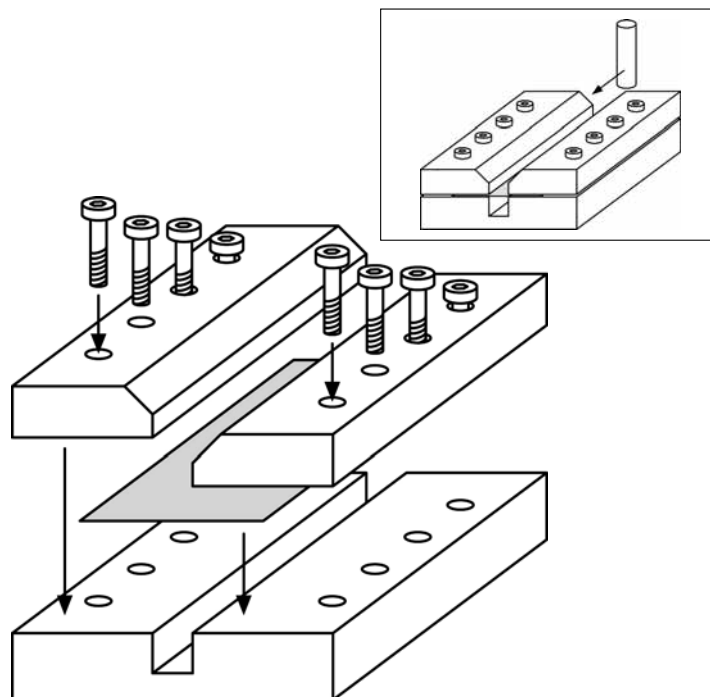


Afbeelding 5. Resultaat van twee stralingsprincipes: stralen op één plaats (links) en stralen in relatieve rechtlijnige beweging tus-sen werkstuk en spuitmond (rechts)

wikkeld; afbeelding 6 geeft hiervan een schematische weer-gave voor bestralen in lijnen.

De bepalende grootheden van het omvormproces zijn de straaltijd, de deeltjessnelheid en de afstand van de spuit-mond tot de plaat. De straaltijd varieert van 10 tot 30 s bij stralen op één plaats en van 0,026 tot 2,591 s bij stralen in lijnen (voedingssnelheid 10 mm/s). De bedekkingsgraad van de strips loopt daarbij op van 5 tot wel 1000%. De gebruikte deeltjessnelheid was ca. 150 m/s. De kinetische energie van de deeltjes was daardoor verhoudingsgewijs gelijk aan gehanteerde waarden voor kogelstraalomvormen. Uit de eerste orde schaaleffecten mag dus een gelijksoortig vormingsgedrag tussen het macro en micro domein ver-wacht worden. Grote verschillen worden daarbij zeer waar-schijnlijk veroorzaakt door tweede orde schaaleffecten. De afstand tussen de spuitmond en de strip is gevarieerd tus-sen 2 en 20 mm. De tabel hieronder geeft een volledig over-zicht van geselecteerde vaste en variabele waarden van de procesparameters.

Het kogelstraal- en microstraalomvormen zijn vergeleken op basis van geometrie en materiaaleigenschappen. Deze



Afbeelding 6. Schematische weergave inklemsysteem voor stralen van teststrips in rechte lijnen.

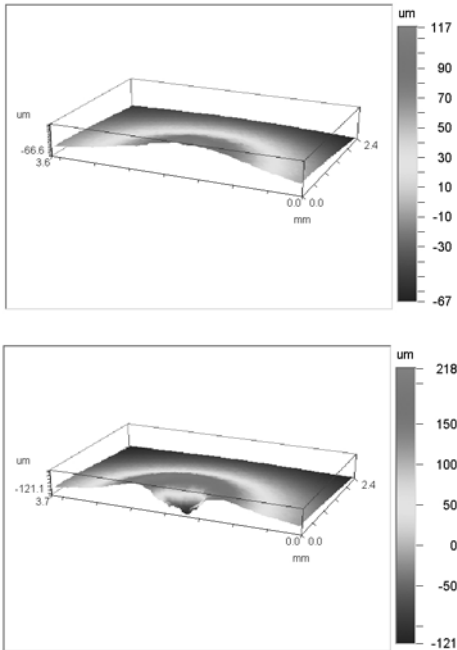
zijn voor het kogelstraal omvormen bekend en in het micro-domein nog betrekkelijk eenvoudig te meten, bijvoorbeeld door het bepalen van de textuur en de hardheid van de proef-strippen.

### Producteigenschappen: geometrie

De procesresultaten van de omgevormde proefstrippen kwa-men in grote mate overeen met de resultaten van kogels-traalomvormen. Met name de resultaten van de 150  $\mu\text{m}$

	Parameter	Waarde
<b>Vaste waarden</b>	Kogel materiaal	Glas
	Kogel diameter	50-105 $\mu\text{m}$
	Voeding kogels	10 g/min
	Spuitmond diameter	0,65 mm
<b>Variabele waarden</b>	Luchtdruk	0-0,6 MPa
	Afstand spuitmond-strip	2-20 mm
	Voortgangssnelheid spuitmond	10 mm/s
	Straaltijd	0,026-30 s

Geselecteerde vaste en variabele waarden van procesparameters



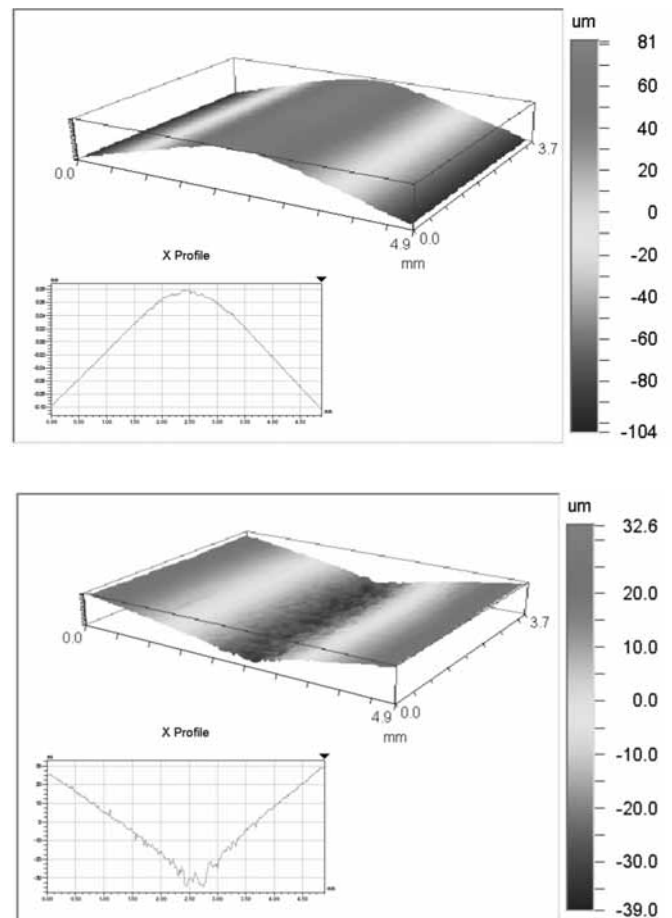
**Abbeelding 7.** Convex vormen van de strip bij stralen op één plek met hoge kogelsnelheid. Bij korte stralingstijd ontstaat een convex gevormde strip, maar deze contour wordt bij langere stralingstijd doorboord door de hoge bedekkingsgraad.

dikke proefstrippen bleken niet of nauwelijks te verschillen, wat aangeeft dat tweede orde schaafeffecten bij deze afmetingen en plaaieigenschappen nog geen rol spelen. De kinetische energie van de deeltjes was ontoereikend voor concaaf vormen van de 150 µm dikke proefstrippen. Deze waren bij een maximale deeltjessnelheid echter wel in sterke mate onderhevig aan slijtage, veroorzaakt door verspanend ploegen van de kogels. Bij verlengen van de bestralingstijd werden de strippen daardoor dunner en uiteindelijk zelfs doorboort (afbeelding 7). Het bezwijken van het materiaal wordt veroorzaakt door de combinatie van het slijtageproces door de hoge kogelsnelheid en de zeer hoge bedekkingsgraad, die zeer snel oploopt bij verlenging van de bestralingstijd.

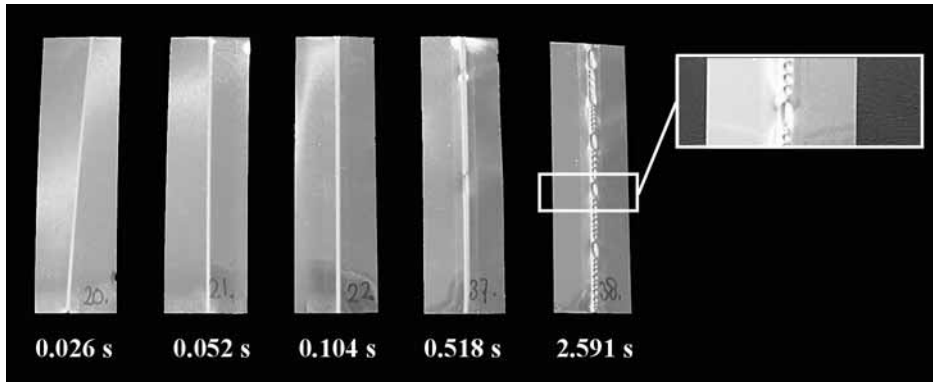
De invloed van de afstand tussen plaat en spuitmond, blijkt bij beide diktes een belangrijke invloed te hebben op de resulterende vervorming van een stip. Bij stralen op één plaats dicht op de strips werd lokaal een scherp kegelvormig profiel gevormd, terwijl bij grotere afstand een vlak gausisch profiel werd verkregen. In het macrodomein is geen informatie hierover gevonden, zodat aangenomen mag worden dat dit effect zich daar niet zo duidelijk manifesteert. De invloed van de afstand van de spuitmond tot de plaat, kan worden verklaard doordat bij de gekozen instellingen en korte afstanden er zeer snel (0,1 s) een zeer hoge bedekkingsgraad (>100%) gerealiseerd wordt. De convexe contour wordt dan snel gevormd en kromt tevens zeer lokaal, waardoor een hoge, scherpe piek ontstaat.

De dunne proefstrippen van 100 µm, vormden zowel convex als concaaf (afbeelding 8). Globaal waren de resultaten hetzelfde als de 150 µm dikke strippen. Bij bepaalde instellingen ontstonden er echter interessante verschijnselen. Het omslagpunt tussen convex en concaaf omvormen lag niet bij één bepaalde deeltjessnelheid, maar bij een variatie van 10%, die bij overigens identieke procescondities is waargenomen. Dit kan alleen verklaard worden door een plaatsafhankelijke responsie van het materiaal. Dit is een tweede orde schaafeffect waarbij de microstructuur in een strip de lokale vloeispanning of ductiliteit bepaalt, die dominant is voor het vormgedrag.

Bij het langdurig lijnvormig stralen van de proefstrippen trad een opvallend verschijnsel op (zie afbeelding 9). Weergegeven zijn proefstrippen die met toenemende straaltijd (van 0,026 tot 2,59 s) zijn omgevormd. Bij een straaltijd



**Abbeelding 8.** Convex en concaaf vormen van de strips bij een luchtdruk van 0,2 MPa respectievelijk 0,4 Mpa



Afbeelding 9. Ontwikkeling van sterk golvend oppervlak van 100  $\mu\text{m}$  strips bij toename van de stralingstijd

van zo'n 0,52 s klappt het vormen op enkele plaatsten om; dat wil zeggen: de globaal convex gevormde strip vertoont lokaal concave vormen en de globaal concaaf gevormde strip vertoont lokaal convexe vorm. Dit verschijnsel wordt sterker met toenemende straaltijd zodat een sterk golvend oppervlak ontstaat. Uiteindelijk resulteert de lange straaltijd in een extreem hoge bedekkingsgraad, wat leidt tot verdunnen van de plaat, en tenslotte tot penetratie van de plaat. Het omklappen van de vorm laat zich slechts gedeeltelijk door tweede orde schaaleffecten verklaren, zodat het precieze mechanisme van het ontstaan van de golven nog onderwerp van verder onderzoek is.

### Producteigenschappen: materiaalkenmerken

De textuur van de gedeformeerde strips is geanalyseerd onder een microscoop met gepolariseerd licht, waardoor de kristallagen van het gewalst aluminium zichtbaar worden. In afbeelding 10 en 11 zijn doorsnedes van de onvervormde en vervormde 100 en 150  $\mu\text{m}$  dikke strippen te zien.

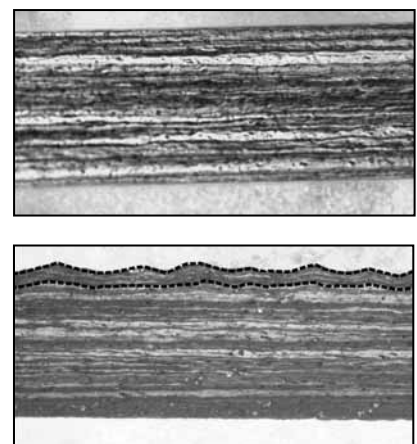
Bij de onvervormde strippen zijn de kristallagen regelmatig gestapeld en langgerekt, wat veroorzaakt is door de walsbewerking vóór het microstralen. Bij de concaaf vervormde strip van 100  $\mu\text{m}$  dik zijn alle kristallagen vervormd, dat wil zeggen: de strip is over de gehele dikte gedeformeerd. Dit klopt met de theorie dat plastische deformatie over de gehele dikte van een plaat vereist is om deze concaaf om te kunnen vormen. Bij de convex gevormde 150  $\mu\text{m}$  dikke strip zijn slechts enkele kristallagen gedeformeerd die zich aan het oppervlak van de bestraalde zijde bevinden. De dikke lijn geeft de randen van de gedeformeerde kristallagen aan. Ook de bevindingen van de convexe vorm kloppen met de theorie.

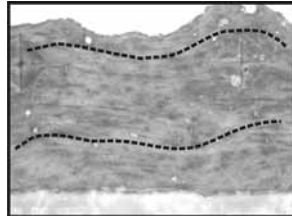
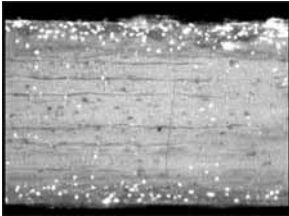
De veranderingen in de textuur die ontstaan door het microstraalomvormen zijn dus identiek aan die bij het kogelstraalomvormen. Het voor het kogelstraalomvormen opgestelde model is dus eveneens bruikbaar om voorspellingen in het microdomein te doen.

De hardheid van de strips is vastgesteld met een Vickers microhardheidsmeting. Deze meting geeft ten opzichte van andere meetmethoden het beste resultaat. Toch lieten de resultaten nog grote onderlinge variaties zien, wat veroorzaakt wordt door de relatief grote diamant die bij de normale micorhardheidsmeting gebruikt wordt, in relatie met de stripdikte.

Het onvervormde materiaal van de 100  $\mu\text{m}$  en de 150  $\mu\text{m}$  dikke strippen had een hardheidswaarde van 60 HV respectievelijk 70 HV. Tussen het vervormde en onvervormde materiaal is een hardheidsvermindering van ongeveer 5 HV waarneembaar, waarbij geen duidelijk onderscheid waarneembaar was tussen de convex en concave vorm. Een zelfde hardheidsvermindering is waargenomen bij het convex vormgeven door kogelstraalomvormen. Ook hier lijkt het materiaalgedrag in het macro- en microdomein identiek te zijn. Dat vereenvoudigt de voorspellingen over het vormgedrag op microschaal, omdat van de kennis op macroschaal gebruik kan worden gemaakt.

Afbeelding 10. Onvervormde en convex gevormde strips van 150  $\mu\text{m}$ ; gedeformeerde laag is klein ten opzichte van de stripdikte.





Afbeelding 11. Onvervormde en concaaf gevormde strip van 100 µm; gedeformeerde laag beslaat volledige stripdikte.

### Conclusie en vooruitblik

De variëteit aan mogelijke vormen door gebruik te maken van een niet-productgebonden gereedschap biedt het microstraalomvormen een enorme flexibiliteit.

De resultaten geven aan dat er grote overeenkomsten zijn tussen kogelstraal- en microstraalomvormen. De eerste orde effecten blijken dominant te zijn, zodat het microstraalvormen ontwikkeld kan worden tot een betrouwbaar en repeeteerbaar proces. Tevens ontstaat de mogelijkheid de beschikbare ervaringen en gegevens van het kogelstraalomvormen modelmatig te vertalen vanuit het macrodomein naar het microdomein.

Bij afnemende afmetingen beginnen tweede orde schaaleffecten eveneens een rol te spelen, waardoor het proces een onvoorspelbaar en onbeheersbaar karakter krijgt. Deze effecten treden op bij afnemende verhoudingen tussen de afmeting van het werkstuk en de afmetingen van de individuele kristallen. Door fijnkorreliger uitgangsmateriaal te gebruiken kunnen de tweede orde schaaleffecten bij verdergaande miniaturisatie waarschijnlijk onderdrukt worden.

Met dit verkennend onderzoek is een eerste stap gezet in de richting van integrale procesbeheersing voor het microstraalomvormen. Om tot een beter begrip van de wetmatigheden en schaaleffecten in het microdomein te komen zal in de volgende stap door middel van eindige elementen modellering en lokale spanningsmetingen de interne spanningstoestand van het werkstuk onderzocht worden. Deze kennis zal bijdragen tot een integrale ontwerp en productieketen waarin de potenties van het proces ten volle benut kunnen worden.

### Literatuur:

- [1] Völklein, F. und Zetterer, T.: Einführung in die Mikrosystemtechnik, Grundlagen und Praxisbeispiele, Vieweg Verlag 2000
- [2] Iseki, H., 'Flexible and incremental bulging of sheet metal using high-speed water jet', JSME international journal. Series C. Mechanical systems, machine elements and manufacturing, vol. 44 no 2. (2001), p. 486-493
- [3] Geiger, M. and Hennige, T.: Laser forming –an innovation for manufacturing engineering. In: Shirvani, B. et al. (eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Sheet Metal, 'Sheet Metal 2000', Birmingham: University of Central England 2000, p. 43-54
- [4] Saotome, Y. et al., 'An in-situ incremental microforming system for three-dimensional shell structures of foil materials', Journal of Materials Processing Technology, 113 (2001), p. 636-640
- [5] Kopp, R. and Schulz, J., 'Flexible sheet forming technology by double-sided simultaneous shot peen forming', in: Annals of the CIRP, vol.51 no 1 (2002), p. 195-198

Voor meer informatie:

Dr.ir. A.M. Hoogstrate

Technische Universiteit Delft

Ontwerp, Constructie en Productie

Laboratorium voor ProductieTechniek en -Organisatie (PTO)

Mekelweg 2

2628 CD Delft

Tel: 015- 278 68 04

Email: a.m.hoogstrate@wbmt.tudelft.nl

# Ontwikkeling van een refocus mechanisme voor de tweede generatie Meteosat-weersatellieten

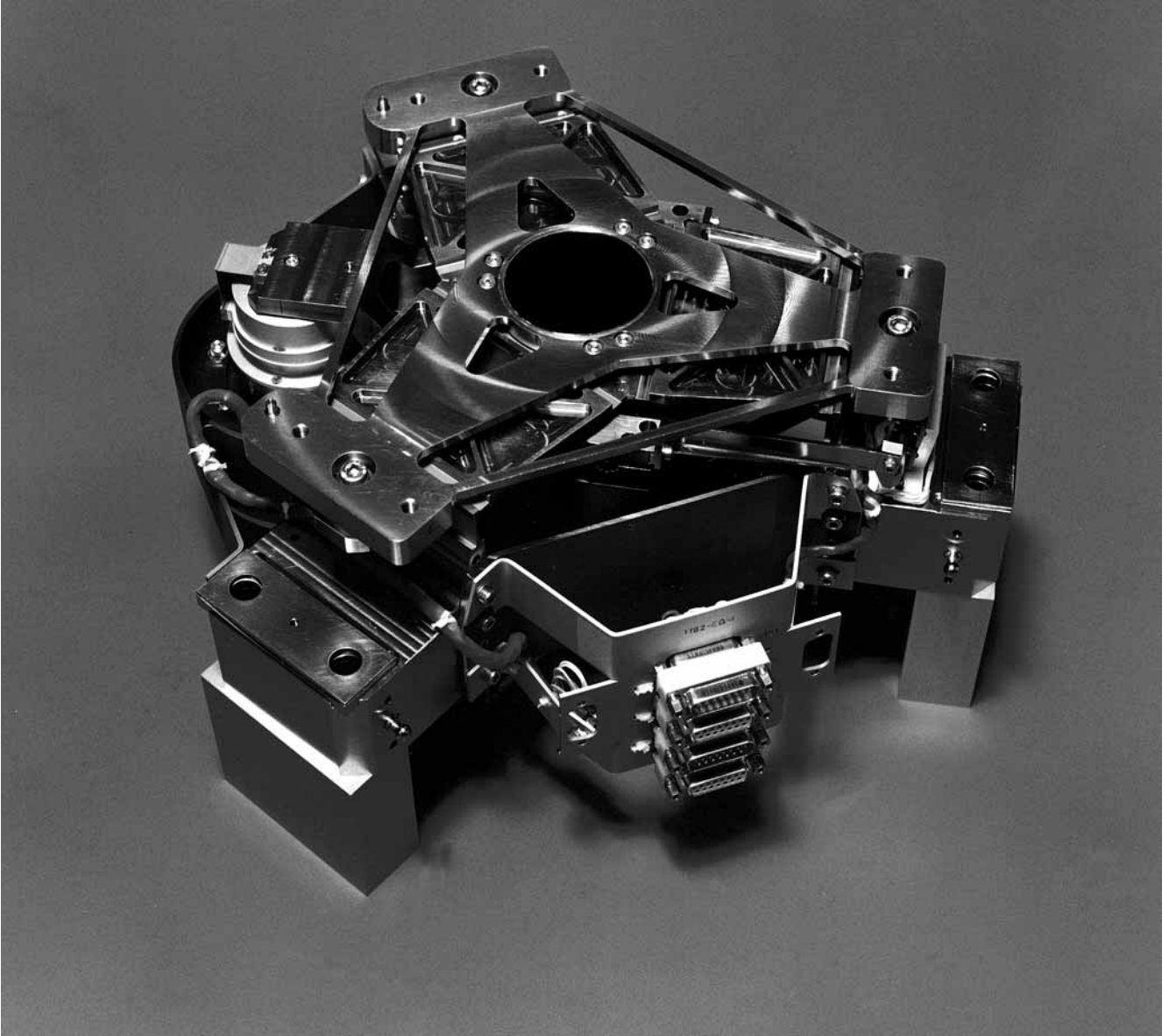
*Voor het SEVIRI instrument, van de tweede generatie Meteosat (Meteosat Second Generation of MSG), is een scherpstelmechanisme ontwikkeld (Refocusing Mechanism of REM). Het mechanisme is bedoeld om in de baan om de aarde het brandpunt in te stellen van een spiegelstelsel dat deel uitmaakt van SEVIRI. Terwijl de MSG-satelliet vanuit zijn geostationaire baan de aarde en haar atmosfeer observeert, zal het REM worden gebruikt om kleine vervormingen van de satellietconstructie te compenseren die ontstaan door invloeden van de zwaartekracht, de temperatuur en veroudering.*

- *B.C. Braam, P. Verhoeff, H.A. van Mierlo, J. Hopman, W.P. van Werkhoven, M. Le Kluse (TNO TPD, Postbus 155, 2600AD Delft)* •

Het mechanisme is bedoeld voor frequent gebruik. Het maakt het mogelijk om in de ruimte scherp te stellen in stappen van 1,4  $\mu\text{m}$  over een bereik van 2 mm, vrijwel zonder ongewenste rotaties of translaties. REM is ontworpen om het grote, 3,9 kg zware spiegelstelsel te dragen bij lancering met een raket van het type ARIANE 5, zonder toepassing van een klemmechaniek. Belangrijke randvoorwaarden voor het ontwerp waren het beperkte volume en de strikte eisen aan de massa. De REM-functie wordt gerealiseerd in twee modules. Een geleidingsmodule op basis van elastische elementen levert de vereiste slag, binnen de strenge vereisten voor decenter en rotatie. Een actuatorelement, een planeetwiel aandrijving en een schroefspindel leveren de kracht voor translatie van het spiegelstelsel. De koppeling van de twee modules is gerealiseerd met een speciale hefboomconstructie.

Het programma voor de tweede generatie Meteosat (MSG) wordt uitgevoerd door het Europese Ruimteagentschap (ESA) in samenwerking met de Europese organisatie voor exploitatie van meteorologische satellieten (EUMETSAT). Belangrijkste partij in het MSG-programma is Aerospatiale in het Franse Cannes. Het waarnemingsinstrument van de MSG-satellieten, genaamd Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI), is ontwikkeld door Matra Marconi Space France (MMS-F).

De configuratie van de SEVIRI is schematisch weergegeven in afbeelding 1. Het deel van het aardoppervlak dat op een bepaald moment kan worden bekeken is een paar vierkante kilometer groot. Het volledige aardoppervlak wordt afgebeeld door het instrument te bewegen. De oost-west richting wordt verkregen door de draaiende beweging van satelliet (100 rpm), de noord-zuid richting wordt verkregen met

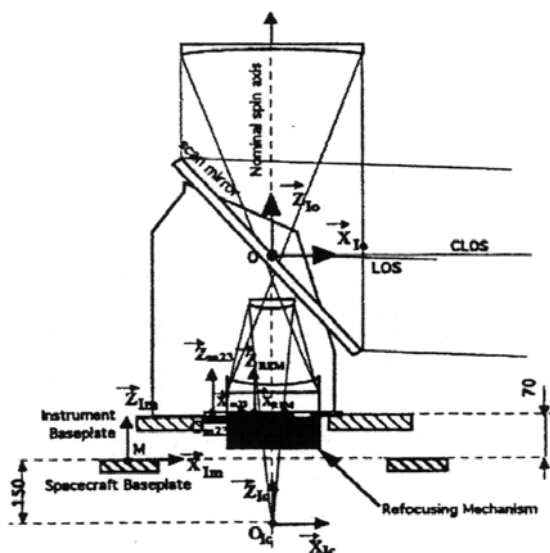


behulp van een scanspiegel. Het beeld van de aarde reflecteert via de scanspiegel (elliptisch van vorm en ongeveer 80 cm lang) naar de primaire spiegel en vandaar via de secundaire en tertiaire spiegels M2M3 naar het brandpuntsvlak. Het brandpuntsvlak bestaat uit twaalf kanalen voor infrarood en zichtbaar licht die zijn ondergebracht in twee 'warme' en 'koude' detectiemodules. Het licht gaat door het REM.

Het REM heeft de volgende hoofdfuncties:

- Het 3,9 kg zware spiegelstelsel M2M3 (zwaartepunt 110 mm boven REM) op zijn plaats houden met een nauwkeurigheid op  $\mu\text{m}$ -niveau tijdens de lancering zonder klemmechaniek en zonder vermogen te gebruiken.
- Het spiegelstelsel M2M3 instellen langs een rechte lijn op aarde en in de ruimte over een bereik van  $\pm 1$  mm (decenter:  $< 25 \mu\text{m}$ , ongewenste rotatie:  $< 25 \mu\text{rad}$ ).
- Het spiegelstelsel M2M3 in een vaste positie houden (in-focus stabiliteit  $< 10 \mu\text{m}$ , decenter:  $< 25 \mu\text{m}$ , ongewenste rotatie:  $< 25 \mu\text{rad}$ ).
- De lichtbundel doorlaten van de tertiaire spiegel naar het brandpuntsvlak en zorgen voor minimum strooielicht.





Afbeelding 1. Configuratie SEVIRI

Het project wordt gerealiseerd in overeenstemming met de nieuwe (ontwerp uitgave 1994), strengere eisen van ESA ECSS voor mechanisch ontwerp en uitvoering. Tijdens de ontwerpfase is een analyse uitgevoerd met een gedetailleerd en representatief eindig element model (FEM) van de geleidingsmodule. Daarnaast zijn een gedetailleerd thermisch model en een mathematisch model opgesteld voor het berekenen van het verschil in koppel aan het begin en eind van de levensduur.

### Eisen en randvoorwaarden

De belangrijkste eisen en randvoorwaarden voor het ontwerp zijn samengevat in tabel 1.

### Ontwerp

Het modulair uitgevoerde REM bestaat uit twee aparte modules die de twee functies verzorgen: geleiden en verplaatsen. De twee modules zijn verbonden door middel van een speciale hefboomarm die niet alleen zorgt voor de verbinding maar ook helpt de trillingsbelasting tijdens de lancering op de actuatormodule te verminderen.

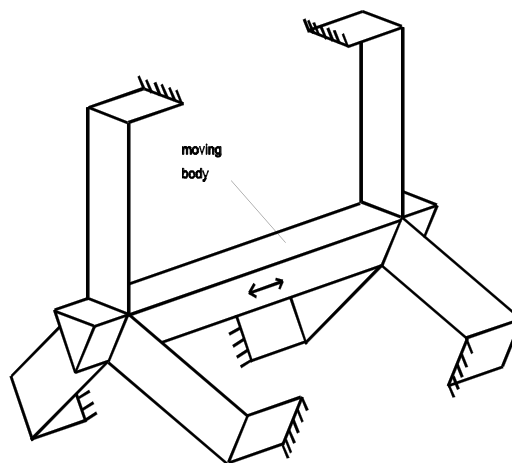
De draag- en geleidingsmodule (Support & Guide Module) geleidt het spiegelstelsel M2M3 langs een rechte lijn en levert voldoende laterale stijfheid, wat van het allergrootste belang is in verband met de trillingen tijdens de lancering. De actuatormodule zorgt voor de verplaatsingsfunctie,

levert een afdoende houdkracht en zorgt voor de vereiste radiale stijfheid in de werkingsrichting van de actuator gedurende de lancering. In dit hoofdstuk worden omschrijvingen gegeven van het ontwerp van de draag- en geleidingsmodule, de actuatormodule en de hefboomarm en de gebruikte mathematische modellen.

### Draag- en geleidingsmodule

Voor de vereiste slag kunnen systemen worden gebruikt op basis van elastische elementen. Na een afweging tussen verschillende concepten op basis van elastische elementen, werd voor het ontwerp gekozen voor een concept op basis van zes gevouwen bladveren. Hoewel er een model beschikbaar was voor een geleidingsmodule van een eerdere ontwikkeling met potentieel betere draageigenschappen (laterale stijfheid) en prestaties (slag 6 mm, decenter 15 nm, rotatie 5  $\mu$ rad), het Aristotel Calibration device<sup>1</sup>, is dit ontwerp niet gekozen voor het REM vanwege volume restricties. Alternatieve concepten zoals een aanpak op basis van membranen zijn uitgebreid bestudeerd, maar bleken niet geschikt te zijn. Vooral de vele overbepaaldheden in membraansystemen kunnen de oorzaak zijn van rotaties die veel groter zijn dan wat vereist is voor het REM.

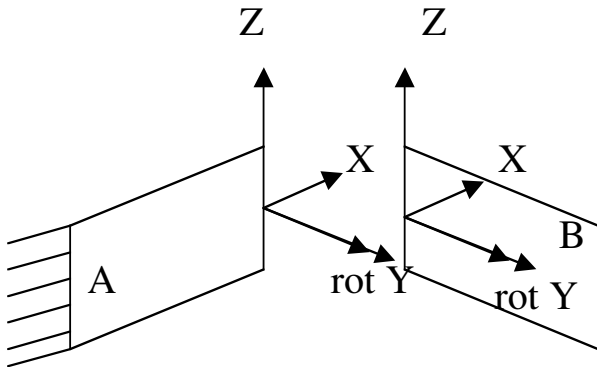
Het concept met zes gevouwen bladveren is afgebeeld in afbeelding 2. De figuur toont de configuratie van de bladveren en de richting van de beweging van het starre lichaam, dat de bladveren verbindt. Elke gevouwen bladveer beperkt één graad van vrijheid. Dit wordt geïllustreerd in afbeelding 3, waarin de gevouwen bladveer is afgebeeld als twee aparte veren. Een enkele bladveer kan drie graden van vrijheid



Afbeelding 2. Zes gevouwen bladveren

Onderwerp:	Waarde:	Opmerking:
Afmetingen	Diam. 280 mm x 123 mm Centraal gat diam. 50 mm	
Massa	<7,9 kg	Verkregen na optimalisatie (afweging eigenfrequentie versus massa). Oorspronkelijk eis massa was <3.6 kg.
Stroomverbruik	<14,5 W	Piekvermogen bij laagste bedrijfstemperatuur
Slag	±1,0 mm	
Eindstops	±1,1 mm ±1,2 mm	Elektrisch, dubbel uitgevoerd Mechanisch
Eigenfrequenties ( bij lancering)	>130 Hz in laterale richting >200 Hz in lengterichting	Verkregen na optimalisatie (afweging eigenfrequentie versus massa). Oorspronkelijk eis eigenfrequentie was >200 Hz in alle richtingen
Laterale beweging en rotatie	<±25µm decenter <±25 µrad ongewenste rotatie	
Algehele stabiliteit (ook bij lancering en bij gewichtloosheid en de thermo-elastische effecten van basisplaat)	<±10 µm in axiale richting <±25 µm decenter <±25 µrad ongewenste rotatie	
Resolutie	1,4 µm ±30%	
Lineariteit	<10 µm over de volle slag	
Nuttige levensduur	120 uur	zeven jaar in baan om de aarde twaalf jaar op aarde
Bedrijfstemperatuur	+13 tot +43°C	
Thermische gradiënt	± 4°C in laterale richting	
Quasi-statische belasting	±16 g in laterale richting ±30 g in lengterichting	Trilling bij lancering (kwalificatieniveaus)
Thermo-elastische belasting interface	±270 N, 10 Nm ±10 N, 3 Nm	Bij interface basisplaat Bij interface spiegelstelsel M2M3
Bedrijfsduur	≥2 volle slagen continu ≥9 min. tegen mechanische eindstop	zestien minuten continu bedrijf

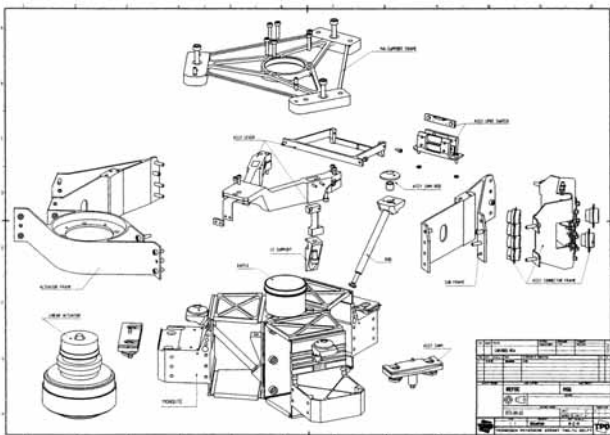
Tabel 1. Eisen voor refocus mechanisme en randvoorwaarden



Afbeelding 3. Vrijheidsgraden gerealiseerd met gevouwen bladveer

beperken. In de gevouwen bladveer wordt alleen de z-richting (graad van vrijheid) beperkt aan het eind van het systeem. Bladveer B kan niet de beperkingen x en rot y doorgeven die worden geleverd door bladveer A.

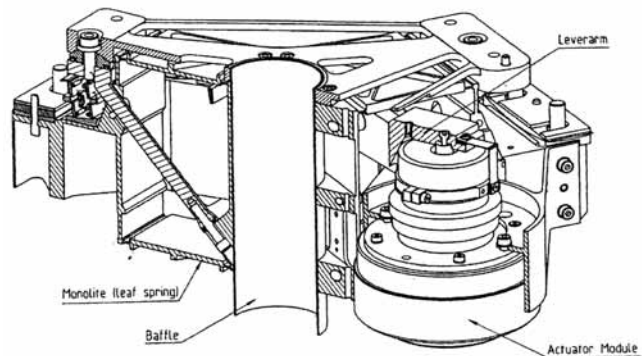
De configuratie met zes gevouwen bladveren legt zes vrijheidsgraden vast terwijl er slechts vijf nodig zijn voor een geleidingsysteem. Dientengevolge is het bewegende lichaam eenmaal overbepaald. De zesde bladveer is noodzakelijk om voldoende laterale stijfheid te verkrijgen. Bij analyse is aangetoond dat de zesde bladveer geen significante invloed heeft op de prestaties. Als gevolg van de symmetrie is de configuratie ongevoelig voor temperatuurinvloeden. Temperatuurveranderingen hebben vrijwel geen invloed op de prestaties omdat het thermische centrum (de as die op zijn plaats blijft bij een temperatuurverandering) van het REM samenvalt met het geometrische centrum<sup>2</sup>. Bij analyse is aangetoond dat de te verwachten thermische gradiënten (zie tabel 1) in de REM-configuratie een laterale ver-



Afbeelding 4. Opengewerkt aanzicht van het REM

plaatsing veroorzaken van minder dan  $1 \mu\text{m}$ , een effect dat kan worden verwaarloosd.

De gekozen bladveerconfiguratie maakt doorgang van de bundel mogelijk evenals de realisatie van een minimaal volume. De actuatormodule kon vrijwel geheel worden ondergebracht binnen de behuizing van de draag- en geleidingsmodule. Het gerealiseerde ontwerp is afgebeeld in afbeelding 4 (opengewerkt aanzicht van het REM) en figuur 5 (dwarsdoorsnede van de plaats van de actuatormodule, de hefboomarm, een monolithische bladveer en de baffle voor passage van de lichtbundel). Afbeelding 4 laat zien hoe de zes gevouwen bladveren zijn uitgevoerd in drie monolithische blokken. Het voor de bladveren gebruikte materiaal is de titaniumlegering TiAl6V4, bewerkt met behulp van vonkerosie. De massa van de draag- en geleidingsmodule is



Afbeelding 5. Dwarsdoorsnede van het REM met de behuizing van de actuatormodule, de hefboomarm, een monolithische bladveer en de baffle voor het doorlaten van de lichtbundel

zoveel mogelijk gereduceerd onder handhaving van de vereiste eigenfrequenties en voldoende veiligheidsmarges met behulp van FE-modellering.

Meer gedetailleerd voldoet het ontwerp van de bladveerconfiguratie aan de volgende ontwerpcriteria:

- de dimensionele stabiliteit voldoet aan de eisen;
- het ontwerp is geoptimaliseerd voor lage massa;
- de maximale spanningen die optreden zowel tijdens de lancering als aan het einde van de slag zijn ongeveer 200 MPa, wat ruim beneden de maximaal toelaatbare spanning van 900 MPa is;
- voldoende laterale stijfheid en sterkte.

Als gevolg van de vereiste stijfheid en sterkte is de kracht die nodig is om het beweegbare lichaam te bewegen van de centrale positie naar de uiterste positie van 1,2 mm ongeveer 500 N, wat een zeer krachtige actuator nodig maakt.

Het spiegelstelsel M2M3 met zijn interfaces bevindt zich aan buitenkant van het REM-volume terwijl het beweegbare lichaam van het REM zich aan de binnenkant bevindt. Om te zorgen voor een mechanische verbinding is het beweegbare lichaam aan de bovenzijde voorzien van een beugel. Deze beugel is verbonden met het midden van het beweegbare lichaam en wordt aanvullend ondersteund met drie stangen. De vorm van de beugel en de verbindingmethode zijn met behulp van FE-modellering geoptimaliseerd voor de laagste massa en afdoende stijfheid.

In het midden van het beweegbare lichaam is een zwarte, geanodiseerd aluminium cilinder opgenomen die dient als strooilicht baffle.

#### Actuatoremodule

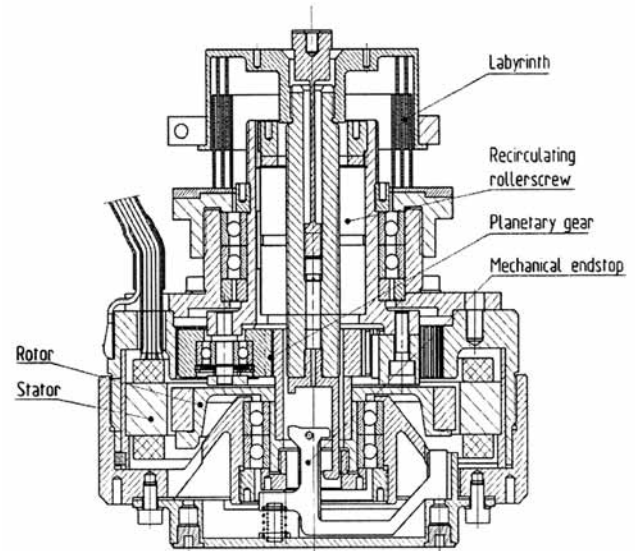
De actuator bestaat naast het huis uit de volgende componenten:

- een stappenmotor;
- een tandwielkast om het koppel van de motor te versterken;
- een schroefspindelsysteem om een rotatie om te zetten in een lineaire beweging en een kracht;
- een mechanische eindstop.

Afbeelding 5 laat zien op welke manier de actuatoremodule past in het ontwerp van het REM. De beschikbare behuizing en het onvermijdelijke volume van de drie monolithische bladveren maken het noodzakelijk de module op een compacte wijze te ontwerpen. Details van het ontwerp van de actuatore aandrijving staan in afbeelding 6.

De actuatoremodule is compact, concentrisch gebouwd met een maximale diameter van 100 mm en een lengte van 123 mm. De behuizing is voorzien van een drievoudige labyrint als barrière tegen resten van coatings en materialen. Voor de behuizing van de actuatoremodule is titanium toegepast vanwege de lage massa en de bij de andere delen van het REM passende thermische uitzettingscoëfficiënt.

Er is gebruik gemaakt van een stappenmotor met hoge resolutie ( $1^\circ/\text{stap}$ ) met redundante windingen van een serie die door SAGEM is ontwikkeld voor toepassing in de ruimte. Voor deze toepassing is de motor geoptimaliseerd voor een maximaal koppel.



Afbeelding 6. Actuatoremodule

Een planeetwielstelsel is gekozen als transmissie vanwege het compacte volume in combinatie met een lage massa. De lagers van de tandwielkast worden gesmeerd door middel van een loodcoating. De tandwielen zijn een zelfsmerende combinatie van Vespel SP3 met titanium. De vormen van de tanden van de tandwielen zijn geoptimaliseerd voor lage slijtage.

De toegepaste schroefspindel ('recirculating rollerscrew') is van TRANSROL SKF. Dit type schroef is gekozen vanwege zijn bewezen kwaliteiten, goede mechanische eigenschappen (onder andere de hoge axiale stijfheid, het lage wrijvingskoppel, relatief lage koppeltoename bij momentbelastingen, goede adhesie van droge smeermiddelen) en relatieve eenvoud. Deze schroef is in het bijzonder geschikt vanwege de hoge belastbaarheid in combinatie met een lage spoed. De axiale stijfheid van de actuatoremodule wordt bereikt door de hoge axiale stijfheid van de schroefspindel ( $>10^8 \text{ N/m}$ ) en de relatief hoge axiale stijfheid van de gekozen lagers. De slag van de schroefspindel is  $\pm 7 \text{ mm}$  en is beperkt door het beschikbare volume.

Teruglopen van de schroefspindel wordt voorkomen door het onbekrachtigde houdkoppel van de stappenmotor dat wordt versterkt door de tandwielkast. Met dit versterkte houdkoppel kan de schroefspindel de positie van het REM met een afdoende veiligheidsmarge handhaven, zelfs onder de hoge belasting bij de lancering. Om echter een goede veiligheidsmarge in houdkoppel te handhaven, moest de spoed

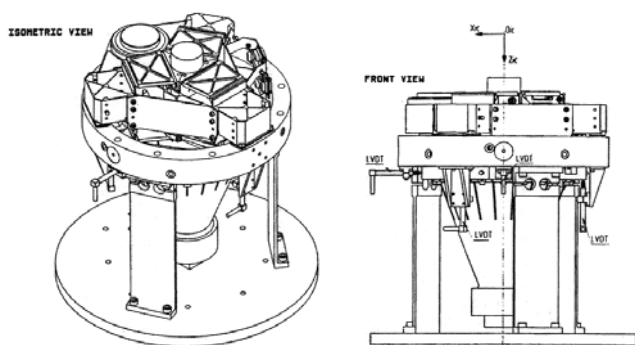
van de schroefspindel worden beperkt tot 1 mm, waardoor tevens de stapgrootte van het REM werd beperkt.

Voor de schroefspindel is een (droog) smeersysteem gekozen in samenwerking met AEA ESTL. De gekozen smering bestaat uit lood (aangebracht op alle delen van de schroefspindel) met vet van het type Braycote 601. Deze twee smeermiddelen zorgen in synergie voor een verlenging van de levensduur van het smeermiddel, aangezien het lood op effectieve wijze de polymerisatie vertraagt van het op PFPE-olie gebaseerde vet.

Vanwege de hoge krachten die de actuatormodule levert (>1200 N) zou werking van het mechanisme buiten de uitersten van de slag schade veroorzaken aan onderdelen van de actuatormodule en de draag- en geleidingsmodule. Daarom moeten afdoende mechanische eindstops worden opgenomen die het mechanisme kunnen stoppen in het geval van langdurige ononderbroken bekrachtiging bij extreme omgevingsomstandigheden. Een effectieve oplossing is gevonden door implementatie van een systeem dat aangrijpt op het punt in het systeem met het laagste koppel, dat is de motor. Een Vespel hefboomarm is opgenomen, die wordt geactiveerd door de schroefspindel en verdere rotatie van de motor voorkomt.

### Hefboomarm

Koppeling van het bewegende lichaam van de draag- en geleidingsmodule met de actuatormodule wordt gerealiseerd via een speciale hefboomarm. Andere belangrijke taken van de arm zijn het beperken van de belastingen op de actuatormodule (vooral op de schroefspindel en de lagers daarvan) tijdens de lancering en het versterken van de actuatorkracht. De hefboomarm is verbonden met het frame via een Haberland (kruisveer)-scharnier en met het bewegende lichaam via bladveren. Verbinding met de actuatormodule wordt ook gerealiseerd via een bladveer. Op deze manier



Afbeelding 7. Testopstelling REM

worden geen hogere laterale krachten uitgeoefend op het bewegende lichaam terwijl het wordt bewogen.

De afmetingen van het toegepaste Haberland-scharnier zijn aangepast voor dit speciale doel en het wordt gefabriceerd door middel van vonkerosie. De prestaties met betrekking tot excentriciteit en vereiste rotatiekracht zijn beter dan de prestaties van in de handel verkrijgbare flexibele scharnieren. Ook is het veel beter bestand tegen de lanceerbelasting. Voor het bepalen van de afmetingen van het Haberland-scharnier hebben we gebruikgemaakt van resultaten van een eerdere ontwikkeling.<sup>3</sup>

### Mathematisch modelleren

Om vertrouwen te krijgen in het ontwerp en om de ontwerp marges te beoordelen, om de prestaties van het REM te voorspellen, om het ontwerp te optimaliseren met betrekking tot massa tegenover eigenfrequentie en volume en om in staat te zijn de prestaties te beoordelen op het niveau van het SEVIRI-systeem, zijn verschillende mathematische modellen ontwikkeld. Deze modellen zijn:

- het FE-model voor de draag- en geleidingsmodule, gerealiseerd in ANSYS 5.2. De actuatormodule is opgenomen in het FE-model met behulp van de karakteristieken die zijn afgeleid uit speciale Mathcad-berekeningen;
- een thermisch-mathematisch model (zeer gedetailleerd voor de actuatormodule) gerealiseerd in ESATAN (MINITAN). Dit model is gemaakt tot in detail voor de individuele lagers teneinde niet toegestane of onveilige omstandigheden te beoordelen (temperatuurgradiënten over lagers die de initiële voorbelasting kunnen doen toe- of afnemen);
- een speciaal mathematisch model voor het beoordelen van de koppel marge van de actuatoraandrijving als functie van alle relevante parameters van lagers, tandwielkast, motor en schroefspindel.

### Verificatie- en kwalificatieprogramma

Voor verificatie van de prestaties van het REM en om het ontwerp te kwalificeren voor de specifieke vereisten van het project, is voor alle geproduceerde modellen een uitgebreid testprogramma uitgevoerd. De modelfilosofie die is gevolgd bij de ontwikkeling van het REM is:

- een structureel en thermisch model (Structural and Thermal Model of STM); alleen representatief vanuit het oogpunt van mechanische en thermische interface (massa, zwaartepunt, traagheidsmoment, eigenfrequenties, vermogensdissipatie, behuizing en interfaces met

Onderwerp:	Eis:	Gerealiseerd:
Afmetingen	Diam. 280 mm x 123 mm Centraal gat diam. 50 mm	OK
Massa	<7,9 kg	6,8 kg
Stroomverbruik	<14,5 W	OK
Slag	±1,0 mm	OK
Eindstops	±1,1 mm ±1,2 mm	OK
Eigenfrequenties ( bij lancering)	>130 Hz in laterale richting >200 Hz in lengterichting	128 Hz in laterale richting 209 Hz in lengterichting
Laterale beweging en rotatie	<±25 µm excenter <±25 µrad ongewenste rotatie	±3 µm excenter ±10 µrad in X-richting ±50 µrad in Y-richting
Algehele stabiliteit (ook bij lancering en bij gewichtloosheid en de thermo-elastische effecten van basisplaat	<±10 µm in axiale richting <±25 µm decenter <±25 µrad ongewenste rotatie	6 µm in axiale richting 7 µm decenter 23 µrad ongewenste rotatie
Resolutie	1,4 µm ±30%	1,33 µm ±10%
Lineariteit	<10µm over de volle slag	±0,6 µm, hysteresis <0,2 µm
Nuttige levensduur	120 uur	OK, zonder meetbare vermindering van torsiemarge
Bedrijfsduur	≥2 volle slagen continu ≥9 min. tegen mechanische eindstop	OK

Tabel 1. Eisen voor refocus mechanisme en randvoorwaarden

basisplaat en spiegelstelsel M2M3). Aangezien kinematische vereisten niet van toepassing waren, zijn de complexe monolithische bladveren vervangen door eenvoudiger elastische elementen. Dit model is in oktober 1996 aan de klant afgeleverd;

- een technisch en kwalificatiemodel (Engineering and Qualification Model of EQM); met dit model is het gehele kwalificatieprogramma uitgevoerd. Dit model is in juli 1997 aan de klant afgeleverd;
- vier vluchtmodellen (Flight Models of FM); deze modellen zijn op identieke wijze gefabriceerd en geïntegreerd

als het EQM. Het eerste vluchtmodel is in februari 1998 aan de klant afgeleverd. Het laatste in december 2002.

Voor de kwalificatie is de aanpak gevolgd dat dit zal worden gedaan voor het gehele model (EQM) zonder de productie van proefopstellingen. Diverse vitale onderdelen zijn van een leverancier gekocht als gekwalificeerd onderdeel (EEE-onderdelen, stappenmotor, lagers). De schroefspindel met zijn smering is beschouwd als kritisch element. In een speciale testopstelling bij AEA ESTL (thermische/vacuümomstandigheden, belasting aangebracht op het ongunstigste

moment) is een schroefspindel onderworpen aan een levensduurtest. De bij deze test gevonden resultaten waren voldoende voor gebruik van deze speciale schroefspindel in het REM.

Het verificatieprogramma dat is uitgevoerd om het REM te kwalificeren bestond uit de volgende omgevingstests:

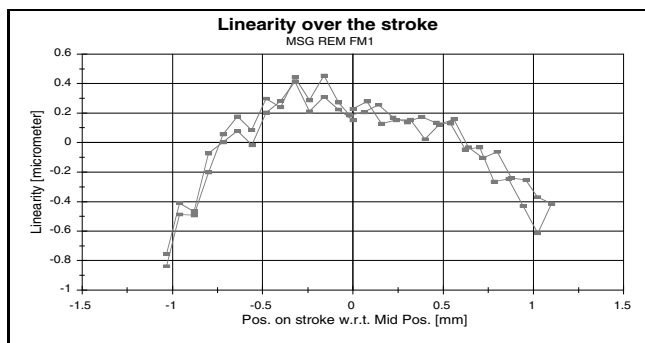
- mechanische tests (massa, zwaartepunt, traagheidsmoment, afmetingen)
- elektrische tests (functies, aardweerstand, isolatie, motorkarakteristieken)
- trillingstests (quasi statische, sinus- en 'random' trillingsbelastingen over alle assen)
- thermische vacuümtest (met inbegrip van beproeving van thermische gradiënt en karakterisering van verwarming tijdens operatie)
- interfacebelastingstest (controle op veroorzaakte richtfouten als gevolg van krachten en momentbelastingen uitgeoefend op de basisplaat en het spiegelstelsel M2M3)
- levensduurtest
- gewichtloosheidtest
- spintest (gevolgen van de draaibeweging van de satelliet met 100 tpm)

De functionele en richtprestatie is gecontroleerd voor en na elk van de omgevingstests door middel van de volgende metingen:

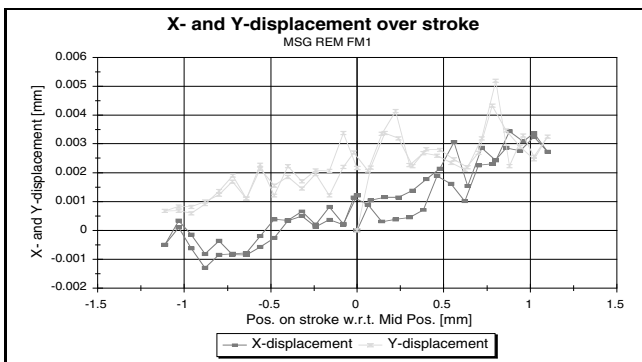
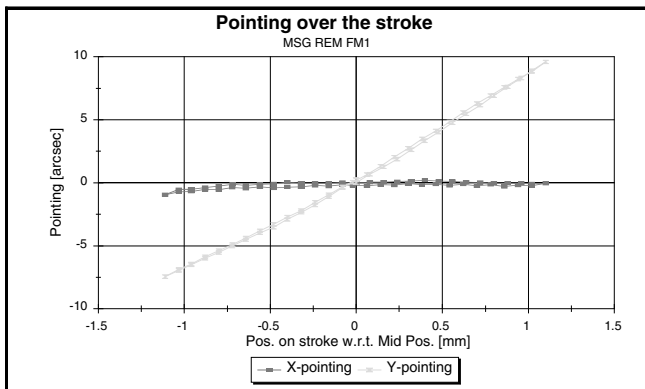
- richtprestatie (stapgrootte, lineariteit, decenter en rotatie);
- controles op koppel marge gedurende de gehele levensduur onder alle omgevingsomstandigheden;
- stabiliteitsbudgetmetingen.

Er is een speciale testopstelling ontworpen om richtmetingen met hoge nauwkeurigheid te kunnen uitvoeren in de verschillende omstandigheden. Deze opstelling is gebruikt onder omgevingsomstandigheden (20 °C) evenals onder thermisch vacuüm (0-50 °C). Deze testopstelling is afgebeeld in afbeelding 7. De belangrijkste delen van de opstelling zijn:

- een titanium interface ring die de SEVIRI-basisplaat nabootst;
- een proefmassa met massa, zwaartepunt, traagheidsmoment en mechanisch interface representatief voor het spiegelstelsel M2M3;
- een meetsysteem bestaande uit 5 lineaire verplaatsingsensors (Linear Variable Displacement Transducer of LVDT) voor het meten van verplaatsingen en rotaties rond de twee meest kritieke assen;
- een testunit, om het REM te besturen en de data uit te lezen van de thermistors en eindschakelaars.



Afbeelding 8. Lineariteit over de slag



Afbeelding 9. Rotatie en decenter als functie van de slag

Stabiliteitsmetingen zijn uitgevoerd met behulp van een driedimensionale meetmachine.

### Prestaties

Het REM is uitvoerig beproefd in het kwalificatie- en verificatieprogramma. Het kwalificatieprogramma voor het EQM is met succes voltooid. Aan alle eisen behalve de richtprestaties in één asrichting werd meer dan voldaan

onder alle relevante omgevingsomstandigheden. De triltesten toonden voldoende hoge eigenfrequenties aan en getuigden van de integriteit van het mechanisch ontwerp met betrekking tot stijfheid en sterkte. De levensduurbeproeving liet zien dat het voorziene aantal volledige slagen en focuseerbewegingen van het REM op de grond en in de ruimte haalbaar zijn. Hoewel uitgegaan is van een verhoogde veiligheidsmarge voor het aantal cyclussen dat werd uitgevoerd gedurende de levensduurbeproeving, is gedurende deze beproeving geen meetbare toe- of afname van het startkoppel gevonden. Aan de lange- en korte-termijn stabiliteitsbudgetten werd onder alle omstandigheden voldaan.

De vluchtmodellen zijn onderworpen aan een acceptatieprogramma dat minder uitgebreid was dan het kwalificatieprogramma. De relevante prestatieparameters waren echter vrijwel gelijk aan die van het EQM. Tabel 2 geeft een overzicht van de gerealiseerde prestaties vergeleken met de eisen van het REM. De lineariteit als functie van de slag staan in afbeelding 8. Het bereikte gedrag wat betreft richting, rotatie en verplaatsing als functie van de slag staan in afbeelding 9.

### Conclusie

Er is een refocus mechanisme ontwikkeld en gekwalificeerd voor gebruik op de grond en in een baan om de aarde. Aangetoond is dat het voldoet aan strenge eisen betreffende richten en stabiliteit. De laagste eigenfrequentie is 128 Hz. Voor het gerealiseerde mechanisme is geen klemvoorziening nodig. De uiteindelijk bereikte massa, verkregen na optimalisatie van massa tegenover eigenfrequentie, ligt ver beneden de vereiste waarde (6,8 kg resultaat / 7,9 kg vereist). Het REM is modulair opgebouwd. Aanpassing aan eisen voor soortgelijke toepassingen zal relatief eenvoudig zijn.

### Dankbetuiging

De auteurs willen hun dank betuigen aan MMS-F, ESA en Aerospaiale voor hun beoordelingen en steun. Ook willen we ESA bedanken voor hun steun en financiering voor het beproeven van de levensduur van de schroefspindel. Verder bedanken de auteurs voor de technische bijdragen van adviseurs en leveranciers die allemaal op vruchtbare wijze hebben bijgedragen aan de ontwikkeling van het REM.

### Referenties

1. B.C. Braam et al., 'The pre-development of the Aristoteles calibration mechanism', *5<sup>th</sup> European Space Mechanisms and Tribology Symposium*, ESA SP-344, pp. 129 – 136 (1993).
2. M.P. Koster, 'Constructie Principes', *Lecture book 113136 Universiteit Twente, Enschede, NL*.
3. M.N. Boneschanscher, 'Rotation performance of monolithic flexural hinges', *TNO-TPD report (1995)*.