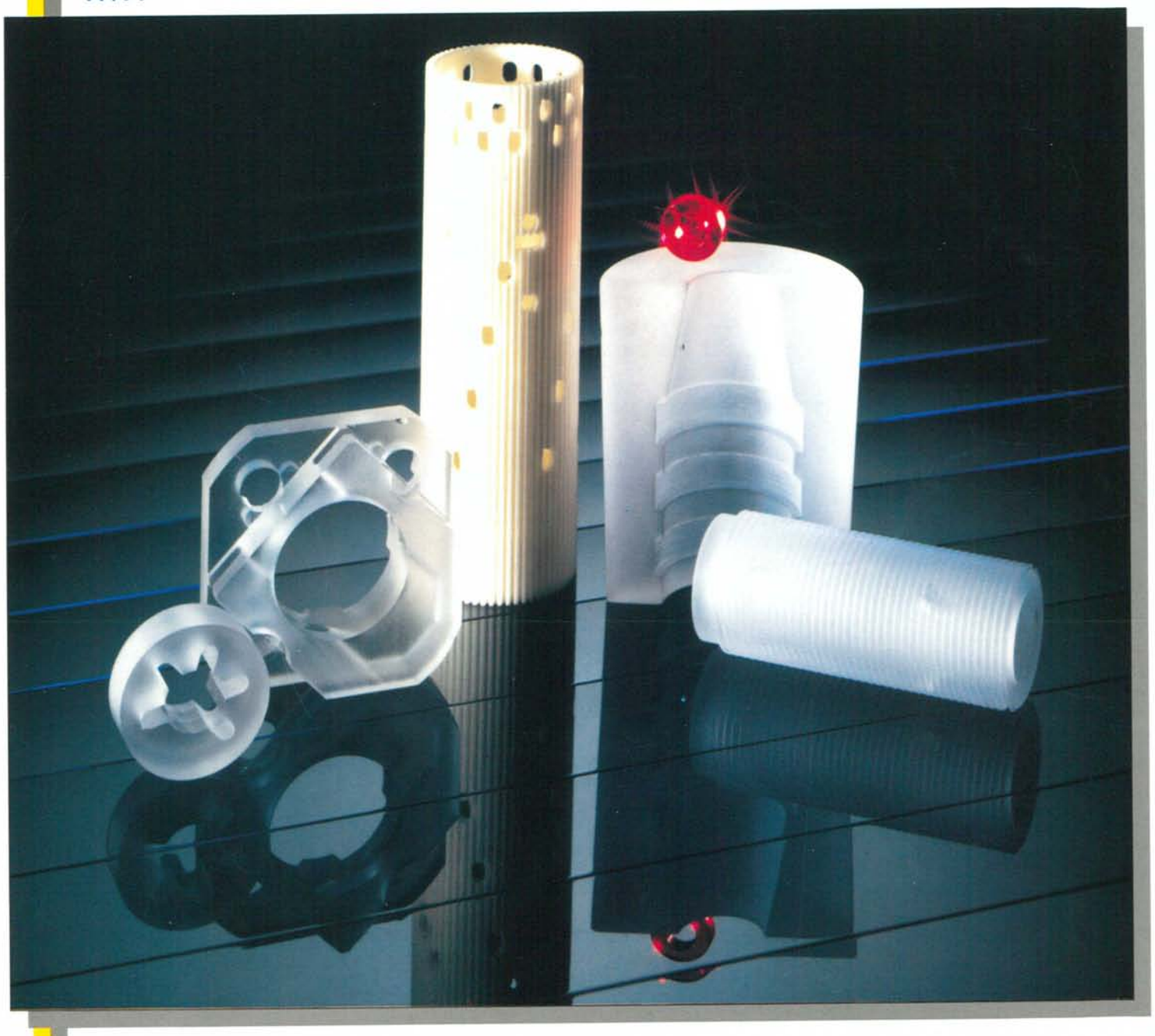
jaargang 32, nummer 6

Mikroniek

NVFT

VAKBLAD VOOR FIJNMECHANISCHE TECHNIEK



Saffier en robijn – Herkalibratietermijn
Supergladde vlakken – Veiligheid bij lasers
Manipuleren en instellen

Moderne CAD-CAM-technieken

Dinsdag 15 december 1992 te Utrecht.
Themamiddag en -avond georganiseerd door de regionale werkgroepen Utrecht en Gelderland met medewerking van CAD-Services.

Middagprogramma
14.45 Ontvangst met koffie
15.00 - 17.00 uur CAD + CAM.
De voordelen van een geïntegreerde werkwijze en het werken met één produktmodel. Voordracht en demonstratie met Personal Designer (CAD) en Personal Machinist (CAM). Deze 3D CAD-CAM-software is zowel geschikt voor gebruik op werkstations als op PC's. In een netwerk kunnen datafiles van de tekeningen door beide systemen verwerkt worden.

Avondprogramma
17.30 - 19.00 uur Nieuwe CAD modelleertechnieken.
Een overzicht van de nieuwe trends aan de hand van CADDS 5:
- parametergestuurde CAD modellen (parametric modelling)
- standaard bewerkingen, tapgat, etc. (feature based modeling)
- CAD-model getuurde parametrische relaties (constraint based modelling)
- standaard onderdelen genereren met parameters voor families van varianten (variant based modeling).

19.00 - 19.30 uur Discussie.

Kosten: leden f 75, niet-leden f 150, studenten f 25.
Voor broodjes en koffie wordt gezorgd.
Opgave voor deelname:
Werkplaats Fysica RUU, tel: 030-531639 fax: 030-522267 of bij het secretariaat van de NVFT.

Fijnmechanische Constructies

Themadag op donderdag 14 januari 1993 te Leiden
voor de regio's Amsterdam en Leiden

Een praktische dag waarbij theorie en praktijk naast elkaar worden gezet.

Het is moeilijk om van een constructie die voorheen niet bestond de werking te garanderen. Door "principieel" te construeren ontstaat vertrouwen in de aanpak en worden principiële fouten vermeden. Daarmee worden de risico's beperkt en kan een constructie vaak met kleine ingrepen worden aangepast.
Voorbeelden en gerealiseerde constructies worden besproken.

De inleiders, ir. P.C.J.N. Rosielle en ir. P. Brinkgeve (TU Eindhoven) hebben een ruime ervaring in het ontwerpen en fabriceren apparaten en systemen volgens deze methode.

Kosten inclusief lunch: NVFT-leden f 125,
studenten f 50, niet-leden f 250
Aanmelding voor 8 januari 1993
Secretariaat NVFT, Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven
Tel:040-473659, fax: 040 - 460 645

Aanmelding via het opgegeven telefoonnummer of door een kopie van deze ingevulde advertentie te zenden aan het secretariaat van de NVFT.

Hierbij meldt ik mij aan voor
☐ Moderne CAD-CAM technieken op 15 dec. 1992
☐ Fijnmechanische construcies op 14 jan. 1993

Verzenden aan:
Secretariaat NVFT, Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven
of Fax: 040 - 460 645

Naam en voorletters: _____

Bedrijf: _____

Straat: _____

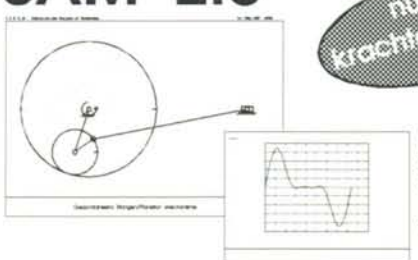
Postcode + plaats: _____

Telefoon: _____

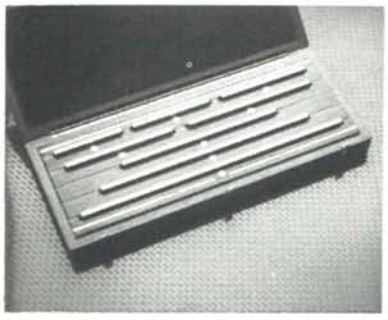
Lidnummer: _____

Datum: _____ Handtekening: _____

Adverteren in
Mikroniek
bel Buro Jet bv
tel: 070 - 3990000
fax: 070 - 3902488

Mechanismen Analyse op de PC
SAM 2.0
nu ook krachten-analyse

Gebruikersvriendelijke analyse van willekeurige stangen- en planetaire mechanismen
v.a. hfl. 599,-
ARTAS - Technical Application Software Het Puyven 162 * 5672 RJ Nuenen * tel/fax 040-837552

In dit nummer



Zie pagina 165

156 Editorial
M.F. Dierselhuis

157 Verenigingsnieuws, feiten, data, mensen

160 Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (9)
P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker, M.P. Koster

165 Toekenning van herkalibratietermijnen
J.W. van Beek

168 Saffier en robijn als modern constuctiemateriaal
M.F. Dierselhuis

172 Veilig werken met lasers
J.G. Siekman

177 Supergladde spiegelvlakken voor de röntgenastronomie-satelliet ROSAT
E. Heynacker, B. Aschenbach

182 Produktinfo

Zie pagina 168

Zie pagina 172

Zie pagina 177

Bij de omslagfoto:
Compositie van produkten uit technische keramiek. (Foto Micro*Montage, Soest.)

INDUSTRIËLE MEETTECHNIEK

CARL ZEISS

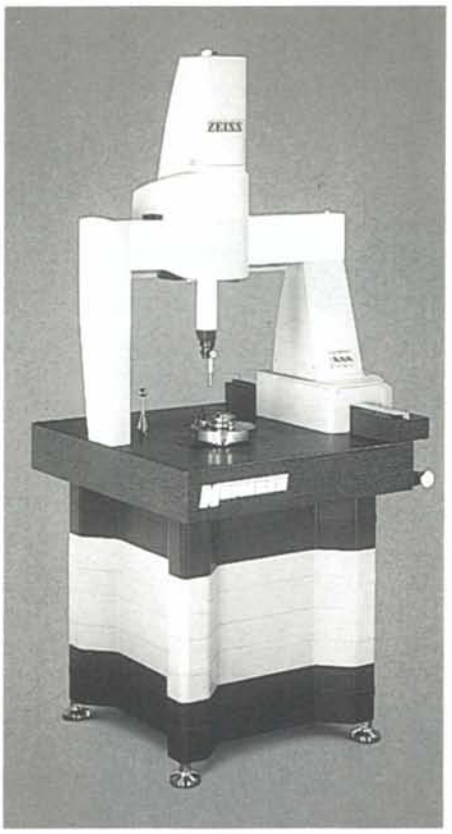
Met ingang van 1 januari 1993
is de 3-D meettechniek van

NUMEREX
EN CARL ZEISS

onder één dak bij:

CARL ZEISS B.V.
postbus 323
1380 AH Weesp

Voor nadere informatie,
02940-66660,
afd. Industriële Meettechniek



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

Polgron Optics and Polishing Techniques is de enige onderneming in Nederland die zelfstandig hoognauwkeurig polijstwerk verricht. Het polijsten van produkten met een oppervlakteruwheid van Ra 0,001 tot 0,002 micrometer en een vormnauwkeurigheid van 0,03 micrometer is met de door ons ontwikkelde techniek niet alleen haalbaar voor vlakke, maar zelfs voor sferische en a-sferische vormen. Die kunst laten we niet afkijken. Evenmin gunnen we u een blik op prototypes of matrijzen van de meest gerenommeerde bedrijven die bij ons op de werkbank kunnen staan. Wellicht voor u juist de verzekering dat uw opdracht bij Polgron in goede handen is.

POLGRON
OPTICS & POLISHING TECHNIQUES
Het grove onderscheid op 0,002 micrometer

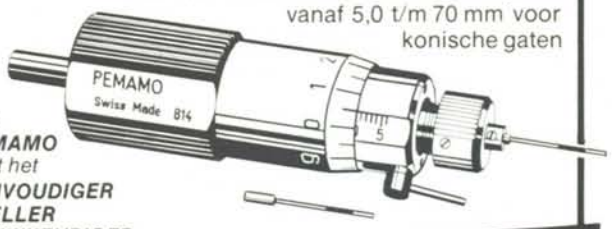
Zernikepark 2-4, 9747 AN Groningen, tel. 050-7437 58 fax 050-634596

PEMAMO Precisie Hoonapparatuur
vanaf 0,6 mm

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

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

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



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

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

Editorial

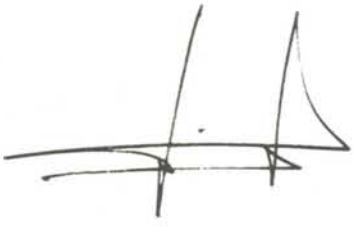
Anti-cyclisch denken

Nederland is een welvarend land.
Dat moeten we zo zien te houden.
Daarvoor is het echter nodig dat wij buiten de geldmachine die onze gasvoorraad is en onze handelsactiviteiten waarmee we geld en goederen rondpompen ook moeten beschikken over een zelfscheppende industrie.
Daarbij zal het MKB een belangrijke rol moeten kunnen vervullen.

De ontwikkelingen die daarbij op ons afkomen zijn ondermeer:
- de technologische evolutie, waarbij nieuwe materialen, nieuwe bewerkingstechnologien en vooral de interdisciplinaire aanpak om tot succesvolle produkten te komen van doorslaggevend belang zullen zijn;
- de noodzaak tot de opbouw van een infrastructuur van samenwerkende bedrijven en kenniscentra, die in de verschillende disciplines van de fijnmechanica, mechatronica, optica en elektronica excelleren;
- de noodzaak tot bezinning welke produkten ons voldoende concurrentievoordeel opleveren ten opzichte van de lage- lonen landen in het Oostblok en de combinatie van lage lonen en een hoogwaardige interdisciplinaire infrastructuur in het Verre Oosten (Manilla, Philipijnen, Maleisie).

In dit nummer van Mikroniek wordt wederom aandacht besteed aan nieuwe materialen. Maar wat doen we er mee?
Zijn wij in staat anti-cyclisch te denken en de tijden van laagconjunctuur te benutten voor het ontwikkelen van produkten die ons in een periode van hoogconjunctuur helpen een financiële buffer te kunnen vormen?
Helaas is het maar al te vaak zo dat ontwikkelingsinspanningen een van de eerste postenkosten vormen waarop bezuinigd wordt als de conjunctuur terugloopt.

De toepassing van nieuwe materialen biedt ons nieuwe kansen, maar vormt tevens een bedreiging als de toepassingskennis onvoldoende is.
Als de artikelenreeks in Mikroniek ertoe bijdraagt dat kennis en inzicht worden vergroot en men daarnaast het gebodene creatief weet om te zetten in iets nieuws, dan ontstaat daaruit de mogelijkheid anti-cyclisch te handelen.



Marcel F. Dierselhuis.

Uitgave:
NVFT

Redactie:
Dr. Ing. D. Blank
Ir. S. van de Graaf (hoofd redactie)
Drs. K.J. Groenewolt
H.M.C. Heubers
Ir. P.C.J.N. Rosielle
H.G.J. Rutten
Ir. J.J. Veerman
G.J. Verschragen

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

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

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

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

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

Vormgeving:
Jurriaan Bol Design, Son

Lay-out en realisatie:
Twin Design B.V.
Oostersingel 35a
4101 GH Culemborg
Telefoon: 03450-19525
Fax: 03450-13480

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

Verenigingsnieuws/Actueel

Moderne CAD-CAM-technieken

Themamiddag en -avond op dinsdag 15 december 1992 te Utrecht, georganiseerd door de regionale werkgroepen Utrecht en Gelderland met medewerking van CAD-Services.

Middagprogramma
14.45 Ontvangst met koffie
15.00 - 17.00 uur CAD + CAM.
De voordelen van een geïntegreerde werkwijze en het werken met één produktmodel. Voordracht en demonstratie met Personal Designer (CAD) en Personal Machinist (CAM). Deze 3D CAD-CAM-software is zowel geschikt voor gebruik op werkstations als op PC's. In een netwerk kunnen datafiles van de tekeningen door beide systemen verwerkt worden.

Avondprogramma
17.30 - 19.00 uur Nieuwe CAD modelleertechnieken.
Een overzicht van de nieuwe trends aan de hand van CADDS 5:
- parametergestuurde CAD modellen (parametric modelling)
- standaard bewerkingen, tapgat, etc. (feature based modelling)
- CAD-model getuurde parametrische relaties (constraint based modelling)
- standaard onderdelen genereren met parameters voor families van varianten (variant based modelling).

19.00 - 19.30 uur Discussie.

Kosten: leden f 75, niet-leden f 150, studenten f 25.
Voor broodjes en koffie wordt gezorgd.
Opgave voor deelname Werkplaats Fysica RUU, tel: 030-531639 fax: 030-522267 of bij het secretariaat van de NVFT, tel: 040-473659 fax: 040-460645.

Vorm- en plaatstoleranties

Cursus, vier ochtenden van 8.00 tot 12.00 uur op 15, 16, 17 en 18 december 1992 te Utrecht.
Bestemd voor: constructeurs, meettechnici, fabricagetechnici en instrumentmakers.
Wat komt er op tekening, hoe wordt het gemaakt, hoe wordt het gemeten en hoe wordt beoordeeld of aan de eis is voldaan?
Inhoud:
- symbolen en begrippen,
- oefening,
- toegepaste meettechniek,
- referentiesysteem,
- maximum, minimum materiaaltoestand,
- E en I systeem.

Theorie wordt afgewisseld met oefeningen en voorbeelden uit de praktijk.
Het aantal deelnemers is maximaal 15.
Kosten:
Leden NVFT f 525 niet-leden f 675
Aanmelding:
Secretariaat NVFT.
Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven,
Tel: 040-473659, fax: 040-460645.

Euregionale beurs

Tweedaagse beurs op woensdag 20 en donderdag 21 januari 1993;
georganiseerd door de "NVFT regionale wergroep Twente" en het "Twents MBO-College"
Nederlandse en Duitse fijnmechanische bedrijven exposeren ter gelegenheid van de start van de MBO-opleiding "Fijnmechanische Techniek". Fijnmechanische Techniek vormt een belangrijke industriële sector in Twente en omgeving.
Plaats: Twents MBO-College, lokatie Hofstede, Industrieplein 2 te Hengelo.
Voor nadere informatie:
P.F. van der Zanden
Robert Kochstraat 3
7555 AM HENGELO
Tel: 074-919632 (huis) of
074-443604 (AKZO).

Fijnmechanische constructies

Themadag op donderdag 14 januari 1993 te Leiden voor de regio's Amsterdam en Leiden

Een praktische dag waarbij theorie en praktijk naast elkaar worden gezet.

Het is moeilijk om van een constructie die voorheen niet bestond de werking te garanderen. Door "principieel" te construeren ontstaat vertrouwen in de aanpak en worden principiële fouten vermeden. Daarmee worden de risico's beperkt en kan een constructie vaak met kleine ingrepen worden aangepast.
Voorbeelden en gerealiseerde constructies worden besproken.

De inleiders, ir. P.C.J.N. Rosielle en ir. P. Brinkgeve (TU Eindhoven) hebben een ruime ervaring in het ontwerpen en fabriceren apparaten en systemen volgens deze methode.

Kosten inclusief lunch:
NVFT-leden f 125, studenten f 50, niet-leden f 250
Aanmelding: voor 8 januari 1993
Secretariaat NVFT,
Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven
Tel:040-473659, fax: 040 - 460 645

Engineering toepassingen in kunststoffen

Themaavond op donderdag 21 januari 1993 te Hilversum, georganiseerd door de regionale werkgroepen Utrecht en Gelderland.
Kosten: leden f 25, niet-leden f 50, studenten gratis.
Opgave voor deelname:
Secretariaat NVFT,
Tel: 040-473659 fax: 040-460645.

Nieuwe leden

Wij verwelkomen de volgende nieuwe leden:

Bedrijfsleden

Regio Twente
POLGRON BV, Groningen,
Ing. J.L. Broers,
E. de Haas.

Regio Utrecht
RUU Wpl. Fysica, Utrecht,
Ing. F.J. de Wit.

Persoonlijke leden

Regio Amsterdam
H.M. Beukers, Zwaag.
A. van Wijngaarden, Heilo, EGONA Instruments.

Regio Eindhoven
J.M.P.C. van Asten, Eindhoven, TUE.

H.M.A. Oosterbeek, Waalre.
Ing. H.M.J. Urlings, Born.

Regio Leiden
H.M.G. van Oorschot, Schiedam.
F.T.J. Poot, Maasland.
M.T. van Tongeren, Oegstgeest.

Regio Twente
D. Schipper, Enschede.
P.G. van de Veen, Enschede, P.G. van de Veen Consultancy.

Aspirant leden

Regio Utrecht
J.W. de Graaf, Ameide.
F. Pol, Utrecht.
N. de Water, Utrecht.

Regionale Werkgroep Amsterdam

Laser meettechniek

Verslag van de themaavond in de regio Amsterdam op 29 oktober 1992.
Gast was de firma Geveke Electronics waar medewerkers de laser meettechniek behandelden. Een moderne methode van contactloos meten, detecteren en vergelijken. Lasersensoren van het fabrikaat Keyence zijn eenvoudig in te bouwen in meetopstelllingen en besturingssystemen en kunnen gebruikt worden voor hoogte-, hoogteverschil-, excentriciteits- en diktemetingen. De sensor bestaat uit een halfgeleiderlaser die in verschillende uitvoeringen leverbaar is. De laser geeft een enkelvoudige laserbundel met een diameter van 0,005 mm. Hiermee kunnen verplaatsingen en hoogteverschillen in een oppervlak bepaald worden. Dit kan met een nauwkeurigheid van 0,001 mm, waarbij het hoogteverschil 1 mm mag zijn.
Tevens levert Geveke laserscansystemen. Dit meetinstrument maakt gebruik van een enkelvoudige laserbundel waarmee een lijnenpatroon wordt gescant. Op deze wijze kunnen dimensies van contouren kunnen worden bepaald door dit lijnenpatroon te laten snijden met het te meten vlak. Naar verwachting zal deze wijze van contactloos meten in de toekomst veel toepassingen vinden.
De avond werd besloten met een woord van dank aan de enthousiaste medewerkers van de firma Geveke Electronics.

W. Mels.

TON NEUTEBOOM †

Op 5 november is Ton overleden in de leeftijd van 62 jaar, zonder tot bewustzijn te komen na het tragische auto-ongeluk april '91. De grote belangstelling bij zijn crematie, uit heel Nederland, spiegelde de rouw en waardering van collega's en vakgenoten.
De gevoelens zijn treffend samengevat in de aanhef van de herdenking door zijn directeur prof. dr. Frans Saris:
"Ik moet denken aan een foto die ooit gemaakt is van het eerste team, de ploeg die van de Hoogte Kadijk is verhuisd naar de Kruislaan. De mensen die het FOM-lab in de Watergraafsmeer dezelfde plaats in de natuurkundige wereld hebben bezorgd die Ajax inneemt in de sportwereld, zowel binnen Nederland als daarbuiten. In mijn ogen een voetbalelftal met Ton Neuteboom als doelman. Hij was geen haantje de voorste. Hij stond in de achterhoede, een stevige keeper die je niet zo maar omver duwt, die het spel overziet en niet in paniek raakt. Met grote, gretige handen grijpt hij de bal en brengt hem met een ferme trap weer in het spel. Met rustige aanwijzingen stimuleert hij de spelers in de achterhoede om naar voren te gaan".

Deze woorden zijn hier aangehaald omdat ze precies de betekenis van Ton in de opeenvolgende instrumentmakersverenigingen verwoorden. In het bijzonder tijdens de verantwoordelijke bestuursfunctie als penningmeester, rondom de omzetting van de NVEI in de sectie EI van de vereniging Mikron (de huidige NVFT). Dat de Regio Amsterdam floreerde met diverse comités kwam door een altijd alerte doelman. Ton, technieken in je werkplaats dienden ons dikwijls als voorbeeld, maar het liefst herinneren wij je toch al de behulpzame collega. Onze dank.

H. Heubers.

"Beter keuzes maken" in kunststoffen en oppervlaktebehandelingen.

Voorlichtingsavonden van de Bond van Materialenkennis op de onder aangegeven data.
Doel: trends aan te geven in de toepassing van nieuwe materialen en bewerkingstechnieken.
Bestemd voor: ondernemers en technici van kleine en middelgrote bedrijven die te maken hebben met het ontwerp, de vervaardiging en het onderhoud van produkten op het gebied van de werktuig-, civiele en woningbouw.

De bijeenkomsten worden op twintig over het land verspreide lokaties georganiseerd. Per regio worden slechts twee avonden belegd. Op de eerste avond (sessie "1") wordt aandacht besteed aan:
- vormgevingstechnieken voor kleine series en met lage investeringskosten van kunststofprodukten en
- oppervlaktebehandeling met diffusie- en CVD-technieken

en op de tweede avond (sessie "2") aan:
- systematisch ontwerpen in kunststoffen en
- nieuwe deklagen tegen atmosferische invloeden.

Tijdens de bijeenkomsten zullen bedrijven uit de regio hun mogelijkheden op de genoemde gebieden exposeren. Aan het einde van de avond zal een informatiepakket uitgereikt worden. De avonden, die nagenoeg alle om 19.00 uur beginnen, worden op de volgende plaatsen en data gehouden:

Heerhugowaard	21-01-93	2)
Utrecht	26-01-93	2)
Amsterdam	02-02-93	1)
Haarlemmerliede	04-02-93	1)
Delft	09-02-93	2)
Rotterdam	11-02-93	1)
Groningen	16-02-93	1)
Dordrecht	18-02-93	2)
Vlissingen	04-03-93	1)
Breda	09-03-93	2)
's-Hertogenbosch	11-03-93	1)
Roermond	16-03-93	1)
Heerlen	18-03-93	2)
Apeldoorn	30-03-93	2)
Hengelo	06-04-93	1)
Zwolle	15-04-93	2)
Emmen	27-04-93	2)
Leeuwarden	27-04-93	2)

De toegangsprijs bedraagt *f* 25,— per persoon.

Nadere inlichtingen:
Bond voor Materialenkennis
Postbus 390
3330 AJ Zwijndrecht.
Telefoon: 078 - 192 655.
Fax: 078 - 195 735.

PATO-cursussen

Systematisch ontwerpen in een multidisciplinaire omgeving.

Vierdaagse cursus op 19, 20, 26 en 27 januari in Utrecht.
Doelstelling: inzicht verschaffen in en methoden aanreiken voor het structureren van multidisciplinaire projecten. Centraal staan beheersbaarheid en kwaliteit.
Bestemd voor: technische ingenieurs die deelnemen of leidinggeven aan multidisciplinaire projecten.
Cursusleider: ir. M.F.A. van Schaik.
Deelnamekosten: *f* 2.975,—.

Numeriek optimaliseren van constructies naar mechanisch gedrag.

Vijfdaagse cursus op 12, 19, 26 januari en 2 en 3 februari 1993 in Eindhoven.
Doelstelling: het vertrouwd maken met de belangrijkste aspecten en werkwijzen bij het numeriek optimaliseren door middel van oefenproblemen welke deels met behulp van een computer worden opgelost. Er wordt een overzicht gegeven van de momenteel beschikbare software.
Bestemd voor: ingenieurs (TU/HTO) of personen met een gelijkwaardige opleidingsniveau, die de aangeboden technieken willen gaan toepassen of die een overzicht wensen te krijgen van up-to-date mogelijkheden voor optimaliseren.
Cursusleider: dr. ir. A.J.G. Schoofs (TU Eindhoven).
Deelnamekosten: *f* 1.650,—.
Voor deelnemers uit onderwijsinstellingen *f* 1.215,—.

Voor nadere informatie over deze cursussen:
Bureau Stichting PATO
Postbus 30424
2500 GK Den Haag.
Telefoon: 070 - 3 644 957.

Kunststoffen, uit de kunst of uit de gunst?

Symposium op woensdag 17 februari 1993, aula TU Delft, georganiseerd door de Bond voor Materialenkennis en o.a. de TU Delft.
Het **programma** omvat acht lezingen, waarbij de volgende thema's aan de orde komen:
- Hoogwaardige nieuwe kunststoffen;
- Niet-alledaagse toepassingen;
- Ontwerpen op duurzaamheid en hergebruik;
- Nieuwe mogelijkheden van hergebruik.

Bestemd voor: gebruikers, ontwerpers, producenten en allen die de mogelijkheden van nieuwe toepassingen en hergebruik willen leren kennen.

Voor nadere informatie:
Bond voor Materialenkennis
Postbus 390
3330 AJ Zwijndrecht
Telefoon: 078 - 192 655
Fax: 078 - 195 735.

Samenwerking Het Instrument en RAI.

De sector Industriële elektronica van de tentoonstelling Het Instrument wordt naar de vakbeurs Electronics verplaatst, hetgeen betekent dat Electronics vanaf 1993 de enige professionele elektronicavakbeurs in Nederland is.
Dit tweejaarlijkse evenement wordt georganiseerd door RAI Gebouw bv in nauwe samenwerking met het bureau van de Federatie Het Instrument.
Electronics 93 vindt plaats van **30 maart tot en met 2 april 1993** in het RAI Tentoonstellings- en Congrescentrum in Amsterdam.

Op het ogenblik zijn de voorbereidingen voor Electronics 93 in volle gang. Het expositieprogramma is door de uitbreiding met de sector industriële elektronica verbreed met onder andere testen meetapparatuur en omvat nu alle facetten van de industriële elektronica.
Een nieuw element is dat het meer dan voorheen gericht zal zijn op het laten zien van elektronicatoepassingen. Elektronics 93 gaat vergezeld van een professioneel congres in de vorm van technologie-ochtenden.

Verder is overeengekomen dat het expositieprogramma van de tentoonstelling Het Instrument zich concentreert op Industriële automatisering en Laboratorium technologie en het onderdeel Industriële automatisering van Het Instrument wordt uitgebreid met Produktie automatisering.
Samenvattend: alle industriële elektronica wordt nu geëxposeerd op Electronics en alle industriële automatisering op Het Instrument. Electronics wordt gehouden in de oneven jaren en Het Instrument in de even jaren. het Instrument '94 wordt van 11 tot en met 15 april 1994 georganiseerd in de Jaarbeurs in Utrecht.

Opleiding & beroep 1993.

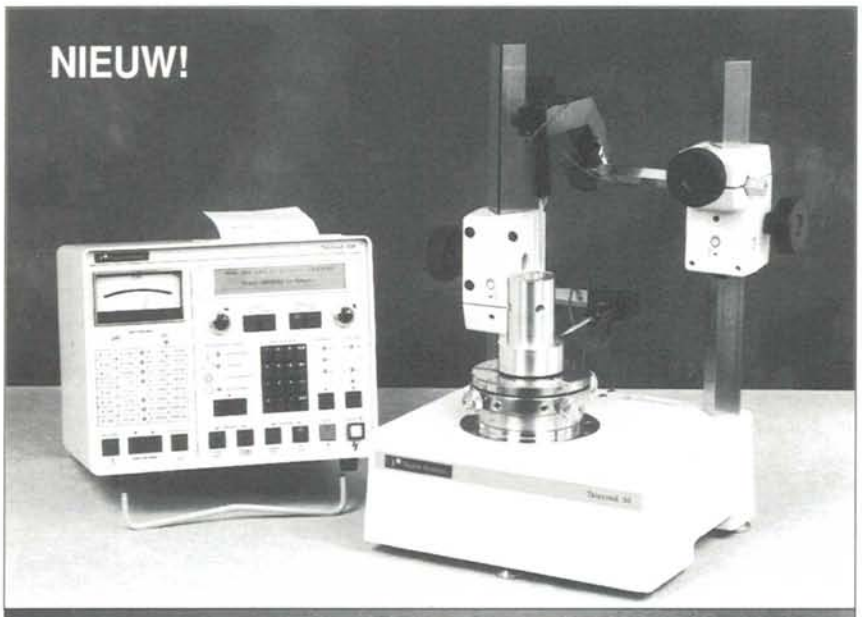
Beurs, van donderdag 21 tot en met zondag 24 januari 1993, Beursgebouw Eindhoven, georganiseerd door Inter-Expo & Media.
Doel: het samenbrengen van bedrijven en instellingen met jeugdigen, mannen en vrouwen die op zoek zijn naar (ander) werk en verdere opleidingsmogelijkheden, om op die manier een maatschappelijke carrière op- en uit te bouwen of die zich willen oriënteren op het aanbod van banen en beroepen.

Opleiding en Beroep '93 zal bestaan uit twee hoofdonderdelen waarbinnen weer verdere indeling naar soort en niveau, zodat gelijkwaardige bedrijven en instellingen zoveel mogelijk bij elkaar staan en via bewegwijzering ook duidelijk herkenbaar zijn voor de bezoeker:
Banen en beroepen en scholing en onderwijs:
Een prima kans om de bezoeker kennis te laten maken met diverse beroepen en/of te interesseren in vacatures op diverse niveaus. Voor personen en bedrijven: Arbeidsbemiddeling en Uitzendorganisaties. Bemiddeling op het gebied van personeel, zoals arbeidsbureaus, uitzendorganisaties en personeelskeuzebureaus. Personeelsbemiddelen, vacatures op lager, middelbaar en hoger niveau, met of zonder werkervaring gevraagd. Mogelijkheden voor schoolverlaters. Technische en administratieve beroepen, banen in dienstverlening en gezondheidszorg, enz.
Banenbeurs:
Bedrijven met vacatures, potentiële werkgevers, worden in staat gesteld in contact te komen met geschikte kandidaten die zich willen oriënteren en informeren, hetzij afstuderenden aan beroepsonderwijs en universiteit, hetzij ervaren en gekwalificeerde personen.

Voor nadere informatie:
InterExpo & Media
Postbus 6388
5600 HJ Eindhoven.
Telefoon: 040 - 464 601.
Fax: 040 - 464 611.

RANK TAYLOR HOBSON
RENISHAW

- ELEKTRO-OPTISCHE INSTRUMENTEN
- RENISHAW LASERINTERFEROMETER
- ELEKTRONISCHE WATERPASSEN
- VORM- EN RUWHEIDSMETERS
- AUTOCOLLIMATORS
- RONDHEIDSMETERS
- UITLIJNKIJKERS
- CLINOMETERS



Talyrond 30

Zeer nauwkeurige, luchtgelagerde rondheidsmeter voor in de meetkamer en op de werkplek.

Basisprijs: fl. 26.000,--*)

Surtronic 3+

Portable ruwheidsmeter, 5 parameters, incl. printer.

Basisprijs: fl. 4.900,--*)

**) Afhankelijk van de wisselkoers*

Schut Rotterdam

partners in precisie

- Info bovengenoemde instrumenten
- Demo's in het eigen laboratorium (NKO-erkenning Nr. 060)
- Aflevering
- Installatie
- Instructie
- Praktische ondersteuning
- Onderhoud
- Topkwaliteit voor een faire prijs

SGM

Schut Geometrische Meettechniek bv
Innsbruckweg 43, 3047 AG Rotterdam
Telefoon 010-4 15 43 34 / Telefax 010-4 15 41 98

SGM is gevestigd in Nederland, Duitsland, Zwitserland, België en Frankrijk.
Ons Meettechnisch Centrum bevindt zich in Rotterdam

769-226

Manipuleren en instellen (deel 1)

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (9)

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

Manipuleren en instellen

Om de positie van een star lichaam in de 3D-ruimte aan te geven zijn 6 onafhankelijke coördinaten nodig. Deze onafhankelijke coördinaten zijn de graden van vrijheid. Het instellen van de positie houdt in het vastleggen van deze graden van vrijheid ten opzichte van een ander lichaam.
Vaak stelt men hoge eisen aan de nauwkeurigheid van de instelling. Het instellen geschiedt dan door tussenkomst van een manipulator. Het lichaam wordt in de manipulator geplaatst; het staat dan reeds in de buurt van de bedoelde plaats. Daarna wordt het over relatief kleine slagen en hoeken, naar de juiste plaats *gemanipuleerd*. Tenslotte volgt de *overname*, vanuit de manipulator naar de omgeving ten opzichte waarvan werd gepositioneerd, waarbij het de bedoeling is dat deze overname, c.q. fixatie, zonder plaatsverandering geschiedt.

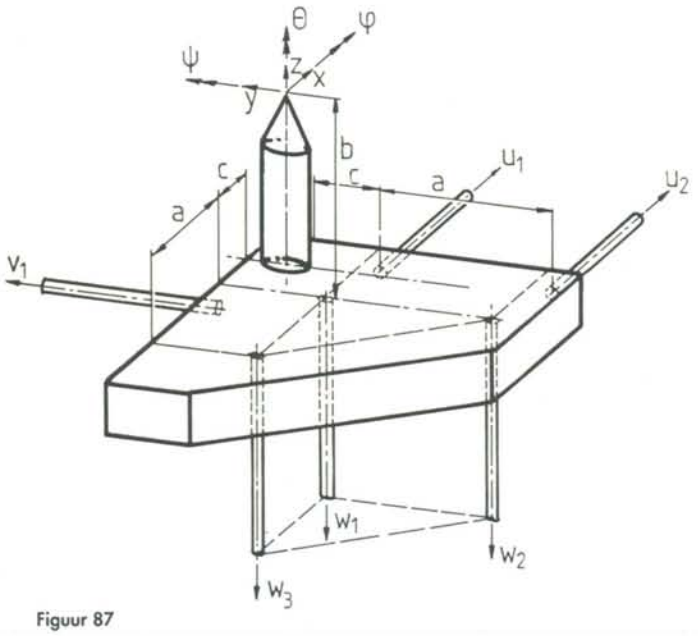
Instelprocedure

In figuur 87 is een manipulator afgebeeld, waarmee men de coördinaten x, y, z, ϕ, ψ en θ, de vrijheidsgraden van het te positioneren lichaam, wil instellen door het geven van de ingaande verplaatsingen u_1, u_2, v_1, w_1, w_2 en w_3.
Wanneer men de uitgaande verplaatsingen $(x, y, z, \phi, \psi, \theta)$ *achtereenvolgens* bepaalde waarden wil geven, dan ontstaat bij deze manipulator een probleem. Elk van de uitgaande verplaatsingen is namelijk een functie van *alle* ingaande verplaatsingen.
Wil men een bepaalde grootheid instellen, dan is ten eerste niet duidelijk welke ingaande verplaatsingen men zal verrichten en in welke mate. Ten tweede worden bij de instelling van een uitgaande coördinaat de reeds verrichte instellingen verstoord. Zodoende wordt het instellen een iteratief proces. De vraag doet zich voor of er een instelprocedure te vinden is, en zo ja, of er een is die snel naar het gewenste doel voert; met andere woorden of de instelprocedure convergerend is en in welke mate.

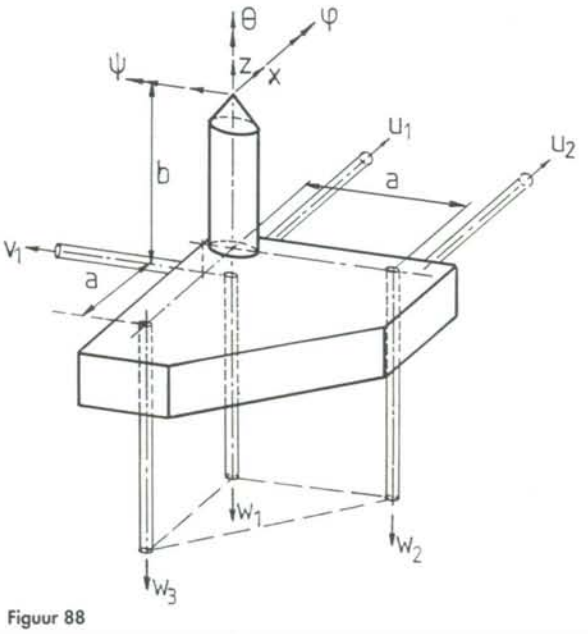
Convergerende instelprocedure

Bij *achtereenvolgens* instellen (met de hand), zal men de dan verlangde sterke convergentie van de instelprocedure slechts kunnen bereiken, als elke volgende instelling de reeds gepleegde instellingen niet verstoort. Dat is het geval als de manipulator zodanig is geconstrueerd dat elke ingaande beweging, die voor de eerste keer tijdens de instelprocedure wordt bewogen, verantwoordelijk kan worden gesteld voor slechts één uitgaande coördinaat. Figuur 88 toont een dergelijke manipulator, die uit figuur 87 is ontstaan door $c = 0$ te maken. Door het kiezen van een geschikte procedure behoeft er slechts één iteratieslag te worden gemaakt. Bijvoorbeeld, stel z in met w_1 daarna ϕ met w_2 dan ψ met w_3 dan x met u_1, dan y met v_1, dan tenslotte θ met u_2. Er zijn nog meer goede mogelijkheden: bijvoorbeeld $z, \psi, \phi, y, x, \theta$ of $z, \psi, x, \phi, y, \theta$ of $z, \phi, y, \psi, x, \theta$.

Een welbekend voorbeeld van een convergerende instelprocedure is het instellen van de ontsteking van een benzinemotor. De twee in te stellen vrijheidsgraden zijn de contacthoek (de lichthoogte) en het onstekingstijdstip. Men *begint* met het instellen van de lichthoogte, door het vaste contact over de grondplaat te verschuiven. Daarna wordt de, om de nokkenas gecentreerde, grondplaat verdraaid om het tijdstip in te stellen. Deze laatste instelling wijzigt de vorige niet (als de grondplaat met een voldoende nauwkeurige passing is gecentreerd en de nokkenas voldoende weinig speling heeft).



Figuur 87



Figuur 88

Transformatiematrix

Bij een manipulator kan men een vector (pijl) definiëren die bestaat uit componenten in een zelf gekozen volgorde in een kolom. De componenten stellen de ingaande beweging voor. Bijvoorbeeld kiezen we bij figuur 87 (schematische voorstelling van een manipulator) de vector

$$q_i = \begin{vmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ u_2 \end{vmatrix}$$

Ook de positie van de uitgaande beweging is vast te leggen door het kiezen van een vector, bijvoorbeeld:

$$q_u = \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \\ \varphi \\ \psi \\ \theta \end{vmatrix}$$

Iedere (uitgaande) component van q_u is te schrijven als een zogenaam de lineaire combinatie van alle ingaande vectorcomponenten.
Bijvoorbeeld:
$x = A_{11} \cdot u_1 + A_{12} \cdot v_1 + A_{13} \cdot w_1 + A_{14} \cdot w_2 + A_{15} \cdot w_3 + A_{16} \cdot u_2$ waarin A_{11} t/m A_{16} getallen zijn die aangeven in welke mate X afhangt van de betreffende component van q_i. Voor de altijd kleine verplaatsingen die bij manipulatoren aan de orde zijn, geldt bij figuur 87:

$A_{11} = \frac{c+a}{a}$, $A_{12} = 0$
(X is dus niet afhankelijk van V_1.)
$A_{13} = \frac{-b}{a}$, $A_{14} = 0$
(X is dus niet afhankelijk van W_2.)
$A_{15} = \frac{b}{a}$, $A_{16} = \frac{-c}{a}$

A_{11} t/m A_{16} zijn dus uitgedrukt in de afmetingen a, b, c die voor de manipulator figuur 87 bekend verondersteld worden. In het algemeen is er een uit de geometrie af te leiden relatie tussen q_u en q_i. Schrijven we ook de rest op voor figuur 87 dan krijgen we:

$$\begin{aligned}
x &= A_{11}u_1 + A_{12}v_1 + A_{13}w_1 + A_{14}w_2 + A_{15}w_3 + A_{16}u_2 \\
y &= A_{21}u_1 + A_{22}v_1 + A_{23}w_1 + A_{24}w_2 + A_{25}w_3 + A_{26}u_2 \\
z &= A_{31}u_1 + A_{32}v_1 + A_{33}w_1 + A_{34}w_2 + A_{35}w_3 + A_{36}u_2 \\
\varphi &= A_{41}u_1 + A_{42}v_1 + A_{43}w_1 + A_{44}w_2 + A_{45}w_3 + A_{46}u_2 \\
\psi &= A_{51}u_1 + A_{52}v_1 + A_{53}w_1 + A_{54}w_2 + A_{55}w_3 + A_{56}u_2 \\
\theta &= A_{61}u_1 + A_{62}v_1 + A_{63}w_1 + A_{64}w_2 + A_{65}w_3 + A_{66}u_2
\end{aligned}$$

Dit stelsel van zes vergelijkingen kan in een nieuwe notatie worden geschreven.

$$\begin{vmatrix} x \\ y \\ z \\ \varphi \\ \psi \\ \theta \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & A_{25} & A_{26} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} & A_{35} & A_{36} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} & A_{45} & A_{46} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} & A_{56} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} & A_{65} & A_{66} \end{vmatrix} \bullet \begin{vmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ u_2 \end{vmatrix}$$

Deze notatie heet de matrixnotatie en het blok met alle A's daarin heet een matrix. Het is een zogenaamde transformatiematrix (vandaar de naam T) die ons vertelt wat de gevolgen zijn voor de uitgang wanneer wij aan de (ingangs)knoppen van de manipulator draaien. Er bestaat ook een zogenaamde inverse matrix die q_i uitdrukt in q_u.
De inverse van matrix T wordt genoteerd als T^{-1}. Als je die bepaald hebt voor een manipulator dan kun je voor een gewenste uitgaande verstelling de benodigde ingang berekenen. In de volgende aflevering komen voorbeelden van manipulatoren. Je kunt met enige moeite een manipulator zodanig ontwerpen dat de matrix eenvoudig is: bijvoorbeeld zó dat alle componenten (A's) gelijk aan nul zijn behalve die op de zogenaamde hoofddiagonaal (dit zijn de componenten $A_{11}\,A_{22}\,A_{33}\,A_{44}\,A_{55}\,A_{66}$). Qua instellen is het dan gemakkelijk. Helaas is de manipulator dan ingewikkeld en niet erg stijf.
Als alternatief kun je een mechanisch eenvoudige zeer stijve manipulator ontwerpen die dan helaas een ingewikkelde matrix T heeft (weinig of geen termen (A's) gelijk aan nul). Daarover meer concreet in de volgende aflevering.

Transformatiematrix

Voor de omschrijving van het probleem van de instelprocedure en het onderzoek naar de convergentie wordt gebruik gemaakt van de transformatiematrix $[T]$ van de manipulator. Als $[q_i]$ en $[q_u]$ de vectoren zijn van de ingaande respectievelijk de uitgaande verplaatsingen, dan geldt:
$[q_u] = [T]\,[q_i]$.

Een rationele aanpak is, gegeven de beoogde instelling $[q_u]$, de daarbij behorende combinatie van ingangsbewegingen $[q_i]$ te berekenen volgens

$[q_i] = [T]^{-1}\,[q_u]$.

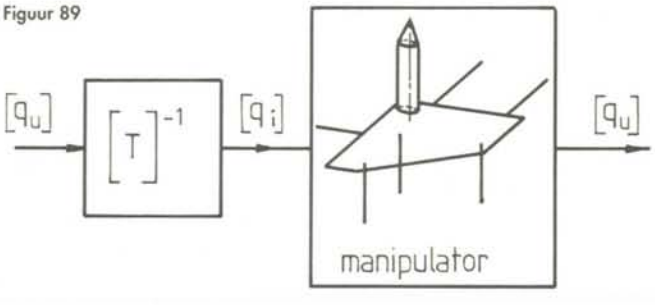
De volgorde waarin men de instelling $[q_i]$ maakt is niet van belang.
De *instelprocedure*, het algoritme, kan men onderbrengen in een microprocessor, zodat het systeem van figuur 89 ontstaat. De communicatie *met de manipulator* geschiedt dan geheel in termen van de uitgaande coördinaten $[q_u]$.

Onafhankelijke instellingen

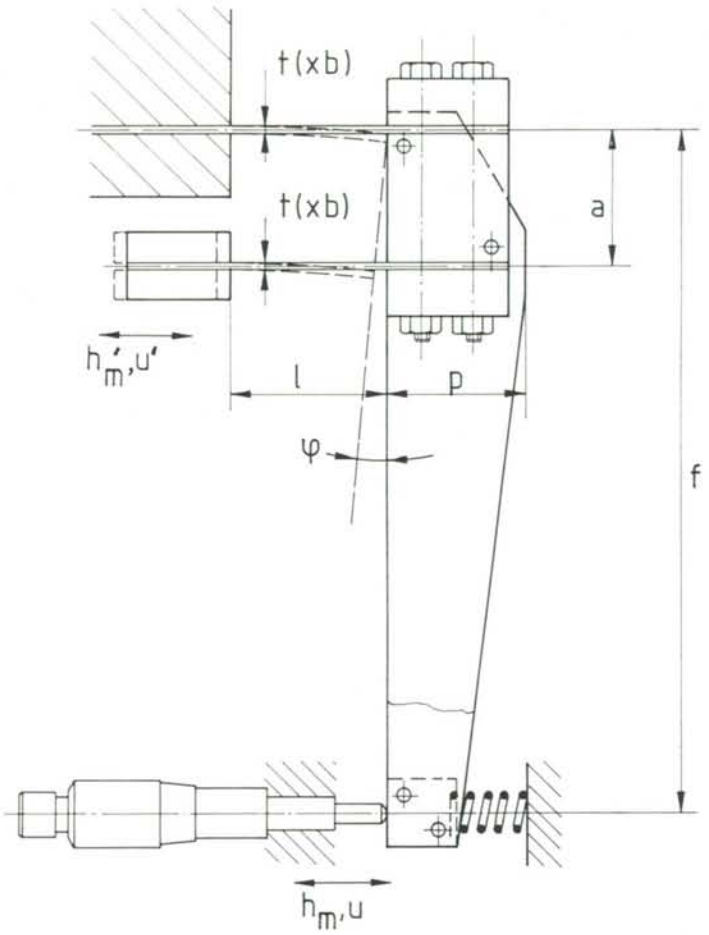
Construeert men een manipulator waarin elke uitgaande coördinaat slechts een functie is van één ingaande, dan zijn alle instelhandelingen onafhankelijk. Van een voorgeschreven instelprocedure is dan geen sprake meer.
Slechts de hoofddiagonaal van de transformatiematrix T is gevuld; er is sprake van volledige ontkoppeling, de instelvolgorde is geheel vrij. De constructie is helaas zeer ingewikkeld.

Men dient zich te realiseren dat de oplossing van figuur 89 ook een volledige ontkoppeling levert. Het alternatief van figuur 89 geeft de constructeur meer vrijheid om een manipulator te construeren die in de gegeven ruimte past, die optimaal is ten aanzien van stijfheid en eenvoudig van opbouw is. Daar staat meer inspanning ten aanzien van de besturing tegenover. Bij het construeren van manipulatoren zal men steeds de afweging moeten maken in hoeverre men ontkoppeling wil en of men de ontkoppeling mechanisch, respectievelijk met behulp van software, dan wel in een mengvorm wil realiseren.

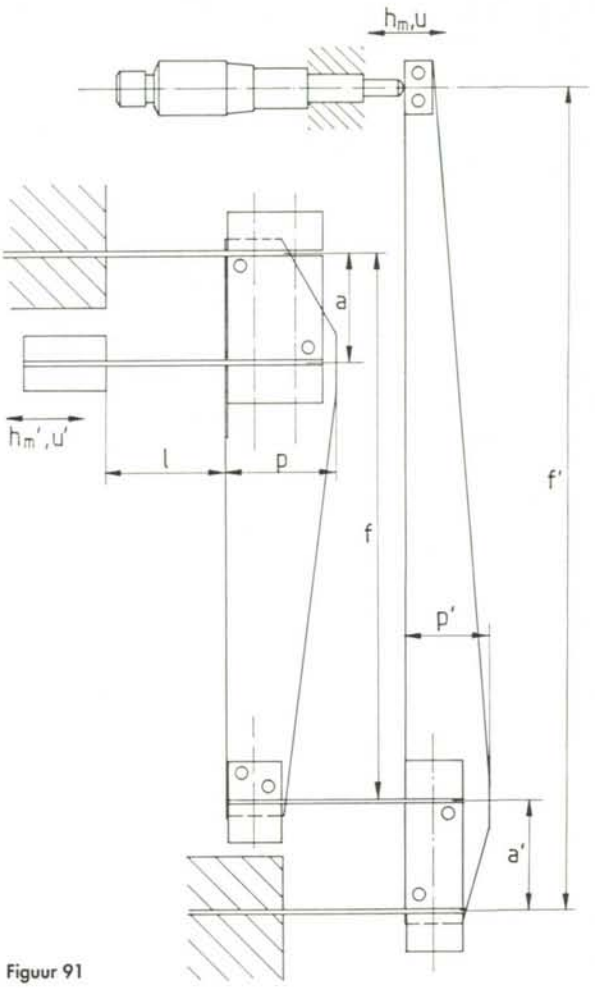
Figuur 89



Manipuleren en instellen (deel 1)



Figuur 90



Figuur 91

Meertrapsinstellingen en actuatorkwaliteit

Bij het ontwerp van een manipulator staat steeds de vraag voorop welke uitgaande slag (h'_m) hij moet kunnen maken en welke daarbij de instelfout ($\pm u'$) mag zijn. Kijken we naar de verhouding plaatsfout/slag
u'/h'_m
dan stellen wij vast, dat deze grootheid niet door de manipulator wordt bepaald. Immers, als i de (constante) overbrengingsverhouding is van een (lineaire) manipulator, dan geldt aan de ingaande kant: $u = u'/i$ en $h_m = h'_m/i$, zodat
$u'/h'_m = u/h_m$.

Tabel 1

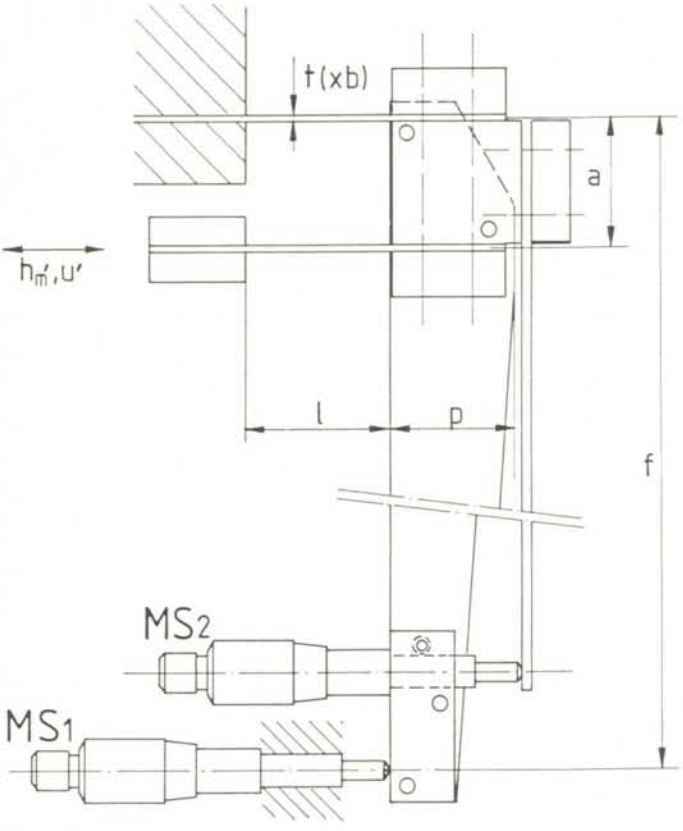
Actuator	Slag h_m [mm] of [rad]	Instelfout u[mm] of [rad]	$\left[\frac{u}{h_m}\right]_{act}$
stelschroef)	20 mm)	25.10^{-3} (20°,spoed 0,5 mm)	$1,25.10^{-3}$
schroefmaat	25 mm	10.10^{-3} mm	4.10^{-4}
motormike*	20 mm	10^{-3} mm	5.10^{-5}
stappenmotor	—	200 st/omw = 3.10^{-2} rad	0
gelijkstroommotor met optische encoder	—	1000 st/omw = 6.10^{-3} rad	0

*Dit is een gelijkstroommotor plus tandwielkast van circa 500:1 gekoppeld aan een schroefmaat.

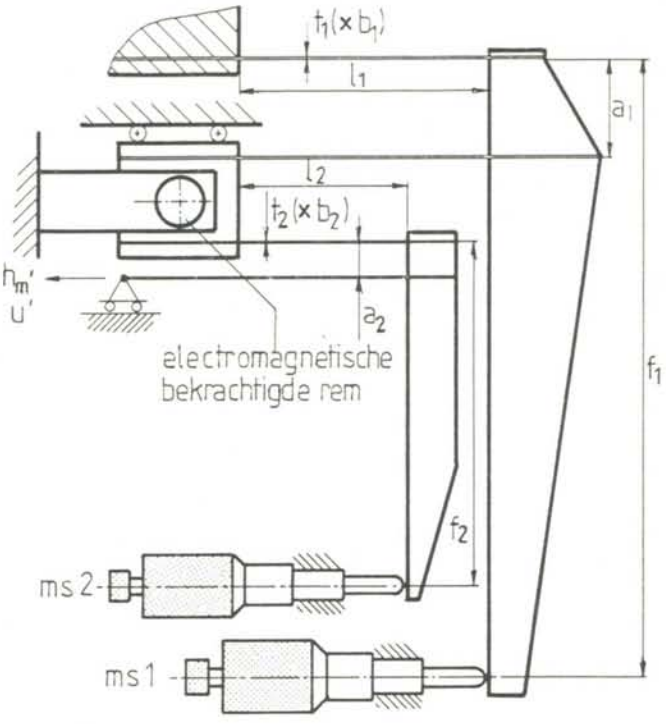
Aan de orde is de vraag welke waarde van de onnauwkeurigheid ten opzichte van de slag de aandrijvende *actuator* zal leveren. Wij definiëren de actuatorkwaliteit als volgt:
instelfout/slag = u/h_m. (1)
Tabel 1 geeft enige numerieke waarden.
Roterende actuatoren zijn in dit opzicht in het voordeel.

Willen wij een u/h_m-waarde bereiken die beter is dan hetgeen de beschikbare actuator kan leveren, dan kunnen wij onze toevlucht nemen tot een meertrapsinstelling.
Stel dat beschikbare actuatoren een actuatorkwaliteit $(u/h_m)_{act}$ hebben en stel dat de instelling geschiedt in twee trappen (act betekent actuator).
Voor de eerste trap geldt:
$u_1'/h'_{m1} = (u/h_m)_{act}$.

Voor de tweede trap geldt:
$u_2'/h'_{m2} = (u/h_m)_{act}$.



Figuur 92



Figuur 93

Verder moet men ervoor zorgen dat de instelfout van trap 1 (u'_1) kleiner is dan de slag h'_{m2} van trap 2.

$u'_1 < h'_{m2}$, dus

$(u/h_m)_{act}\, h'_{m1} < u'_2\, (h_m/u)_{act}$, dus

$$\frac{u'_2}{h'_{m1}} > \left[\frac{u}{hm}\right]^2_{act}$$

Een *tweetrapsinstelling* geeft dus een *kwadratische* verbetering van de beschikbare $(u/h_m)_{act}$.
Voor een n-trapsinstelling, met in elke trap een actuator van dezelfde kwaliteit, geldt:

$$\frac{u'_n}{h'_m} > \left[\frac{u}{h_m}\right]^n_{act} \qquad (2)$$

De keuze van de overbrengingsverhoudingen in de diverse trappen is op u'_n/h'_m niet van invloed.

Dimensionering van manipulatoren
Figuur 90 toont een eentrapsmanipulator van een vrij algemeen bruikbaar type.

Ten aanzien van de elastische elementen geldt:
$t/\ell < 2\sigma/(E\phi)$. (3)

Hierin is $\sigma < \sigma_w$ (σ_w is de wissel-vermoeiingsgrens) als de manipulator herhaaldelijk wordt gebruikt, respectievelijk $\sigma < \sigma_v$ (σ_v is de elasticiteits- of vloeigrens) als de manipulator slechts éénmaal wordt gebruikt.
Het te manipuleren voorwerp ondervindt in het algemeen wrijving (W) ten opzichte van zijn omgeving. Er is dan sprake van virtuele speling ter grootte $s_v = 2\ W/c$, als c de aan de uitgang (U) gemeten stijfheid is.
Als de totaal toegestane instelfout aan de uitgang gelijk is aan u' en de actuator introduceert aan de ingang een instelfout u, dan geldt:
$u' = iu + s_v/2$
$u' - iu = W/c$ (4)

Als $a \ll f$, zie figuur 90, dan geldt bij benadering dat de stijfheid van de manipulator, ter plaatse U is:
$c = E.tb/(2\ell)$. (5)

Uit (4) en (5) volgt:
$E.tb/(2\ell) = W/(u'-iu)$. (6)

Voor de uitgaande slag geldt:
$h'_m = \phi a$,
zodat in plaats van (3) wordt geschreven:
$t/\ell < 2\ (\sigma/E)\ (a/h'_m)$. (7)

Uit (6) en (7) volgt de ontwerpregel voor de manipulator van figuur 90:

$ab > (W/\sigma)\ (h'_m/(u'-iu)$. (8)

Gegeven de slag (h_m) van de beschikbare actuator was de overbrengingsverhouding ($i = a/f$) reeds bepaald. Gegeven de beschikbare ruimte voor f volgt hieruit a. Uit (8) wordt vervolgens b bepaald.
Blijft b klein, dan is een draad toepasbaar; $b = t$. Uit (7) volgt de draadlengte (ℓ).
Grotere breedten (b) dwingen ons tot bladveren of gatscharnieren in dikke plaat. Zolang het elastische element aan de uitgangszijde een draad is, wordt daar slechts één vrijheidsgraad vastgelegd. In het geval van bladveren worden daar drie vrijheidsgraden voorgeschreven; overbepaaldheid dreigt!

Een manipulator met *twee overbrengingen in serie* (dat is geen tweetraps),

Manipuleren en instellen (deel 1)

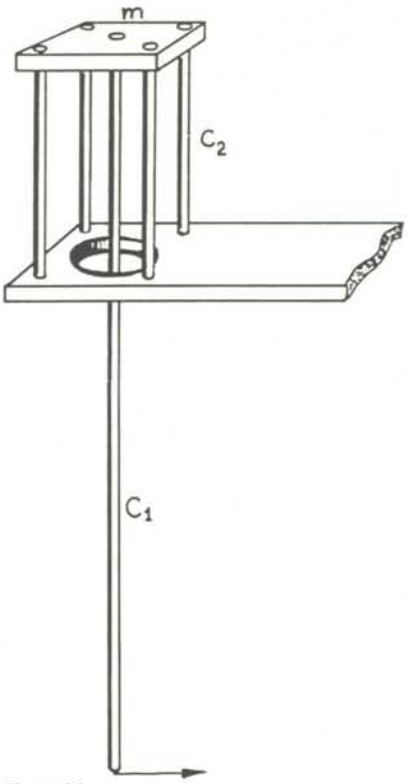
zoals in figuur 91, is een alternatief bij ruimtegebrek.
Is geen actuator beschikbaar die de gewenste u'/h'_m levert, dan moet meertraps worden gewerkt. Figuur 92 toont een voorbeeld waarbij *twee trappen in serie* (op elkaar gestapeld) staan.
De beide schroefmaten hebben een actuatorkwaliteit $u/h_m = 4.10^{-4}$ (tabel 1).
Haalbaar is volgens (2) met n=2:
$u'/h'_m = 16.10^{-8}$.
Verlangen wij een instelfout van ± 1nm ($u' = 2.10^{-9}$ m) dan is de bereikbare slag $h'_m = 12.10^{-3}$ m.

Dimensioneren wij dan de "grof"-manipulator volgens (8), waarbij we invullen $(u'-iu)/h'_m = 16.10^{-8}$, $W = 1$ N en $\sigma = 400$ N/mm^2, dan is het resultaat $ab = 1{,}6.10^4$, een resultaat waar de constructeur niet gelukkig mee zal zijn. De reden daarvan is dat, volgens (2), de eerste trap de volle slag (h'_m) moet afleggen doch tevens de vereiste stijfheid moet opbrengen om de hysteresis onder de extreme instelfout (u') te houden tegen de wrijvingsfout (W) in.

Remmen
Ontsnapping uit dit dilemma is alleen mogelijk als men de tweede trap niet in serie met de eerste zet, maar beide parallel en de eerste trap tevens van een stijve rem voorziet, zodat bij het manipuleren met de tweede trap geen beroep meer wordt gedaan op de stijfheid van de eerste trap; zie figuur 93.

Manipulator als produktiemiddel versus deel van het produkt.
In veel gevallen is een manipulator een gecompliceerd instrument. Zijn prijs wordt gerechtvaardigd doordat in een produktieproces het instellen van zeer veel produkten zal gaan plaatsvinden.
Na het instellen moet de positie van het ingestelde voorwerp worden overgenomen door het lichaam ten opzichte waarvan de positionering plaatsvond. Bij deze overname mag geen verschuiving optreden. Dit probleem verdient de nodige aandacht op het gebied van "fixeren en inklemmen"

Men vermijdt deze overname als de manipulator deel van het produkt is en de fixatie na het positioneren door de manipulator kan worden verzorgd. Deze oplossing is gerechtvaardigd als men kans ziet de manipulator zeer eenvoudig (goedkoop) te houden.



Figuur 94

Elastische manipulatoren
Een kenmerk van dit type manipulator is, dat de overbrengingsverhouding wordt bepaald door elastische vervormende delen. Voor het bereiken van een extreem grote plaatsnauwkeurigheid zoekt men constructies waarbij zowel de speling s als de resttrilling U_o nihil zijn.
Speling $s = 0$ vergt: reële speling $s_r = 0$ en virtuele speling $s_v = 0$.
Via $s_v = 2W/c$ of $s_v = F_u/c$ volgt dan dat de veerstijfheid c heel groot moet zijn, ofwel dat er in het geheel geen wrijving noch een uitwendige belasting F_u mag zijn. In die gevallen waarin er inderdaad geen (variabele) uitwendige belasting is – bijvoorbeeld bij het uitrichten van optische opstellingen – blijven alleen de eisen $s_r = 0$ en $W=0$ waaraan gemakkelijk kan worden voldaan met mechanismen berustend op elastische deformatie. Zie bijvoorbeeld de wel zeer eenvoudige constructie van figuur 94 bestaande uit twee plaatjes met elk vijf gaten en daarin (spelings- en hysteresisvrij) bevestigd vier korte en één ongeveer vier maal zo lange spriet, die alle vijf uit hetzelfde stuk draad geknipt zijn en dus een nauwkeurig gelijke diameter hebben.
Stel de doorbuiging van het tafelblad en de bodemplaat verwaarloosbaar; c_2 is viermaal de stijfheid van één ingeklemde korte spriet. De verhouding van de horizontale stijfheid van het tafelblad (massa m) op de vier sprieten met gezamenlijke stijfheid c_2, tot de stijfheid c_1 voelbaar aan de centrale lange spriet $c_1 \approx 4$ (aantal veren) $\times$ 4 (tweezijdige inklemming) $\times$ 4^3 (lengteverhouding^3) $\approx$ 1000.
We hebben dus een simpele (indien niet uitwendig bij het tafelblad belaste) x-y-manipulator 1 op 1000.
Bij handbediening en waarneming onder een microscoop blijkt de verplaatsingsfunctie $h(t)$ zo gunstig, dat uit dien hoofde geen waarneembare resttrilling u_o behoeft te worden verwacht.
Last wordt ondervonden van eenmalige snelheidssprongen in de opstelling ten gevolge van impulsoverdracht uit de omgeving (stoten, dichtslaan van deuren of laden, neerleggen van gereedschap en dergelijke
Snelheidssprongen van de orde van $v_b = 1$ mm/sec (werkplaats) tot $v_b = 0{,}1$ mm/sec (laboratoriumkamer) komen vrij frequent voor.
Deze snelheidssprong veroorzaakt, althans als hij een halve trillingstijd of langer aanhoudt, een trillingsamplitude $u_o = v_b \sqrt{(m/c_2)}$.
Deze wil men klein houden door m laag en c_2 hoog te kiezen. Nu is c_2 via de gewenste overbrengingsverhouding gekoppeld aan c_1, en deze is begrensd in verband met de wens om tot aan de grenzen van het instelgebied nog met redelijk lage handkracht toe te komen.

Opmerking
De keuze van de grootte van de overbrengingsverhouding en de richtingen van de beide bewegingen kunnen wij zo kiezen dat de gebruiker de verhouding tussen zijn waarneming en de met de hand gemaakte bewegingen als natuurlijk ervaart.

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

Toekenning van herkalibratietermijnen

J.W. van Beek

Onder druk van aanscherpende kwaliteitseisen moeten bedrijven herkalibratietermijnen vaststellen voor hun meetmiddelen. Die termijnen worden gebaseerd op de bedrijfservaring, en op wat voor erkennende instanties aanvaardbaar is. Een mogelijke werkwijze wordt hier nader beschreven.

Herkalibratietermijn

Onder een herkalibratietermijn verstaan we de termijn die verloopt tussen twee opeenvolgende kalibraties van een en hetzelfde meetmiddel. Uit kostenoverweging is het aantrekkelijk als die termijn groot is. De meetnauwkeurigheid is er echter mee gediend dat zo'n termijn niet al te groot is.
De vraag is nu hoe kwalificaties als "groot" en "niet al te groot" gekwantificeerd kunnen worden op een wijze, die een acceptabel compromis is tussen ogenschijnlijk tegenstrijdige eigen belangen, en die tevens aanvaardbaar is voor derden.
Voor de grootte van herkalibratietermijnen bestaat geen algemeen geldend voorschrift. Evenmin is dat te geven. Wel is een gedachtengang te geven die leidt tot bruikbare herkalibratietermijnen in een specifiek geval - en dat is precies de vraag waarvoor menige kwaliteitsfunctionaris zich dezer dagen gesteld ziet.

Uitgangspunt

Een herkalibratietermijn wordt vastgesteld op grond van de lengte van de kalibratiegeschiedenis van de betrokken standaard, het aantal uitgevoerde kalibraties en de mate van overlapping van de onzekerheidsintervallen van die kalibraties. Een herkalibratietermijn moet in elk geval korter zijn dan de termijn, waarbinnen significante verandering van het betrokken meetmiddel wordt verwacht.
Een algemeen aanvaard voorschrift bestaat daarvoor niet, maar de behoefte aan een richtlijn wordt steeds sterker. Gebaseerd op de ervaring van de auteur met het kalibreren van uiteenlopende geometrische standaarden, die tot veertig jaar oud zijn, is een praktische richtlijn geformuleerd. Die richtlijn, die in schema 1 is weergegeven, kan op haar beurt dienen als uitgangspunt voor andere situaties.

Schema 1: Toekenning van herkalibratietermijnen van standaarden in een geometrisch meetlaboratorium

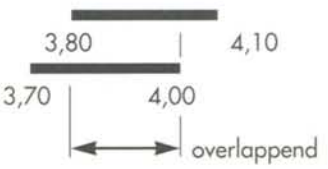
Verstreken periode (jr)	Omstandigheid	Herkal. termijn
	Nieuw meetmiddel	
0		12 mnd
	Herkalibratie na 12 mnd en overlappende onzekerheidsintervallen.	
1		24 mnd
	Herkalbratie na 24 mnd en overlappende onzekerheidsintervallen.	
3		36 mnd
	Herkalbratie na 36 mnd en overlappende onzekerheidsintervallen.	
6		48 mnd
	Herkalbratie na 48 mnd overlappende onzekerheidsintervallen.	
10		60 mnd
	Vervolgens iedere 60 mnd herkalibreren.	

Een maximale herkalibratietermijn van 60 maanden kan volgens dit schema opgebouwd worden met een historie van 10 jaar "overlappende geschiedenis".

Overlappende kalibratiewaarden

De uitkomst van een meting is steeds een waarde plus een onzekerheidsinterval. Een uitkomst (3,95 ± 0,15) mm zonder verdere toevoeging betekent dat er 95% kans is dat de werkelijke waarde in het interval (3,80..4,10 mm) ligt.

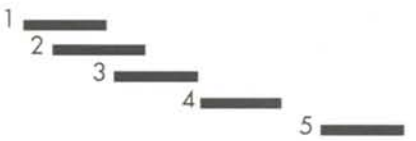
Een tweede uitkomst (3,85 ± 0,15) mm bestrijkt het interval (3,70..4,00 mm). Met de onzekerheidsintervallen naast elkaar uitgezet, ontstaat het volgende beeld:



De beide intervallen overlappen elkaar over het traject (3,80..4,00 mm). Op grond van die overlapping worden de meetuitkomsten "elkaar dekkend" genoemd. De ene is niet beter dan de andere, en op grond van de ene kan niet besloten worden dat de andere fout is.

Indien elkaar dekkende kalibratiewaarden een tijdvak van betekenis omspannen, spreekt men van een overlappende of dekkende kalibratiegeschiedenis.

Of de overlapping groot of klein is, doet niet ter zake. Het gaat om overlapping ja of neen. Elkaar nog net in een uiterste puntje rakende onzekerheidsintervallen worden beschouwd als niet-overlappend.



De intervallen 1, 2 en 3 overlappen elkaar, 4 raakt maar overlapt niet en 5 wijkt overtuigend af.

Toekenning herkalibratietermijn

In de praktijk wordt op grond van een nieuw kalibratie-resultaat besloten wat de nieuwe herkalibratietermijn zal zijn. Overwegingen bij de beoordeling van de kalibratiegeschiedenis zijn:

- Dekkend resultaat, het kaliber is *stabiel*.
  Het resultaat is dekkend met een of meer voorgaande resultaten, die samen een aaneengesloten rij vormen. Daaruit wordt geconcludeerd dat het kaliber stabiel is. De eerstvolgende herkalibratie kan nu uitgevoerd worden volgens de volgende stap in schema 1.
- Niet-dekkend resultaat.
  Niet-dekkend met het voorgaande

Toekenning van herkalibratietermijnen

resultaat, het kaliber is *instabiel* en dit wordt bij het resultaat aangetekend. Het kaliber valt terug naar het begin van het schema en de herkalibratietermijn wordt op 12 maanden gesteld.

Beoordeling stabiliteit

Instabiele veranderingen van een standaard spelen zich doorgaans af in het micrometergebied. De stabiliteit van een standaard kan dan ook alleen beoordeeld worden op grond van meetresultaten waarvan de onzekerheden elkaar niet al te veel ontlopen, en die ook in de orde van micrometers liggen. Pas wanneer de verandering van de standaard groter is dan de meetonzekerheid is er sprake van instabiliteit.

Inpassing van oudere standaarden

Om voor oudere standaarden de historie, die niet volgens Schema 1 is opgebouwd, toch zoveel mogelijk te laten gelden bij de toekenning van herkalibratietermijnen, is een vertaalslag nodig. We maken daartoe gebruik van Tabel 1, die op het toekenningsschema is gebaseerd.

Tabel 1: Herkalibratietermijnen als functie van de lengte van de kalibratiegeschiedenis

Aantal jaren kalibratie-historie (overlappend.	Herkalibratietermijnen Aantal kalibraties in de beschouwde periode 2	≥3
0	12 mnd	12 mnd
1	|	24
2	|	|
3	24	36
4	|	|
5	|	|
6	36	48
7	|	|
8	|	|
9	|	|
≥10	48	60

De waarden in de kolom met drie of meer kalibraties zijn ontleend aan Schema 1. De waarden in de kolom met twee kalibraties zijn steeds één stap, dus 12 maanden, lager. "0 jaar" betekent dat, ondanks de voorgeschiedenis, de telling voor het beschouwde meetmiddel opnieuw begint.

Onzekerheden

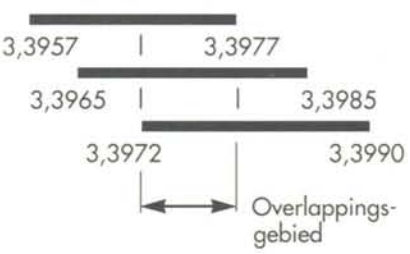
De gegeven termijnen gelden voor onzekerheden in de orde van grootte ± {1 μm + 2.10^{-6}.ℓ mm} (ℓ = lengte of diameter van de standaard). Wanneer een grotere onzekerheid is toegestaan, is de betrokken standaard minder nauwkeurig en kunnen de herkalibratietermijnen langer worden. Vuistregel: Een 10x zo grote onzekerheid verdubbelt de herkalibratietermijn.

Voorbeelden

1. Dekkend resultaat
Overlappende kalibratiewaarden leiden tot de maximale herkalibratietermijn.
Instelring, diameter 3,4 mm.
Aankoop: 01-01-1963.
1e Kalibratie: 01-01-1966, werkelijke diameter 3,3967 mm ± 1,02 μm.
2e Kalibratie: 01-01-1983, werkelijke diameter 3,3975 mm ± 1,02 μm.
3e Kalibratie: 13-07-1992, werkelijke diameter 3,3981 mm ± 0,91 μm.

Maximaal verschil in werkelijke diameter 1,4 μm.
Onzekerheidsinterval 1,02 + 0,91 = 1,93 μm. Omdat het maximale diameterverschil kleiner is dan de onzekerheid zijn alle kalibratiewaarden overlappend. Het aantal kalibraties in de periode van 26 jaar is drie, zodat vogens tabel 1 de herkalibratietermijn op 60 maanden gesteld wordt.

In beeld:



Opmerking:
Van de aankoop en de eerste twee kalibraties zijn de jaartallen bekend, maar niet de datum. In zo'n geval wordt de datum op 01-01 gesteld, zo oud mogelijk in het betrokken jaar dus.

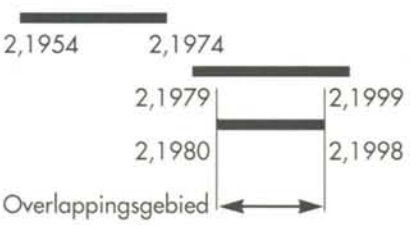
2. Niet-dekkend resultaat
Door de oudste, niet-overlappende kalibratiewaarde te laten vervallen, resteren nog twee wel overlappende waarden.

Instelring, diameterstandaard.

Instelring, diameter 2,2 mm.
Aankoop: 01-01-1963.
1e Kalibratie: 01-01-1966, werkelijke diameter 2,1964 mm ± 1,01 μm.
2e Kalibratie: 01-01-1983, werkelijke diameter 2,1989 mm ± 1,01 μm.
3e Kalibratie: 13-07-1992, werkelijke diameter 2,1989 mm ±0,91 μm.

Maximaal verschil in werkelijke diameter 2,5 μm.
Onzekerheidsinterval 1,01 + 0,91 = 1,92 μm.
De kalibratiewaarden zijn nu niet alledrie overlappend.

In beeld:



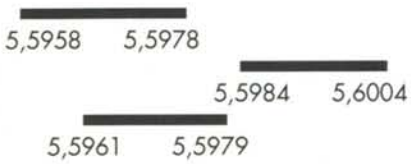
Wanneer we de oudste waarde buiten beschouwing laten, is het maximale verschil in werkelijke diameter 0,0 μm. Het onzekerheidsinterval is dan 1,01 + 0,91 = 1,92 μm. Nu zijn er twee kalibratiewaarden overlappend. Bij de tussenliggende termijn van 9 jaar wordt de herkalibratietermijn volgens de inpassingstabel (Tabel 1) op 36 maanden gesteld.

3. Niet-dekkend resultaat
De kalibratiewaarden overlappen elkaar niet in een aaneengesloten reeks.

Instelring, diameter 5,6 mm.
Aankoop: 01-01-1963.
1e Kalibratie: 01-01-1966,
werkelijke diameter
5,5968 mm ± 1,02 μm.
2e Kalibratie: 01-01-1983,
werkelijke diameter
5,5994 mm ± 1,02 μm.
3e Kalibratie: 13-07-1992,
werkelijke diameter
5,5970 mm ± 0,91 μm.

Maximaal verschil in werkelijke diameter 2,6 μm.
Onzekerheidsinterval
1,02 + 0,91 = 1,93 μm.
Conclusie: opeenvolgende kalibratiewaarden zijn niet overlappend.

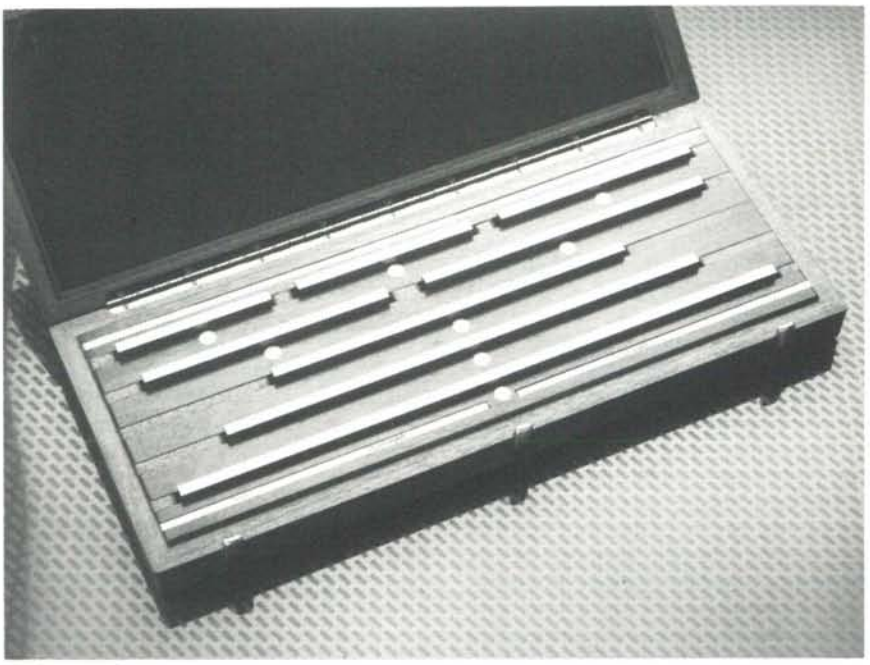
In beeld:



Het weglaten van de oudste waarde heeft in dit geval blijkbaar geen zin, omdat geen overlapping bestaat van de jongste kalibratiewaarde met de daaraan voorafgaande kalibratiewaarde. De standaard wordt daarom als instabiel aangemerkt, en valt terug naar de minimale herkalibratietermijn van 12 maanden.

Termijn-verkortende effecten

Het is goed mogelijk dat de gevolgen van praktisch gebruik van standaarden het effect van instabiliteit te boven gaan. Te denken valt aan temperatuureffect, gebruikssporen en slijtage.
In die gevallen zullen de herkalibratietermijnen (veel) korter moeten zijn dan aangegeven in schema 1. Hoeveel korter valt alleen te besluiten op grond van bedrijfservaring. In een extreem geval is helemaal geen termijn aan te geven. In zo'n geval krijgt het meetmiddel de aantekening "Kalibreren voor gebruik".



Set lange eindmaten tussen 125 en 500 mm.

Bedrijfservaring is nodig om analoog aan Schema 1 een aangepast toekenningsschema op te stellen. Daarmee krijgt men een specifiek gereedschap in handen voor het volgen van een consequente lijn bij de beoordeling van standaarden.

Standaarden in sets

Het is gebruikelijk om voor een set standaarden, een doos eindmaten bijvoorbeeld, één herkalibratietermijn op te geven. Het zou echter wel erg toevallig zijn, als alle standaarden uit een set qua gedrag en gebruik zo identiek zijn dat zij tegelijk geherkalibreerd moeten worden.
In werkelijkheid komt dat niet voor, evenmin als auto's die dagelijks in dezelfde parkeergarage staan, ook op dezelfde dag doorgesmeerd moeten worden.
Iedere standaard uit een set moet daarom behandeld worden als een individu, met onder andere een eigen herkalibratietermijn. De bewaking van individuele standaarden is bewerkelijk, en kan het best aan een computer overgelaten worden.
Computerprogramma's voor het beheer van standaarden dienen die individuele behandeling en bewaking als uitgangspunt te hebben. Zij dienen tenminste de mogelijkheid te bieden tot opslag en onderlinge vergelijking van kalibratiewaarden, ook als de kalibratiegeschiedenis tientallen jaren beslaat.

Dr.ir.ing. J.W. van Beek is vestigingsdirecteur van Schut Geometrische Meettechniek bv te Rotterdam.

Saffier en robijn als modern constructiemateriaal

M.F. Dierselhuis

Buiten de kring van de huidige gebruikers van synthetisch saffier en robijn is dit materiaal nauwelijks bekend als een goed bruikbaar materiaal voor een aantal fijnmechanische constructies. De meest gekende toepassing is die als lagermateriaal in de vorm van horlogestenen. Doel van dit artikel is aan te geven, welke eigenschappen saffier en robijn bezitten, hoe de bewerking ervan plaatsvindt en kort een aantal concrete toepassingen te noemen. Mogelijk worden daardoor ideeën gegenereerd, die u kunt omzetten in nieuwe produkten of deeloplossingen voor bestaande problemen. Door de grote hoeveelheid publikaties over technische keramieken is de weerstand tegen toepassing van dit "oude" saffier als nieuw materiaal verminderd, maar dreigt het tevens een beetje in de verdrukking te geraken

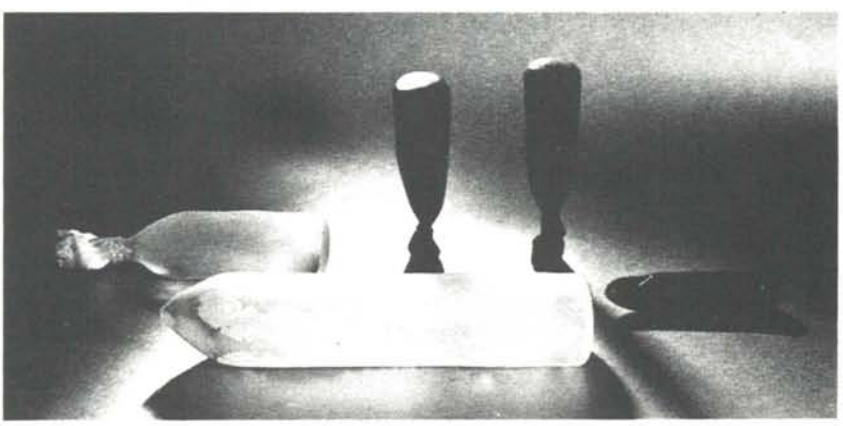
Saffier en robijn worden ook wel korund genoemd. Korund is een verzamelnaam voor monokristallijne aluminiumoxyden. Door toevoegingen ontstaan verschillende kleuren. Zonder toevoegingen is het monokristal transparant en is het bekend als saffier. Door een heel kleine toevoeging van chroomoxyde wordt het materiaal rood en kennen wij het als robijn. Door bijmenging met ijzer- en titaanoxyde wordt de blauwe saffier gevormd. Daar waar wij in dit artikel over saffier spreken, worden het heldere saffier en de robijn bedoeld.

Vervaardiging van het materiaal

In de industrie wordt hoofdzakelijk synthetisch saffier toegepast, omdat dit minder verontreinigingen bevat dan het natuur-korund en door de industriële produktie tevens goedkoper is. Het wordt vervaardigd met bauxiet als uitgangsmateriaal. Na reiniging met ammoniak en verhitting komt dit in partikeltjes van ca. 0,1 micrometer beschikbaar.
Een drietal methoden wordt toegepast om het saffier uit deze partikeltjes te vormen. In Japan en Amerika wordt in hoofdzaak volgens het TYCO-proces geproduceerd, waarbij saffier vanuit een smeltproces wordt gevormd.
In Europa wordt vooral de VERNEUIL-methode toegepast. Hierbij wordt een kristallisatieproces gebruikt, waardoor het meest zuivere saffier ontstaat. Deze methode is mondiaal gezien ook de belangrijkste. De opbouw van het kristal vindt plaats bij een temperatuur van ca. 2020°C, doordat een bewegende zeef de kleine partikeltjes aluminiumoxyde beheersbaar toevoert aan een smeltzone, terwijl het opgebouwde materiaal in de oven met eenzelfde snelheid daalt als de kristalaangroei plaatsvindt. Het basismateriaal krijgt hierdoor de vorm van een langgerekte peer met een diameter tot ca. 40 mm, zie figuur 1.
Een derde produktiemethode (CZOCHRALSKI-methode) wordt minder vaak toegepast.

Kenmerken

Saffier heeft als éénkristal een rombische kristalstructuur, waardoor de eigenschappen niet in alle richtingen gelijk zijn. Zowel bij de constructie als bij de vervaardiging van onderdelen kan het noodzakelijk zijn hiermee rekening te houden of deze mogelijkheid bewust te gebruiken.
Een belangrijk kenmerk van saffier is de hardheid. Met een Vickerswaarde van 25 – 30 kN/mm^2 komt het in de meeste gevallen boven technische keramieken uit, zie figuur 2. Daarnaast is de weerstand tegen druk en alle chemicaliën uitstekend te noemen. Aantasting van enige importantie vindt uitsluitend plaats met fluorwaterstof van ca. 300°C. Evenals alle andere harde en niet-poreuze materialen is saffier uitermate geschikt voor het realiseren van zeer gladde oppervlakken. Ruwheidswaarden onder R_a 0,01 zijn bij vlakken goed te realiseren; voor gaten zijn waarden tot R_a 0,015 eveneens goed haalbaar.
Vanwege de hardheid wordt saffier voor uiteenlopende toepassingen gekozen als slijtvast materiaal. Daarbij kan gedacht worden aan lagers, sproeiers, geleidingen, etc.
Door het hoge smeltpunt en de hoge chemische resistentie wordt saffier vaak toegepast als venstermateriaal of als optische lens (tevens hitteschild) voor gas- en rookcontrole-apparatuur, optische temperatuurmeetapparaten, branders en sproeiers. Saffier beschikt over goede thermisch (zie figuur 3) en elektrisch isolerende eigenschappen en heeft een niet onaanzienlijke diëlektrische constante, zie figuur 4. Dankzij deze beide eigenschappen en de eerder genoemde voordelen wordt saffier regelmatig toegepast als isolator en substraat voor hoogwaardige (miniatuur) capacitieve microfoons en als substraat voor hoogfrequente schakelingen voor de telecommunicatie-, ruimtevaart- en zeer hoogwaardige elektronica-industrie, etc.



Figuur 1. Bij de synthetische vervaardiging van saffier en robijn volgens de Verneuil-methode krijgt het basismateriaal de vorm van een langgerekte peer.

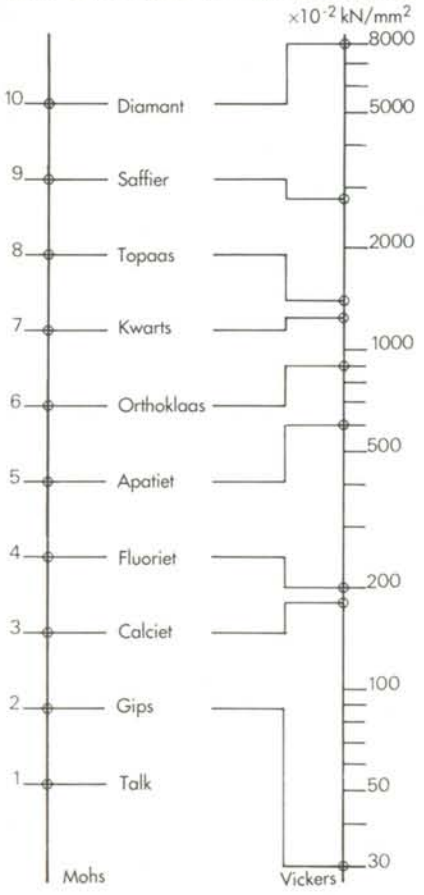
Als laatste belangrijke eigenschap noemen wij de zeer lage adhesie, waardoor saffier zeer goed te reinigen is en er nauwelijks aangroei van vreemd materiaal kan plaatsvinden.
Tabel 1 geeft de kengetallen van saffier.

Mogelijkheden tot vormgeving

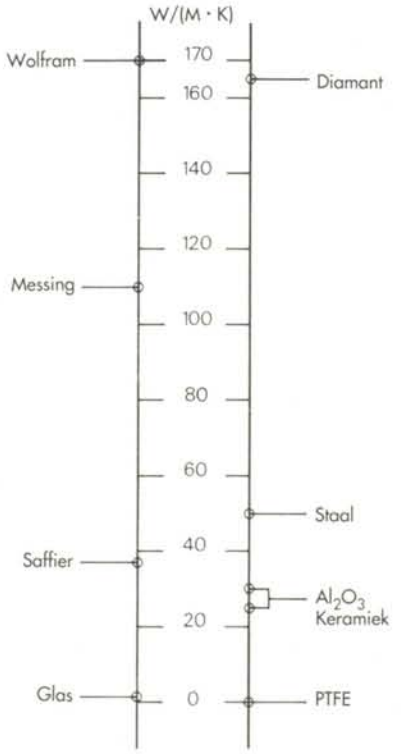
De frontpagina van deze Mikroniek laat een aantal vormen zien van onderdelen uit keramisch (dus polykristallijn) Al_2O_3, monokristallijn Al_2O_3 (saffier en robijn) en MACOR (glas). Uit de getoonde produkten blijkt al dat er zich op het gebied van het bewerken van dit soort harde materialen het laatste decennium belangrijke ontwikkelingen hebben voorgedaan. Dit geldt in niet onbelangrijke mate ook voor saffier.
Een hard monokristallijn materiaal kan niet door gieten, spuitgieten, sinteren, etc. gevormd worden. Om de gewenste vorm te bereiken blijft eigenlijk maar één oplossing mogelijk: verspanend bewerken. Daarbij wordt het met diamant slijpen en polijsten het meest toegepast. Bewerkingen analoog aan zagen, boren, frezen en draaien kunnen

Tabel 1. Kengetallen van saffier bij kamertemperatuur

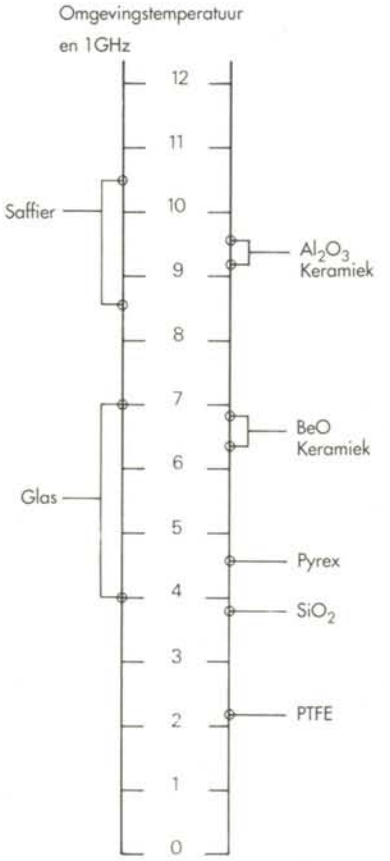
Fysische kengetallen		
dichtheid	3980	kg/m^3
hardheid HV	25-30	kN/mm^2
E-modulus (zie ook figuur 5)	400-440	kN/mm^2
druksterkte	2100	N/mm^2
treksterkte	190-260	N/mm^2
breekmodulus	400-700	N/mm^2
torsiemodulus	190	kN/mm^2
Thermische kengetallen		
smeltpunt	2050 °C	
verwekingstemperatuur	1800 °C	
thermoshock	$\Delta T >$ 1000 °C in 2'-3'	
soortgelijke warmte	750 J/(kg . K)	
warmtegeleidingscoëfficiënt	38 W/(m . K)	
uitzettingscoëfficiënt	$5{,}4 \cdot 10^{-6}$/K, ⊥ C-as	
	$6{,}2 \cdot 10^{-6}$/K, // C-as	
maximum gebruikstemperatuur	1950 °C	
Optische kengetallen		
brekingsindex	1,760 ⊥ C-as	
	1,768 // C-as	
dispersie	$(n_F - n_C)$ 0,011	
optische doorlaatbaarheid	uitstekend voor zichtbaar licht	
Elektrische kengetallen		
soortgelijke weerstand	10^{16} Ω/cm	
diëlektrische constante	8,5 - 10,5	
diëlektrische verliesfactor	< 0,0001	
doorslagweerstand	480 kV/cm (60 Hz)	
Mechanische kengetallen		
wrijvingscoëfficiënt op staal	0,10-0,15	
slijtvastheid (kwarts 100)	2800	



Figuur 2. Hardheid; vergelijking van saffier met andere materialen.



Figuur 3. Warmtegeleidingscoëfficiënt; vergelijking van saffier met andere materialen.



Figuur 4. Diëlektrische constante; vergelijking van saffier met andere materialen.

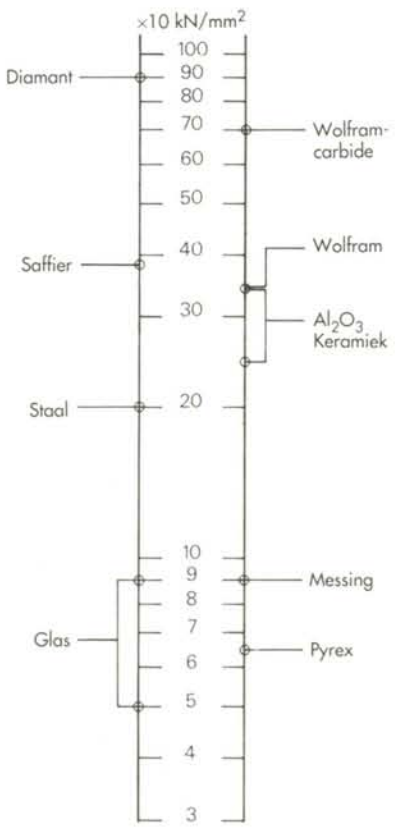
Saffier en robijn als modern constructiemateriaal

Tabel 2. Toleranties van lagerstenen

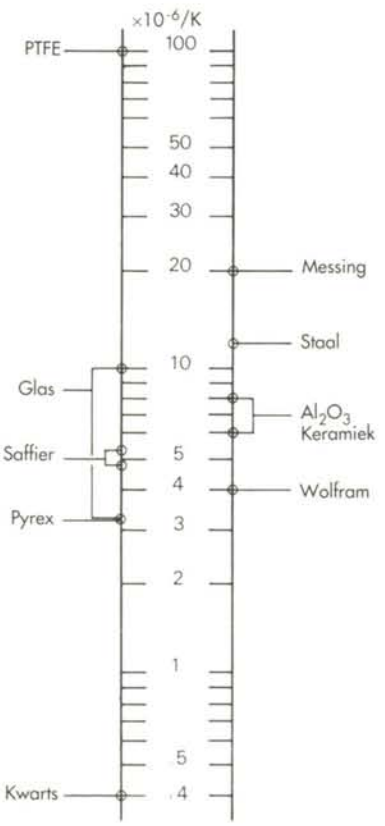
	diameter [mm]	tolerantie [μm] gangbaar	haalbaar
boring	0,06 – 0,30	4	0,2
	0,30 – 3,00	6	0,3
	> 3	10	0,5
buitendiameter	< 5	6	0,2
	> 5	10	0,2
concentriciteit		3-10	0,5-1

worden uitgevoerd. De onderdelen kunnen zelfs van schroefdraad worden voorzien. Uitwendige schroefdraad levert "geen enkel probleem" op, terwijl inwendige schroefdraad lastig en dus kostbaar is.
Bedrijven met veel ervaring in het bewerken van saffier vindt men vooral in Zwitserland, Frankrijk en Zuid-Duitsland. De bewerkingsmogelijkheden van keramische materialen zijn voor een aanzienlijk deel gebaseerd op de met het bewerken van saffier opgebouwde ervaring. De grenzen van wat mogelijk is, worden daarbij nog steeds verlegd.

Voor de bewerking van saffier wordt ook de laser veelvuldig ingezet. Bij de vormgeving (meestal een voorbewerking) wordt niet alleen materiaal verdampt, maar in enkele gevallen wordt tevens bewust gebruikt gemaakt van de opgewekte schokgolf. Gladde en nauwkeurige bewerkingen zijn met de (NdYag) laser echter niet mogelijk.
In een aantal gevallen worden de delen niet uit massief materiaal vervaardigd, maar door een coatingproces op een dragerdeel aangebracht. Het betreft dan zeer dunne laagjes uitermate slijtvast materiaal.



figuur 5. Elasticiteitsmodules; vergelijking van saffier met andere materialen.



Figuur 6. Uitzettingscoëfficiënt; vergelijking van saffier met andere materialen.

Hoofdafmetingen en toleranties

Een hard materiaal met een geringe uitzettingscoëfficiënt (ongeveer $5 \cdot 10^{-6}$ bij 25°C, zie ook figuur 6), zonder porositeit en waarbij een uitstekende oppervlaktegesteldheid bereikt kan worden, bezit alle gewenste eigenschappen om er zeer nauwkeurige onderdelen uit te kunnen vervaardigen. Als voorbeeld wordt in tabel 2 een aantal gangbare toleranties voor verschillende vormen gegeven. Het betreft hier catalogusprodukten, zoals lagerstenen, kogels, vlakke stenen, etc. De gegeven toleranties kunnen daar waar nodig tot delen van micrometers worden teruggebracht.
De maximale omschreven cirkel van het produkt is afhankelijk van de diameter van de korund-peer. Zoals vermeld is deze voor zeer zuiver saffier ca. 40 mm bij een lengte van ca. 125 mm. Het is echter mogelijk de diameter van de peer tot ca. 80 mm op te voeren. Het basismateriaal wordt daardoor echter aanmerkelijk duurder.
De kleinste gatdiameter is ca. 25 micrometer, terwijl het kleinste nabewerkte gat ca. 60 micrometer groot is. Daarbij kan van een met een laser voorgeschoten gat gebruik worden gemaakt. Het met de laser vervaardigde gat ziet er bij vergroting catastrofaal uit met een diameter van ca. 30 micrometer. Om een mooi nabewerkt gat te krijgen worden de (meestal stapelbare) onderdelen over een draad geregen en op deze wijze gestapeld ingegoten. Al draaiende beweegt dit samenstel van onderdelen ook in axiale richting langdurig (tot enkele weken aan toe) langs een met diamantpasta gedoteerde draad. Aangezien het abrasieve proces zeer langzaam verloopt is een hoge nauwkeurigheid mogelijk. De gaten middelen zich uit, waardoor een concentriciteitstolerantie van 10 micrometer eenvoudig haalbaar is. Niet stapelbare onderdelen moeten afzonderlijk bewerkt worden, waardoor de prijs excessief stijgt. Sommige vormen worden nog altijd met gediamanteerd kersenhout vervaardigd volgens het principe, dat een gestage drup elke steen bewerken kan.

Toepassingsvoorbeelden

Hieronder staan een aantal voorbeelden vermeld, waarbij één of meer specifieke eigenschappen van saffier bepalend zijn geweest voor de keuze van dit materiaal. Figuur 7 toont een aantal produkten.

Nozzles
Saffier is uitermate geschikte als nozzlemateriaal vanwege:
- hoge slijtvastheid,
- hoge chemische resistentie,
- lage adhesie,
- grote druksterkte.

Voorbeelden van nozzles zijn die voor waterstraalsnijden, inkjetprinters, naaldgeleidingen, synthetische garens, verfspuiten, landbouwsproeiers, stoomstrijkijzers, gritstraalapparatuur, hogedrukreinigingsapparatuur, etc.

Kleine nauwkeurige gaatjes
Saffier is hiervoor uitermate geschikt vanwege:
- geschiktheid tot aanmaak van kleine, eng getolereerde, gladde gaatjes,
- lage adhesie,
- hoge temperatuurresistentie,
- hoge drukvastheid.

Toepassingsvoorbeelden zijn:
- stenen voor telapparatuur van bloedlichaampjes,
- gekalibreerde openingen voor waakvlambranders,
- toepassing als orifices,
- debietmeting en -regeling,
- uitloopsteen voor wikkelvingers,
- bonddraadgeleidingen,
- glasvezelconnectoren.

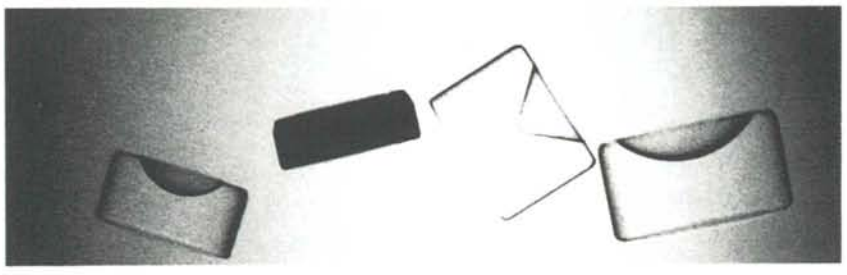
Lagers en geleidingen
Saffier is uitermate geschikt als materiaal voor lagers en geleidingen vanwege:
- hoge slijtvastheid,
- grote drukvastheid,
- hoge vormnauwkeurigheid,
- lage adhesie,
- chemische inertie,
- hoge temperatuurbestendigheid.

Toepassingsvoorbeelden zijn:
taatslager voor de as van een generatie videomotoren,
- lagering van de actuator van specifieke compactdisc-apparatuur,
- geleiding van naalden voor matrixprinters,
- conusstenen voor de taatslagering van meetinstrumenten met analoge aflezing, alsook voor water- en stroommeters,
- geleidingen voor draadvonkmachines,
- geleiding van textielvezels,
- geleiding van chroomoxyde-tape,
- slijtagelaag voor magneetkoppen,
- preparaatlagering elektronenmicroscoop.

Figuur 7. Produkten vervaardigd uit synthetisch korund.

Diversen
Saffier is uitermate geschikt voor diverse andere toepassingen, zoals:
- plunjers voor hogedruk pompen (ook HPLC),
- miniventielen voor abrasieve media, chemicaliën, lichaamsvocht, etc.,
- optische vensters voor ovens, meetapparatuur, horloges,
- optische componenten onder bijzondere omstandigheden,
- kalibers en meettasters,
- elektrische isolatoren (o.a. pacemakers),
- substraatmateriaal voor hoogwaardige elektronische schakelingen,
- chirurgische instrumenten,
- slijtvaste kogels,
- afdichtlichaam voor precisie-ventielen (de vlakheid van de saffier wordt bij iedere sluiting gekopieerd op het afdichtelement).

De bovenstaande indicatieve opsomming geeft een beeld van de brede toepassingsmogelijkheden van saffier. Aangezien het hier in alle gevallen om succesvolle concrete produkten gaat, blijkt dat de prijsstelling veelal veel gunstiger is dan men op grond van het materiaal en de moeilijke bewerkbaarheid daarvan zou verwachten.
Het is vanzelfsprekend van groot belang dat de produkten met een brede kennis van de vervaardiging, verwerkingsmogelijkheden en eigenschappen van het materiaal worden ontworpen.
Op een aantal plaatsen is in Nederland kennis beschikbaar. Indien men de toepassing van saffier of robijn in een concreet produkt overweegt, is het dan ook zeer zinvol van deze kennis gebruik te maken. Gezien de tendens tot grotere nauwkeurigheid, hogere betrouwbaarheid en miniaturisatie zal de toepassing van saffier nog sterk kunnen groeien.



De auteur Ing. M. F. Dierselhuis is directeur van Micro*Montage BV te Soest.

Veilig werken met lasers

J.G. Siekman

Sinds de realisering van de eerste laser in 1960 treft men dit instrument in toenemende mate aan in produktiehallen als bijvoorbeeld boor-, snij-, lasgereedschap naast de conventionele werktuigen.
De moderne laserbewerkingssystemen worden zo veilig mogelijk voor mens en omgeving geconstrueerd. Toch vindt er zeer sporadisch een ongeluk plaats, veelal door menselijke onachtzaamheid, soms ook door een falende beveiliging.
Recent statisch onderzoek leert, dat ruim tweederde van alle ongelukken met lasers oogletsel tot gevolg heeft. Deze, maar ook de andere ongelukken hadden bijna alle voorkomen kunnen worden door alle mogelijkheden van risico vooraf zorgvuldig te overwegen.

Inleiding

Lasers [1] vindt men in de werkplaats, gebruikt als *meetinstrument* (voorbeelden: het nauwkeurig en contactloos bepalen van positie, snelheid, oppervlakteruwheid) en als *werktuig* (voorbeelden: lassen, boren van kleine gaten, trimmen van allerhand typen weerstanden).

Aan de meeste meetlasers zijn door hun lage vermogen geen gevaren verbonden. Met de bewerkingslaser moeten we echter zorgvuldig omgaan in verband met hun vaak beduidend hogere vermogen. Veelal zijn de laatste in een complex (produktie)systeem opgenomen. Een dergelijk systeem is zó ontworpen – dient dit althans te zijn – dat de laser nooit een gevaar zal opleveren voor mens en milieu rond dat systeem.

Kortgeleden echter was een onbevredigde nieuwsgierigheid de oorzaak van een bijna-ongeluk: iemand wist via een tandartsenspiegeltje tot de bundel door te dringen. Gelukkig viel er slechts een fractie van het laservermogen gedurende een zeer korte tijd in zijn oog, zodat hij 'met de schik vrijkwam'.
Na deze gebeurtenis lijkt het nuttig om nogmaals een aantal opmerkingen te maken over het veilig werken met lasers en lasersystemen.

Laserstraling en het oog

Omdat ons oog voor laserstraling veel gevoeliger/kwetsbaarder is dan onze huid, beschouwen we in het volgende alleen de effecten van deze straling op het oog.
Wellicht ten overvloede tonen we in figuur 1, schematisch, een oogdoorsnede. In figuur 2 geven we de transmissiekromme voor een oog: als functie van de golflengte zetten we verticaal uit het deel van het op de pupil vallende licht, dat daadwerkelijk het netvlies bereikt.

Wat wij het 'zichtbare licht' noemen is de elektromagnetische straling met golflengte binnen het interval van globaal 0,4 tot 0,8 μm. Deze straling is in staat de in het netvlies aanwezige detectoren (kegeltjes en staafjes) te activeren. Voor dit golflengtegebied is het oog een zéér gevoelig waarnemingsinstrument. Om een indruk te geven: alle lichtenergie, die we gedurende ons gehele leven gebruiken om te kijken, is nauwelijks voldoende om 1 cm^3 water 1 graad te verwarmen; zie kader 1.
Het licht, dat tot het netvlies doordringt en daarin wordt geabsorbeerd, zal door de werking van de ooglens op een klein brandvlekje worden gefocusseerd. In een ongunstig geval kan zo de vermogensdichtheid daar tot een factor 10^6 groter zijn dan ter plaatse van de pupil. Een brandgaatje in het netvlies kan het resultaat zijn.

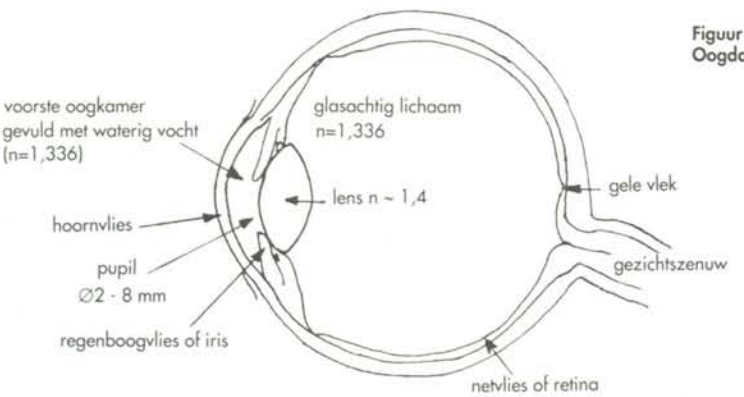
Kader 1

R.W. Pohl rekent ons in zijn bekende en fraaie leerboek "Optik und Atomphysik" voor, dat 'nachtzien' nog mogelijk is bij een minimale lichtstroom door onze pupil van $3 \cdot 10^{-17}$ Watt. Dit komt overeen met ongeveer 100 lichtquanta per seconde.
Nu is de lichtstroom door onze pupil gedurende de dag gemiddeld een factor 10^7 hoger dus circa $3 \cdot 10^{-10}$ Watt.
Het 'kijkleven' van een mens is ongeveer $2{,}5 \cdot 10^9$ sec (78 jaar, 16 uur per dag). Zo komen we tot een totale kijkenergie, die gedurende een heel mensenleven de pupil binnenstroomt van ($3 \cdot 10^{-10}$ Watt) x ($2{,}5 \cdot 10^9$ sec) = 0,75 J = 0,18 cal.

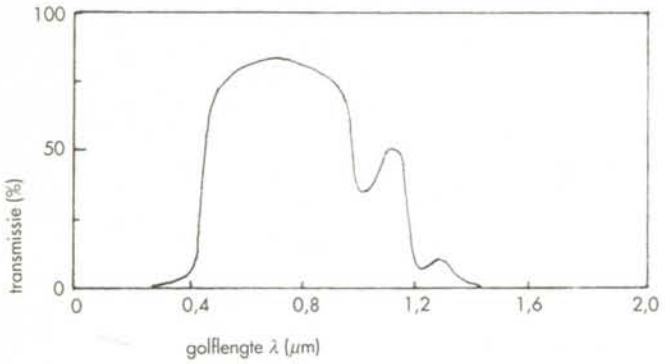
Straling met een golflengte korter dan 0,3 μm dan wel langer dan 3μm wordt in het hoornvlies geabsorbeerd met als mogelijk gevolg oppervlakteverbranding.
In de overgangsgebieden (globaal van 0,3 tot 0,4 μm en van 0,8 tot 3 μm) dringt de straling wel verder door in het oog en kunnen bij te hoge intensiteiten nare defecten optreden, zoals lenstroebeling (staar). Zie ook de literatuur [2, 3 en 4].

Wat maakt de laser zo bijzonder?

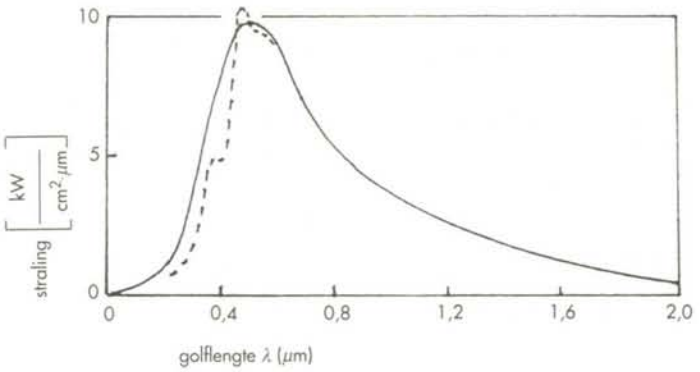
Reeds kort na de eerste publikaties in 1960 over de robijnlaser en de HeNe-



Figuur 1. Oogdoorsnede.



Figuur 2. Transmissiekromme voor het oog.



Figuur 3. Emissiespectrum van een zwarte straler op 6200°C.
Dit spectrum wordt benaderd door het zonnespectrum - - - - - .

laser verschenen er populair-wetenschappelijke artikelen, waarvan ik mij enkele titels herinner: 'De Zon Overtroefd' en 'Heisser als tausend Sonnen'. Er werd dus vergeleken met onze belangrijkste stralingsbron.

Het zonlicht

De door de zon uitgezonden straling benadert die van een gloeiende bol (eigenlijk 'zwarte straler') op zo'n 6200°C. We hebben dan te maken met een breed, continu spectrum, zie figuur 3, met een maximum intensiteit bij 0,48 μm. Het licht wordt uitgezonden in alle richtingen. Op onze breedte op zeeniveau ontvangen we op een wolkloze middag gemiddeld ~ 1 mW/mm^2 van de zon.

Als de pupil zich op zo'n heldere dag heeft vernauwd tot de minimale doorsnede van 2 mm, stroomt er ~ 3,2 mW vermogen ons oog binnen als we 'recht in de zon kijken'.

De zonneschijf zien we onder een hoek van 1/108 rad De geometrische afstand lens tot netvlies is ~ 22 mm; gecorrigeerd voor de brekingsindex n=1,336 van het glasachtig lichaam wordt deze ~ 17 mm. De projectie van de zonneschijf op het netvlies is dus een beeldvlekje met een diameter ~ 1/108·17 mm = 0,16 mm.

Zou bij het naar-de-zon-kijken al het op de pupil vallende zonlicht ook werkelijk het netvlies bereiken, dan zou men in het beeldvlekje daar een vermogensdichtheid vinden van (2 mm/0,16 mm)^2 × 1mW/mm^2 = 160 mW/mm^2. Wij schatten dat de gemiddelde transmissie ongeveer 50% is, zodat op het beeldvlekje de heersende vermogensdichtheid ~ 80 mW/mm^2 zal zijn.

Uit ervaring weten wij, dat recht-in-de-zon-kijken onaangenaam is. Gebeurt dit bij toeval, dan sluiten we in een reflexbeweging de ogen. De reflextijd wordt gewoonlijk op 0,1 sec gesteld, zodat er dan plaatselijk ongeveer 8 mJ/mm^2 aan energiedichtheid wordt overgedragen. Dit veroorzaakt wel de bekende nabeelden, maar nog lang geen blijvend oogletsel.

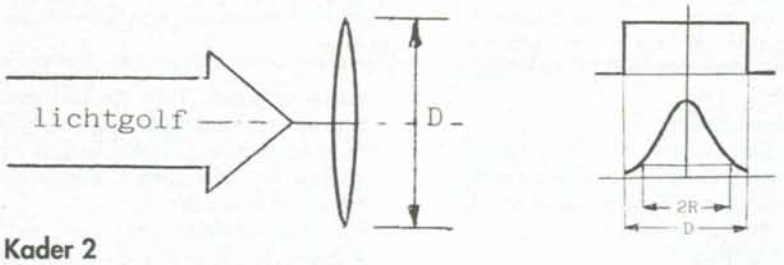
Het laserlicht

Geheel anders dan de zon in een werkende laser een bron die een nauwe (bijna evenwijdige) lichtbundel uitzendt. Het uitgezonden licht is monochromatisch (vrijwel één golflengte) en coherent (de lichtgolven in de bundel zijn onderling 'in fase').

We beschouwen nu een 'onschuldige' HeNe-laser, die een maximum vermogen van 1 mW continu kan uitzenden. De golflengte is 632,8 nm. In de laatste Laser Focus Buyers Guide vind ik zo'n meetlaser met bundeldoorsnede 0,7 mm vlak voor de laserkop en een bundeldivergentie 2·θ=1 mrad. Op 1,3 m afstand voor de laserkop is de bundeldiameter juist 2 mm, en dus kan het volle laservermogen van 1mW een op helder daglicht geadapteerd oog binnenvallen en door de lens worden gefocusseerd op het netvlies. Het brandvlekje daar heeft een diameter van ~ 10 μm; zie kader 2. Daar de transmissie voor de onderhavige golflengte ~ 85% is, levert dit alles op het netvlies plaatselijk een vermogensdichtheid van circa 10.800 mW/mm^2.

Tabel 1 geeft een samenvatting van de bovengenoemde getallen.

Dus: hoewel het vermogen dat de pupil binnentreedt, in het geval van de zon hier ongeveer driemaal hoger is dan bij



Kader 2

Geval a: van links valt een vlakke monochromatische golf (golflengte λ) van uniforme intensiteit op een dunne lens (diameter D, brandpuntsafstand f). Deze lens zal het licht focusseren tot een brandvlekje met diameter $d_A = 2{,}44\ (f \cdot \lambda)/D$.
Airy berekende deze diameter voor een optisch systeem vrij van alle aberraties en alleen beperkt door buigingsverschijnselen (vandaar 'diffraction-limited').

Geval b: centraal op de lens valt een laserbundel met een intensiteitsverdeling volgens Gauss: $I(r) = I(o) \cdot \exp - 2\ (r/R)^2$; hierin is I(o) = intensiteit op de as van de bundel en r = afstand tot die as. Bij een lensdoorsnede D ≥ 2R krijgen we dan ten opzichte van geval a een brandvlekje met een iets kleinere diameter $d_G = 1{,}72 \cdot (f \cdot \lambda)/D$.

Voor D=2mm, λ=632,8 nm en f=17 mm berekenen we d_A ~ 13 μm en d_G ~ 10 μm.

Veilig werken met lasers

Tabel 1

Lichtbron	De pupil binnentredend vermogen	Berekende vermogensdichtheid op het netvliesbrandvlekje
zon	3,2 mW	80 mW/mm^2
HeNe-laser	1,0 mW	10.800 mW/mm^2

de laser, blijkt tòch de vermogensdichtheid plaatselijk op het netvlies ruim twee ordes groter bij onze laser dan bij zonnestraling.

Analyse van risico's verbonden aan het gebruik van lasersystemen

Door de coherentie van het laserlicht kunnen plaatselijk hoge vermogensdichtheden ontstaan door interferentieverschijnselen, bijvoorbeeld bij reflectie of verstrooiing. Ook niet-lineaire interacties en andere optische effecten kunnen voor onaangename effecten zorgen.
Door de nauwheid van de laserbundel kan ook op grote afstand van deze bijzondere lichtbron nog plaatselijk een hoge vermogensdichtheid optreden.
Het is dus zaak alle mogelijke risico's tijdig en goed te analyseren.

Bij moderne laser-produktiemachines of lasermeetsystemen heeft de gerenommeerde leverancier naar beste weten en kunnen de veiligheid van operateur en mogelijke omstanders gewaarborgd.
In geval van enige storing zal de betrokken operateur echter geneigd zijn zèlf het euvel op te sporen en te verhelpen. Dan is een zorgvuldige analyse van het systeem noodzakelijk om mogelijke ongelukken te voorkomen.
Ditzelfde geldt uiteraard in sterkere mate, wanneer men zelf een systeem samenstelt uit een gekochte laser en losse mechanische en elektrische onderdelen.
De analyse moet niet alleen betrekking hebben op de laserstraling zelf, maar ook op andere mogelijke bronnen van ongelukken. Hiervan noemen we slechts twee voorbeelden: de – soms hoge – elektrische spanningen, en de giftige dampen die kunnen vrijkomen bij het snijden van een aantal kunststoffen.

Om u te helpen bij die analyse geven wij hier een 'check-list', een opsomming van mogelijke risicobronnen, vergezeld van enig commentaar.

- **Gebruiksaanwijzing**
- In vrijwel alle gevallen zal de leveran cier van een lasersysteem een gebruiksaanwijzing bijleveren. Lees deze zeer zorgvuldig!
- **Elektrische spanningsbronnen en - geleiders**
  Hiervoor gelden de regels die voor iedere elektrische installatie gelden. Flitslampen vragen vaak spanningen van enkele kV, gasontladingslasers soms spanningen van enige tientallen kV. Zijn alle toevoerdraden goed geïsoleerd en soldeerpunten van verbindingspunten adequaat afgeschermd? Om bijvoorbeeld de gasontlading van een CO_2-laser in toom te houden wordt een ballastweerstand in de keten opgenomen. In het verleden zijn ballastweerstanden wel eens zo heet geworden dat zij brand veroorzaakten.
- **Röntgenstraling**
  Deze kan mogelijk zijn – is afkomstig van de hoogspanningsvoeding – en dient afgeschermd te worden.
- **Ozon**
  Dit kan gevormd worden bij sproeien van geleiders op hoogspanning.
- **UV-straling**
  Deze kan eveneens gegenereerd worden door het sproeien van geleiders op hoogspanning. (Bedenk: Ozon kan men ruiken, UV-straling kan met niet zien).
- **Flitslampen**
  Deze kunnen exploderen; zorg dus voor adequate afscherming van de omgeving.
- **Spoelgassen**
  Kunnen deze in het bijzonder bij hoogvermogenlasers of laserprocessen gebruikte gassen, brandbaar of giftig zijn?
- **Koelvloeistoffen**
  Vloeibare stikstof is 77K (-196°C), dus niet aankomen! Vele kunststoffen worden bros en zeer breekbaar bij deze lage temperatuur.
- **Vaste stoffen**
  Bij bewerkingen als boren, snijden, lassen, solderen, oppervlakteharden, etc., kunnen dampen ontstaan die
  - de gezondheid schaden (prikkeling van ogen, van longen, giftig, cancerogeen.....),
  - met de omringende lucht een brandbaar of zelfs explosief mengsel vormen,
  - chemisch actief zijn en machineonderdelen aantasten.
- **Mechanische onderdelen**
  Snelbewegende delen, zoals draaiende spiegels, choppers, etc., kunnen losraken of breken. Worden de wegslingerende delen met voldoende zekerheid binnen hun behuizing gehouden?
- **Falende apparatuur**
  In een groot systeem zal alles ingebouwd en zó afgesloten zijn, dat bij het openen de veiligheidsschakelaars op deuren en panelen het systeem doen uitschakelen. Bedenk, dat zo'n schakelaar wel eens kan uitvallen. Ook is het wel eens gebeurd, dat een flitslamp (door een defect in een stuurkast) een ongewilde lichtpuls gaf en zo de laser liet werken.
- **Falende mensen**
  Ook een mens is maar een mens en kan fouten maken, vooral bij routinehandelingen.
  Bedenk, dat een menselijk oog géén UV- of IR-laserlicht waarneemt en ook niet ziet of een onderdeel onder spanning staat. Ook een heet onderdeel tot 400 à 450°C ziet er net zo uit als één op kamertemperatuur. En bedenk ook dat vele, mogelijk schadelijke dampen of gassen geen geur of kleur hebben.

Over veiligheidsvoorschriften met betrekking tot het gebruik van lasers en lasersystemen.

Bovengenoemde analyse leidt als vanzelf tot een aantal primaire regels of voorschriften, waaraan zal moeten worden voldaan. We vinden ze terug in de literatuur [5 t/m 9].
Hier volgt een samenvatting van de spelregels, waaraan moet worden voldaan bij het werken met lasers/lasersystemen.

- De ruimte, waarin zich een lasersysteem bevindt, dient duidelijk aangegeven te worden door een verlicht bord met het woord LASER. Ook het lasersysteem zelf dient duidelijk gemarkeerd te worden.
- Het inbedrijfstellen van een lasersysteem zij alleen mogelijk door gebruikmaking van een sleutelschakelaar, waarbij alleen het geïnstrueerde personeel over de sleutel beschikt.
- Het lasersysteem moet ingebouwd zijn in een beschermende omhulling, die voorkomt dat met name het menselijk lichaam of deel daarvan (ogen!) wordt blootgesteld aan laserstraling.
- Deze omhulling dient afgesloten te zijn met veiligheidssloten, die bij openen van de omhulling de laserstraling uitschakelt.
- Er dient een indicator aanwezig te

Kader 3

Gevarengrens, toelaatbare bestralingsniveaus voor het lasergolflengtegebied 200 – 1400 nm

	Oog	Huid
Reuzenpulslaser pulsduur 1 ns – 1 μs	5·10-8 J/cm^2	0,1 J/cm^2
Gepulste laser pulsduur 1 μs – 0,1 sec	5·10-7 J/cm^2	0,1 J/cm^2
Continu laser 0,1 sec (oogreflex)	5·10-6 J/cm^2	0,1 W/cm^2

zijn, die een zichtbaar en/of hoorbaar signaal geeft wanneer de laser in bedrijf is.

- Als de laser wel in werking is, maar niet effectief gebruikt wordt, verdient het aanbeveling, het bundelvermogen òf te verzwakken tot beneden de gevarengrens - zie kader 3, òf de bundel op te vangen in een (gekoelde) warmtecollector.
- De bedieningskast met -paneel dient gescheiden te zijn van het actieve laser(bundel)volume.
- De waarnemingsoptiek dient beveiligd te zijn door kleppen, sluiters of lichtverzwakkers. Bij hoge laservermogens dient men bij voorkeur gebruik te maken van een gesloten TV-systeem.
- Waar een bundel wordt gestuurd door spiegels, prisma's, fibers of andere optische middelen, dient, ingeval van weigering van één van deze stuurmiddelen, de bundel te worden verzwakt tot beneden de gevarengrens, respectievelijk uitgeschakeld te worden.
- Het verdient aanbeveling een afzuigmogelijkheid aan te brengen ter verwijdering van de bij de laserbewerking mogelijk ontstane dampen, gassen of stofdeeltjes, zeker indien ze nadelig zijn voor de gezondheid. Ook kan er in een enkel geval een explosief mengsel ontstaan. Hoewel de hoeveelheden van deze vluchtige bestanddelen over het algemeen gering zijn dient men, in verband met milieu-eisen, toch te overwegen of zij zonder meer in de buitenlucht geloosd mogen worden.
- Voor veel lasers is een hoogspanningsvoeding nodig. Daarbij kan röntgenstraling of een HF-elektromagnetische straling optreden. De hoogspanning zowel als genoemde stralingen dienen op adequate wijze te worden afgeschermd.

Tenslotte nog het volgende

- Een onveilige situatie kan ontstaan als men voor een grote ingreep (een reparatie of wijziging) tijdelijk met een geopend systeem moet werken.
- Men dient dan deze grote ingreep bij voorkeur uit te voeren in een geheel omsloten en afsluitbare ruimte, die duidelijk is gekenmerkt door verlichte waarschuwingsborden. Dit om te voorkomen, dat onbevoegd personeel (per abuis) binnenloopt. Iedereen, aanwezig in deze ruimte, drage dan een veiligheidsbril, die de ogen goed afschermt tegen zijdelings invallend licht. De glazen moeten de golflengte(s) van de gebruikte laser voldoende absorberen. Bij iedere laser behoort dus een typerend brilleglas!
- De muren van deze laserruimte dienen vlak te zijn en geverfd in een lichte kleur. Het lichtniveau dient er hoog te zijn (om de pupil zo nauw mogelijk te houden). Reflecterende oppervlakken van hulpapparatuur dienen vermeden te worden.
  De ingreep in het lasersysteem dient te geschieden door een specialist, goed bekend met lasereigenschappen en stralingsgevaren.

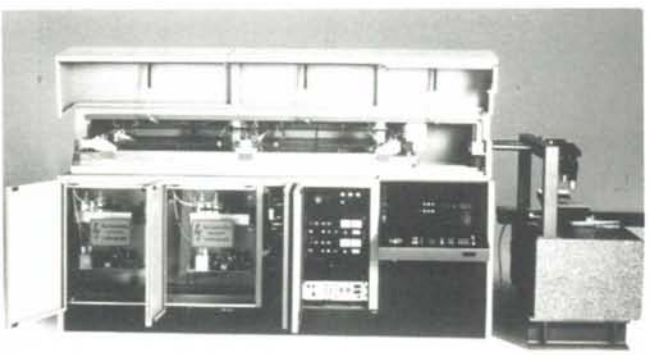
De indeling van lasers in gevarenklassen

Nederland kent nog geen wettelijke voorschriften of normen aangaande lasers en laserstraling. Wel is er een uit 1978 daterend rapport van de Gezondheidsraad [5], dat het lasergebied omvat. Het rapport wordt momenteel herzien. Ook zijn er in ons land enige ontwerpnormen uit 1985 [6]. Het ontberen van definitieve normen hangt samen met de complexiteit van het probleem. In Duitsland heeft men wel DIN-normen [7].
Het ANSI (Americal National Standard Institute) heeft in 1980 een indeling naar gevarenklassen opgesteld. Twee jaar later werd deze klasse-indeling overgenomen door de WHO (World Health Organisation). Deze klassen, genummerd I tot en met IV zijn:

- **Klasse I**, de nul-risicoklasse:
  géén oogschade bij normaal gebruik gedurende een normale werkdag.
- **Klasse II**, de lage-risicoklasse:
  de natuurlijke reflex (ogensluiten) zorgt voor beperkte instraling. Het resultaat wordt vergelijkbaar geacht met enkele minuten in de zon kijken.

Grosso modo omvatten deze beide klassen samen de lasers met maximaal 1 mW uitgangsvermogen. De lasers gebruikt in detectie- en meetsystemen vallen vrijwel alle in klasse I en soms in II. Aan deze systemen worden zelden bijzondere veiligheidseisen gesteld.

- **Klasse III**, de midden-risicoklasse:
  oogbeschadiging is mogelijk binnen de reflextijd.
- **Klasse IV**, de hoge-risicoklasse:
  grote kans op verbranding van huid, kleding, voorwerpen in de omgeving, ook explosiegevaar. Deze klasse omvat alle lasers met vermogen groter dan 500 mW.



Een produktiemachine in geopende (servicebeurt) toestand. De machine staat al bijna 5 jaar in een montagehal en wordt daar zonder problemen gebruikt voor het laser-trimmen van dunnefilmweerstanden op keramiekdrager.

176

Veilig werken met lasers

Het ligt voor de hand dat in het bijzonder lasers uit de klassen III en IV veilig moeten worden opgesteld. Het gebruik van een veiligheidsbril toegesneden op de gebruikte laser dient overwogen te worden, evenals werkkleding, die met een brandvertragend middel is geïmpregneerd.

Literatuur

[1] Volledigheidshalve: LASER: acroniem voor Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
Hier wil ik nog wijzen op een handig naslagwerkje door Jeff Hecht geschreven: The Laser Guidebook. Het geeft iets over de laserhistorie, de theorie en de optiek rondom de laser, en tenslotte een reeks hoofdstukken, ieder gewijd aan een bepaald lasertype. Alles heel compact, helder geschreven, een boekje om snel iets in op te zoeken over commercieel verkrijgbare lasers.
Het is uitgegeven door McGraw-Hill. Enkele jaren geleden betaalde ik *f* 200,- voor een gebonden exemplaar. Er is nu ook een paperback voor de helft van de prijs.

[2] D.H. Sliney and M.L. Wohlbarsht: 'Safety with Lasers and other Optical Sources'; a comprehensive Handbook. Plenum Press, 1980 New York and London.

[3] D.C. Winburn: 'Practical Laser Safety"; Marcel Dekker, 1990, New York.

[4] I.J. Arons: 'Laser Focus World', march 1992, p.53-62. Artikel over hoornvliesbewerking. Op pag. 54 geeft de auteur een overzicht van effecten van laserlicht op levend weefsel.

[5] Aanvaardbare niveaus voor micrometerstraling, Gezondheidsraad 1978, nr. 22, Staatsuitgeverij den Haag.

[6] Ontwerpnormen NEN-EN 207 en NEN-EN 208; oogbescherming tegen laserstraling, NNI 1985.

[7] DIN-bladen VGB 93, inclusief de Durchführungsregeln und Erläuterungen.

[8] American National Standard for the safe Use of Lasers; ANSI Z 136.1 - 1980; American Standards Institute, New York 1980.

[9] Threshold Limit Values for Physical Agents, adopted by ACGIH (American Conf. of Governmental Industrial Hygienists), 1987-1988, Cincinnatti.

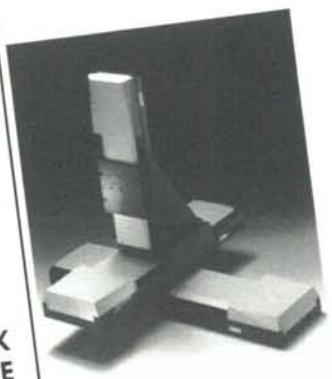
Behalve op bovenvermelde literatuur wil ik ook nog wijzen op de jaarlijks verschijnende ARBO Jaarboeken, een uitgave van NIA (Ned. Inst. v. ARBeidsOmstandigheden) en Kluwer.

Marc Mclear betoogt in een zeer recent artikel (Laser Focus World aug 1992, p. 111-116), dat de nieuwste laserveiligheidsbrillen veiliger, gebruiksvriendelijker en eleganter zijn dan de oudere nog veel gebruikte.

De 1992 Buyers Guide van Laser Focus World geeft een veertigtal bedrijven, die glas ter bescherming tegen laserstraling en veiligheidsbrillen op maat leveren.

Dr J.G. Siekman studeerde wis- en natuurkunde aan de R.U.G. Promoveerde daar op een kernfysisch onderzoek (ultra-korte levensduren). Werkte daarna bij Philips (C.F.T. en Nat. Lab.) en is sinds 1985 onafhankelijk adviseur en docent toepassingen van lasers en optische technologie.

U eist een uitzonderlijke POSITIONERINGS-NAUWKEURIGHEID



PHYSIK INSTRUMENTE is uw partner

De nieuwe serie lineaire translatoren (serie M 500 (100, 200 en 300 mm) garanderen u:
- nauwkeurigheid 1 micron
- positionerings-reproduceerbaarheid 0.1 micron (0.4 micron voor 300 mm uitvoering). Aandrijving middels stappenmotor of DC motor. Optioneel kan een Heidenhain-lineaal geintegreerd worden zodat absolute verplaatsingen bepaald kunnen worden.

Wij nodigen u graag uit tot een orientatie. Voor uitgebreide informatie en produktkatalogus

Tel. 04959 - 3300
Fax 04959 - 1153

APPLIED LASER TECHNOLOGY

main supplier

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

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

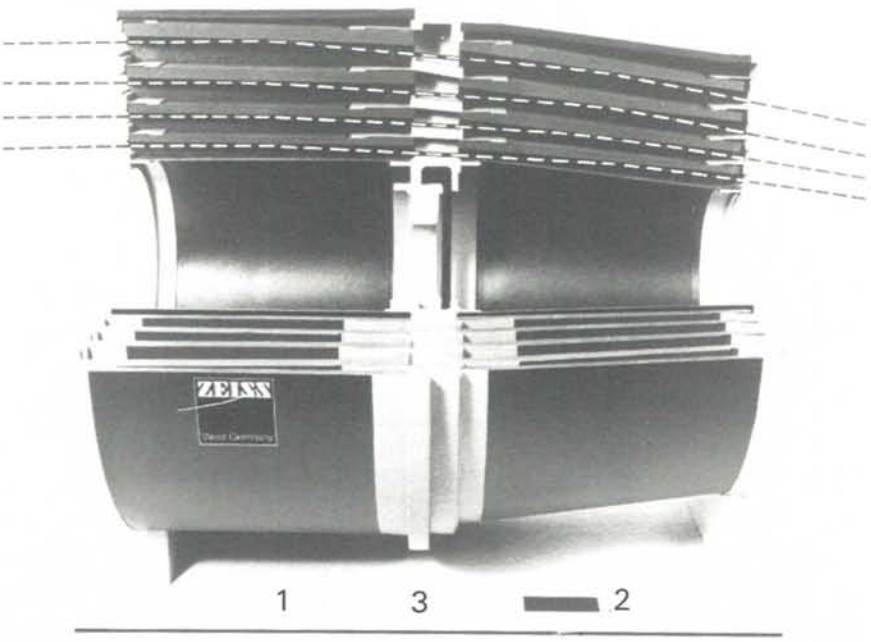
GROOT IN HET KLEINE

micro montage
Postbus 3108 - NL 3760 DC SOEST - Holland

Supergladde spiegelvlakken voor de röntgenastronomie-satelliet ROSAT

Erich Heynacker en Bernd Aschenbach

Het hart van de röntgenastronomie-satelliet ROSAT [1] is de door de firma Zeiss vervaardigde röntgenoptische spiegeltelescoop [2]. Het optisch principe van deze telescoop is hetzelfde als dat van de door de fysicus Hans Wolter in Kiel gebouwde röntgenmicroscoop [3]: de klassieke combinatie van een parabolisch spiegelobjectief en een hyperbolische spiegel als oculair. Een dergelijke combinatie behoudt zijn goede afbeeldingseigenschappen ook bij de scherende inval die voor de reflectie van röntgenstraling noodzakelijk is (figuur 1). Om bij deze scherende inval een voldoend groot stralingsinvangend oppervlak te krijgen, zijn beide spiegels uitgevoerd als viervoudige, concentrische stelsels. De diameter van de grootste spiegel is 83 cm en elk der spiegels is 50 cm lang. De hoek tussen het spiegeloppervlak en de invallende straling is gemiddeld 2°. Een goede afbeelding door dergelijke spiegels vereist in de eerste plaats zeer gladde oppervlakken, terwijl de vormnauwkeurigheid pas op de tweede plaats komt. De microruwheid van de spiegeloppervlakken mag hooguit een paar tiende nanometers bedragen, terwijl vormfouten van enige tientallen nanometers in de spiegel nog tolerabel zijn.



Figuur 1. Opengewerkt model van het spiegelsysteem van de ROSAT. 1 parabolische spiegels, 2 hyperbolische spiegels, 3 centrale bevestigingsflens.

Ruwheidsmetingen aan de spiegelvakken

Doelgerichte ontwikkeling van supergladde spiegels is pas mogelijk als men over adequate meetmethoden voor de bereikte gladheid van de spiegelvlakken beschikt. We gaan daarom eerst nader in op microruwheidsmetingen aan optische oppervlakken. De belangrijkste meetprincipes hiervoor zijn:

- mechanische aftasting,
- micro-interferometrie,
- meting van de in totaal verstrooide lichtintensiteit,
- meting van het strooiprofiel met röntgenstraling,
- tunnelmicroscopie en verwante methoden.

De vraag is nu welke van deze methoden in ons geval het best kan worden toegepast.

Een ding stond van het begin af aan vast: het Max Planck-instituut voor Extraterrestrische Fysica (MPE) in Garching had een röntgenmeting nodig om de uiteindelijke spiegelkwaliteit betrouwbaar te kunnen bepalen. Dergelijke metingen worden gedaan met langgolvige, dat wil zeggen weinig doordringende straling, en dit vereist meting in vacuüm. Bij Zeiss daarentegen was men het meest gebaat bij een zo eenvoudig mogelijk uitvoerbare werkplaatsmeting. Een betrouwbare vergelijking van de twee te gebruiken meetmethoden was dus van het grootste belang. Metingen aan verschillende, identiek bewerkte vlakke monsters was hierbij niet zinvol, voor betrouwbare resultaten moest na elk bewerkingsstadium aan de spiegels zelf kunnen worden gemeten.

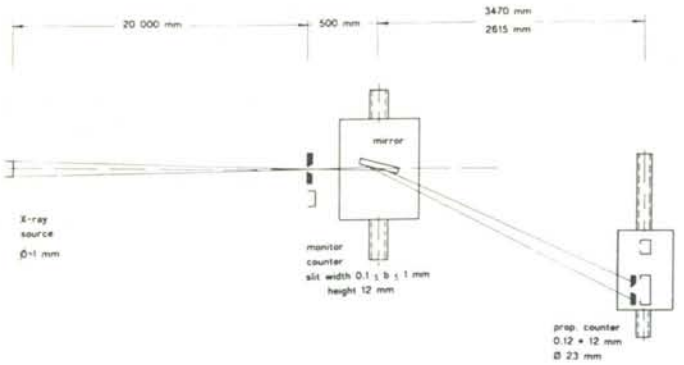
Voor de werkplaatsmeting kozen we uiteindelijk voor een micro-interferometrische methode. Een meetinstrument hiervoor, dat met geringe aanpassing voor ons doel geschikt zou zijn, was kort tevoren op de markt gebracht door de firma WYKO. We zullen nu nader ingaan op de beide gebruikte methoden voor oppervlakteruwheidsmetingen.

Meting van het röntgenverstrooiingsprofiel

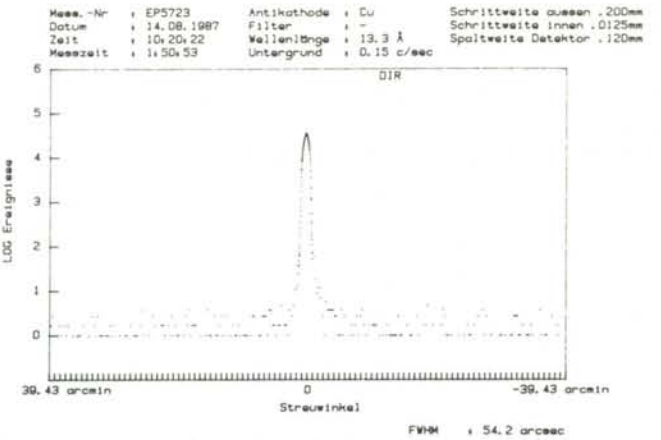
Vanwege het doel van de spiegels interesseert ons de verstrooiing van röntgenstraling tussen 0,1 en 10 nm golflengte, met een zwaartepunt bij 1 nm. Aangezien de brekingsindex voor röntgenstraling van de meeste materialen dicht bij 1 ligt, treedt totale röntgenreflectie alleen op bij scherende inval. De optimale glanshoek ligt bij 1–2° vanaf het oppervlak. Bij een vaste invalshoek neemt de reflectie toe met de golflengte maar ook met de elektronendichtheid in het spiegeloppervlak. Daarom zijn röntgenspiegels doorgaans bedekt met een dunne laag platina of iridium.

Rondom de spiegelend gereflecteerde straal treedt, door buigingsverschijnselen aan micro-ruwheden op het oppervlak, een halo van verstrooide straling op. Net als in het zichtbare deel van het spectrum, bestaat er voor röntgenstraling verband tussen de buigingshoek en de golflengte van een periodieke structuur op het oppervlak.

Supergladde spiegelvlakken voor de röntgenastronomie-satelliet ROSAT



Figuur 2. Principe van de PANTER, de röntgenapparatuur van het MPE voor het meten van de aan optische oppervlakken verstrooide straling.



Figuur 3. Intensiteitsprofiel van de invallende bundel.

Wanneer we uitgaan van de eerder genoemde waarden voor de golflengte (1 nm) en de buigingshoek (2°), dan blijkt de strooistraling die we vinden in een hoek tussen 10 boogseconden en 1° rond de spiegelende reflectie te worden veroorzaakt door oppervlaktestructuren met golflengten tussen 1,6 mm en 0,6 mm.
De structuur die een oppervlak vertoont als gevolg van het produktieproces, kan gevonden worden door de autocorrelatiefunctie van het ruwheidsprofiel te berekenen. De resulterende verdeling van de strooiingshoeken wordt vervolgens gevonden als de fourriergetransformeerde van deze autocorrelatiefunctie.
Metingen uitgevoerd door het MPE lieten zien dat voor het merendeel der onderzochte proefstukken de autocorrelatiefunctie benaderd kan worden door een exponentiële verdeling. De totaal verstrooide intensiteit is dan te vinden door een simpele integratie over alle strooihoeken. Lange series metingen lieten zien dat de röntgenverstrooiing zich op dezelfde manier laat beschrijven als die van zichtbaar licht [4], zij het met andere waarden voor de correlatielengten en de microruwheid.

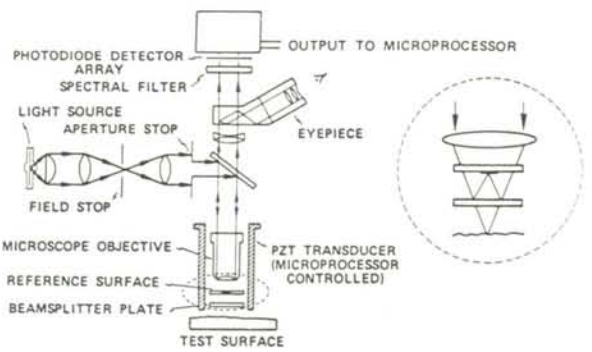
Figuur 2 toont het principe van de röntgenverstrooiingsmetingen. Het meetobject staat op een drie-assige manipulator, op ca. 20 m afstand bevindt zich de röntgenbron. De straling hiervan wordt met een nauwe spleet gecollimeerd tot een smalle bundel die op het te meten oppervlak valt. De verstrooide straling wordt op een afstand van 2,6 m gemeten met een proportionele teller.
Figuur 3 laat het intensiteitsprofiel zien van de invallende bundel, zoals dat ook als reflectie gemeten zou worden als daarbij geen strooiing zou optreden. Het bundelprofiel vertoont een intensiteitsverloop over meer dan vier decaden.

Micro-interferometrische bepaling van de oppervlakteruwheid

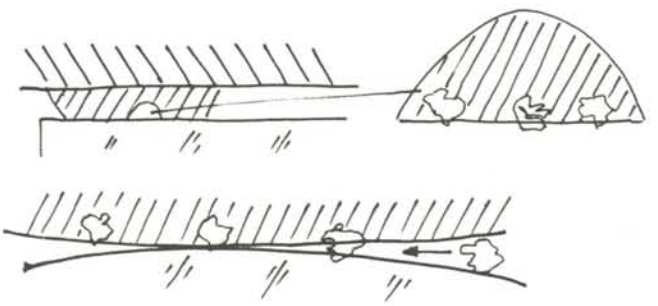
Het principe van het gebruikte ruwheidsmeetinstrument van de firma WYKO is weergegeven in figuur 4. Het is een interferentie-microscoop van het Mireau-type met piëzo-elektrisch aangedreven faseverschuiving en een rij detectordioden in het beeldvlak. De opstelling is bijzonder compact, waardoor de invloed van temperatuurvariaties in de omgevingslucht vrijwel verwaarloosbaar is.
Zoals uit de getoonde stralengang volgt, komt ook de ruwheid van het referentieoppervlak volledig tot uiting in de meetresultaten. Dit oppervlak moet dus ofwel veel gladder zijn dan het meetobject, ofwel er is een moeizaam middelingsproces nodig om de ruwheid van het referentievlak te elimineren. Onze spiegeloppervlakken waren ongeveer driemaal zo glad als de destijds beschikbare referentievlakken. Hierdoor werd het uitwerken van de meetresultaten tamelijk moeizaam, doch dit was slechts een schoonheidsfout en geen essentiële beperking.

Hoe maakt men optische oppervlakken met een slechts zeer geringe ruwheid ?

De bereikbare gladheid van een gepolijst oppervlak hangt in meerdere of mindere mate af van álle gebruikte slijp- en polijstbewerkingen. Worden er in de eerdere processtappen geen fouten gemaakt, dan bepaalt het polijstproces de kwaliteit van het uiteindelijke resultaat. Hierbij zijn



Figuur 4. Schema van de optische microruwheidsmeting met de apparatuur van de firma WYKO.



Figuur 5. Mechanische materiaalafname bij het polijstproces.

twee essentiële processen te onderscheiden voor het verwijderen van materiaal:
- mechanisch polijsten,
- chemisch polijsten.

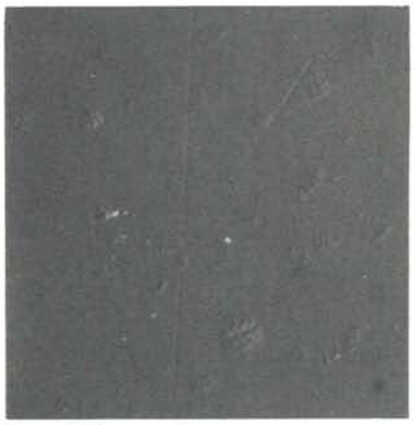
Het mechanisch polijsten is als volgt te beschrijven (figuur 5): in het oppervlak van een drager – doorgaans het klassieke polijstpek – zijn polijstmiddelkorrels ingebed. Zij steken slechts met punten uit het oppervlak en verwijderen tijdens het proces spanen van sub-nanometer afmetingen. Beweegt men het pek kris-kras, zonder een bepaalde voorkeursrichting over het werkstuk dan verkrijgt men een optimaal resultaat.

Bij het polijsten van asferische oppervlakken, zoals voor onze telescoop, is er een groot probleem: het gereedschap moet zich voortdurend aan de veranderende kromming van het werkstukoppervlak aanpassen. Is daarbij het gereedschap niet voortdurend geheel in contact met het werkstukoppervlak, dan zullen er losse polijstmiddelkorrels, of korrelaglomeraten, in de spleet tussen gereedschap en werkstuk raken – ook al is die spleet er soms maar voor een zeer kort moment. Sluit zich daarna de spleet weer, dan zal door een hele korrel een spaan van micrometers dikte worden afgenomen en er ontstaat een kras, honderd tot duizend maal dieper dan toelaatbaar.

Bij de chemische component van de polijstbewerking treden aan het werkstukoppervlak zeer ingewikkelde processen op. Er ontstaat een dunne, gehydrateerde oppervlaktelaag met een sterke ionenuitwisseling tussen werkstuk en polijstvloeistof. Dit kàn tot ernstige problemen leiden, maar indien goed beheerst, is de chemische component zeer effectief; zij levert waarschijnlijk zelfs een wezenlijk aandeel in het totale proces.

De microtopografie van een zeer glad oppervlak met een ruwheid van minder dan 0,5 nm rms (rms: root mean square – standaardafwijking) laat zich optisch slechts met grote moeite, of soms zelfs in het geheel niet meer zichtbaar maken. De beste resultaten bij optische ruwheidsmetingen worden verkregen door differentiëren van het bij reflectie ontstane golffront, zoals dat gebeurt bij het differentiaal-interferentiecontrast volgens Nomarski. De figuren 6 en 7 tonen oppervlaktestructuren waarin nog sporen van verspanende bewerking te herkennen zijn. Figuur 6 is verkregen door eenmaal differentiëren loodrecht op de bewegingsrichting (microruwheid 3,2 nm rms), figuur 7 door eenmaal differentiëren in de bewegingsrichting (1,5 nm rms). Deze oppervlakken waren niet door polijsten, maar door bewerken met een slijpschijf verkregen. De oppervlakken lijken op het

Figuur 6. Microscopische opname van een speciaal geslepen monster BK7-glas. Differentiaal-interferentiecontrast volgens Nomarski, loodrecht op de structuur in de ruwheid. Microruwheid 3,2 nm rms, breedte van het beeld 500 μm.



Figuur 8. Microscopische opname van een gepolijst Zerodur-monster met onregelmatig verdeelde fouten. Differentiaal-interferentiecontrast volgens Nomarski. Microruwheid 0,25–0,5 nm rms, breedte van het beeld 200 μm.

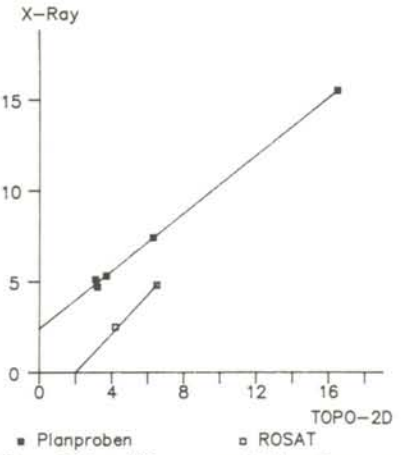
eerste gezicht gepolijst, hetgeen laat zien welke vooruitgang op het gebied van slijpen er inmiddels is geboekt.

Figuur 8 toont een oppervlak met zeer geringe microruwheid (0,25–0,5 nm rms) waarop voornamelijk sporen van chemische cavitatie te zien zijn. Deze opnamen laten duidelijk zien dat een meetmethode waarbij een oppervlak slechts langs een lijn wordt afgetast, in de problemen komt doordat de meetresultaten zeer sterk kunnen variëren met de keuze van plaats en richting van de meetlijn.

Het is bij dit soort oppervlakte-topografie vrijwel ondoenlijk om met een beperkt aantal metingen een goede karakterisering van een groot optisch oppervlak te geven.

Aftasten langs een lijn zal alleen dan zinvol zijn als het gelukt om over het gehele oppervlak een praktisch gelijke topografie te bereiken. Daartoe moeten de mechanische omstandigheden overal zo

Figuur 7. Als figuur 6, maar nu met het interferentiecontrast in de richting van de slijpsporen. Microruwheid 1,5 nm rms, breedte van het beeld 500 μm.



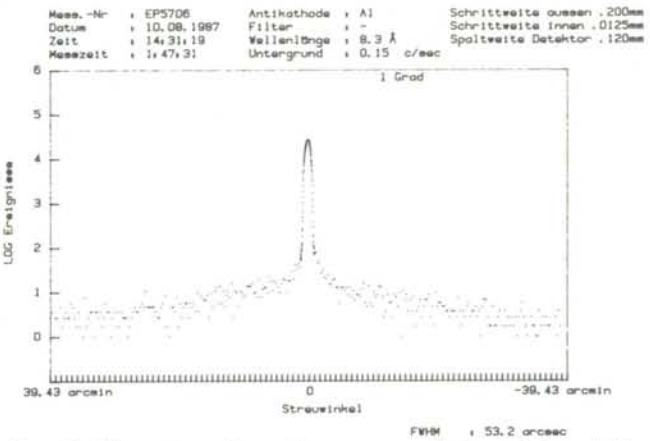
Figuur 9. Vergelijking van ruwheidsmetingen met röntgenverstrooiing en met microinterferometrie (WYKO) aan een aantal monsters met uiteenlopende ruwheid.

goed mogelijk dezelfde zijn, en moet chemisch polijsten zeer voorzichtig worden gebruikt. Alleen dan lukt het resultaten van topklasse te bereiken.

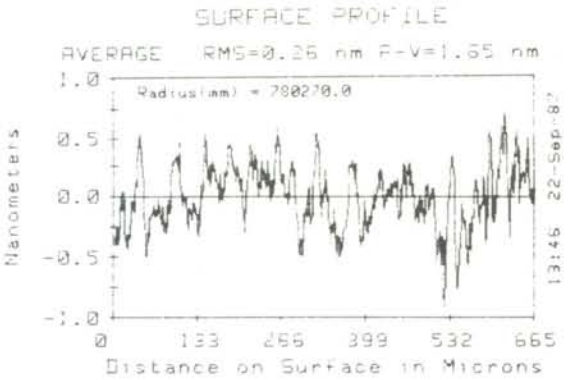
Meetresultaten

Als afronding van de voorbereidende werkzaamheden bij het MPE zijn een aantal vlakke proefmonsters gemaakt met verschillende polijstmethoden, om de correlatie tussen de resultaten van de twee meetmethoden te onderzoeken. In figuur 9 zijn de gemeten microruwheden van de verschillende monsters uitgezet. Verticaal staan de röntgenverstrooiingsmetingen, horizontaal de resultaten gemeten met de WYKO-apparatuur. Voor werplaatsmetingen is de correlatie tussen de verschillende resultaten verheugend goed te noemen. Het is echter ook duidelijk dat er geen absolute microruwheid is aan te geven, maar dat bij elk getal de meetme-

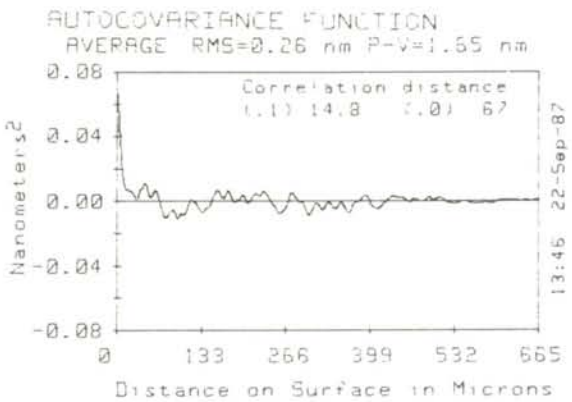
Supergladde spiegelvlakken voor de röntgenastronomie-satelliet ROSAT



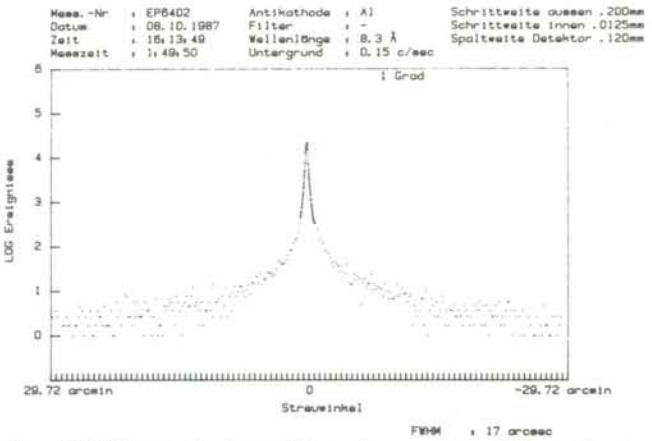
Figuur 10. Röntgenverstrooiingsmeting aan een gepolijst oppervlak; ruwheid 0,5 nm rms.



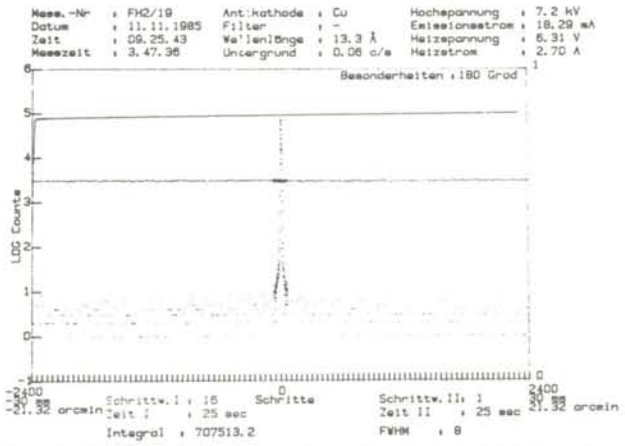
Figuur 11. Microruwheidsmeting aan het zelfde monster als in figuur 10; ruwheid 0,26–0,34 nm rms.



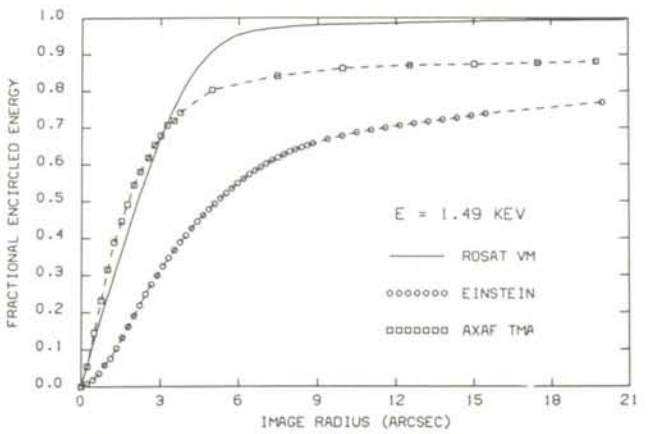
Figuur 12. Autocorrelatie-curve berekend uit het in figuur 11 gegeven ruwheidsprofiel.



Figuur 13. Röntgenverstrooiingsprofiel gemeten aan een gepolijst monster met een ruwheid van 1,6 nm rms.



Figuur 14. Röntgenverstrooiingsprofiel gemeten aan de beste ROSAT-spiegel; microruwheid 0,21 nm rms.



Figuur 15. Geïntegreerde intensiteitsverdeling in het beeld van een puntbron voor drie verschillende röntgenspiegelsystemen. Verticaal is uitgezet de totale energie binnen een cirkel met de horizontaal in boogseconden gegeven straal.

thode steeds nauwkeurig moet worden vermeld.

Figuur 10 geeft de röntgenverstrooiingsmetingen aan een monster met een microruwheid van 0,5 nm rms. Bij vergelijken met figuur 3 is de halo rond de spiegelende reflectie duidelijk te zien. Verder is er een 'onrust' in de metingen, die op een periodiciteit in de oppervlaktestructuur wijst; deze is ook duidelijk te herkennen in het ruwheidsprofiel in figuur 11. De voornaamste component in de structuur heeft een periode van 35 µm. De autocorrelatiefunctie in figuur 12 laat nog duidelijker een zekere periodiciteit in de structuur zien. In de microtopografische opnamen zijn hiervoor echter geen duidelijke aanwijzingen te vinden.

Figuur 13 geeft de röntgenmetingen aan het slechtste monster (1,6 nm rms) De curve vertoont in het midden een kleine

schoonheidsfout: als gevolg van de globale geometrie van het oppervlak is een zekere focussering van de straling opgetreden, waardoor de centrale piek in feite te scherp is. Afgezien daarvan is duidelijk dat, door de grote ruwheid, de halo rond de piek veel groter is. De verstrooiingsmeting aan de beste spiegel voor de ROSAT wordt, tenslotte, getoond in figuur 14. De microruwheid van deze spiegel bedraagt 0,21 nm rms.

Conclusies

Op grond van onze metingen aan supergladde oppervlakken kunnen we stellen dat röntgenverstrooiingsmetingen een krachtige methode leveren voor de kwalitatieve bepaling van de microtopografie van optische vlakken. Dit geldt voor ruwheidswaarden globaal in de range 0,2–20 nm rms.

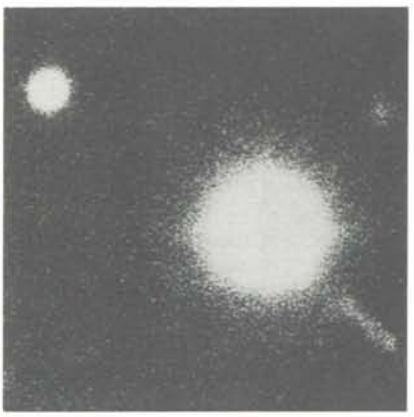
De micro-interferentiemetingen vormen een zeer geschikte praktische methode, vooropgesteld dat de onregelmatigheden in het oppervlak voldoend homogeen verdeeld zijn, zodat met een beperkt aantal metingen een representatief resultaat is te verkrijgen.

Wat de spiegels voor de ROSAT-telescoop betreft, kunnen we zeggen dat de methoden voor het maken van supergladde oppervlakken zover zijn verbeterd dat ruimschoots aan de gestelde eisen kan worden voldaan. Dit was al duidelijk bij het maken van het proefmodel; de definitieve ROSAT-spiegels blijken nog aanmerkelijk beter te zijn uitgevallen.

Figuur 15 toont de afbeeldingseigenschappen van de drie beste röntgentelescopen die tot nu toe zijn gebouwd:

- het proefmodel voor de ROSAT,
- de Amerikaanse Einstein-telescoop, de eerste astronomische röntgentelescoop [5],
- het proefmodel voor de Amerikaanse AXAF-TMA-telescoop, waarvan de bouw voor de tweede helft van de jaren 90 op het programma staat [6] (AXAF-TMA: Advanced X-ray Astrophysics Facility – Technology Mirror Assembly).

Bij de AXAF-telescoop is het doel een zo hoog mogelijk scheidend vermogen te bereiken, en dat is bij de TMA uitvoering gelukt. Een groot deel van de invallende energie wordt in het centrale deel van het beeld geconcentreerd. Bij 50% van de totale energie is de AXAF-TMA duidelijk beter dan het proefmodel voor de ROSAT, bij 80% liggen de verhoudingen echter reeds omgekeerd. Dit betekent dat, qua contrast de ROSAT beter zal zijn vanwege de geringere microruwheid van de spiegels. De spiegelruwheden:



Figuur 16. Lichtoptische afbeelding van de quasar 3C273. De intensiteit van de naar rechtsonder uit het centrum komende straal, afmetingen 2 bij 10 boogseconden, bedraagt 0,03% van de intensiteit in het centrum.

Figuur 17. Röntgenoptische afbeelding van de quasar 3C273, opgenomen door het Einstein-observatorium (foto: Harvard Centre for Astrophysics, Cambridge USA).

0,28 nm rms voor ROSAT, 1,3 nm voor AXAF-TMA en 2,0 nm voor de Einsteintelescoop resulteren in strooistralingsintensiteiten die zich verhouden als 1:20:50, aangezien de ruwheid kwadratisch voorkomt in de formule voor de intensiteit van de strooistraling. De praktische consequenties van deze verschillen worden duidelijk geïllustreerd door de voorbeelden in de figuren 16, 17 en 18. Figuur 16 is een lichtoptische opname van de quasar 3C273, een actief melkwegstelsel; de activiteit blijkt onder meer uit een lichtzwakke straal (jet) die uit het centrum komt. Figuur 17 is een opname van hetzelfde object gemaakt met de Einstein-röntgentelescoop. De straal is hier niet te zien doordat de strooistralenhalo het contrast te zeer vermindert. Figuur 18, tenslotte, toont een simulatie van de opname zoals die met de ROSAT-spiegels moet kunnen worden verkregen. De straal, met afmetingen van 2 boogseconden bij 10 boogseconden is duidelijk te herkennen, ofschoon zij 300 maal lichtzwakker is dan de centrale bron.

Figuur 18. Te verwachten afbeelding van de quasar 3C273 op basis van de kwaliteit van het ROSAT- verificatiemodel (computersimulatie).

Literatuur

[1] Voor een beschrijving van de röntgenastronomiesateliet ROSAT zie Mikroniek 32(1992)5, pp. 141-146.

[2] E.K. Aschmoneit; Das Universum wird geröntgt; Schott Information 1/1985, 14(1985).

B. Aschenbach; X-ray Telescopes; Reports of Progress in Physics 48, 579(1985).

B. Aschenbach; Design, construction and performance of the ROSAT high resolution X-ray mirror assembly; Applied Optics 27, April 1988.

[3] H. Wolter; Spiegelsysteme streifenden Einfalls als abbildende Optiken für Röntgenstrahlen; Ann. Physik 6.F. 10,94 (1952).

[4] Zie bijvoorbeeld: J.M. Bennet; Scattering and surface evaluation techniques for the optics of the future; Optics News 7/85, 17(1985).

[5] L. van Speybroeck; Einstein Observatory (HEAO-B) mirror design and performance; Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) 184,2 (1979).

[6] G.C.L. Wyman, C.C. Dailey, C. Reily, M. Weisskopf, P. McKinnon, D. Schwartz, L. van Speybroeck, M. Zombeck; The AXAF Technology Mirror Program: An Overvieuw; Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) 597,2(1985).

Dit artikel is een vertaling en bewerking van "Superglatte optische Flachen für den Röntgenastronomie-Satelliten ROSAT" verschenen in Zeiss Information 30, 27-32 (1988).

Auteursnoot

Erich Heynacher, Labor für Technologie- und Verfahrensentwicklung Optik Carl Zeiss, Oberkochen Deutschland.
Bernd Aschenbach, Max-Planck-Instituut für Extraterrestische Physik, Garching Deutschland.

Produktinfo

Eerste railgeleidingswagen met zelfinstelling.

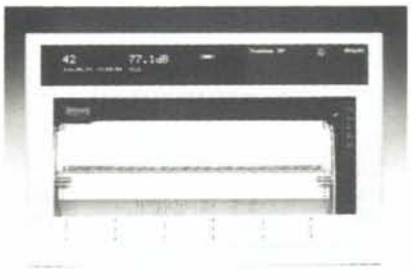
Koch Kleeberg voert sinds kort een reeks compacte railgeleidingswagens met zelfinstelling van de Deutsche Star. Deze wagens laat uitlijnfouten in de montage toe. Inwendige spanningen tengevolge van uitlijnfouten treden niet op. Uitlijnfouten tot 0,17 graden worden namelijk is beide langsrichtingen gecompenseerd. Voor de toepassing van deze wagens is alleen de berekende belasting belangrijk.

De railgeleidingswagen met zelfinstelling geeft een besparing op de fabricagekosten van constructies, omdat uitlijn- of montagefouten te tolereren zijn. Overigens kost de wagen zelf ook beduidend minder dan de nu gebruikelijke railgeleidingswagens.
De nieuwe railgeleidingswagen is te vergelijken met de Star super kogelleibus; destijds de eerste kogelleibus met zelfinstelling. De kantelbare loopsegmenten compenseren onvolmaaktheden in het montagevlak zonder dat de loopeigenschappen worden beïnvloed.
De wagens staan snelheden tot 5 m/s toe. De draaggetallen zijn in alle richtingen gelijk. De wagens worden standaard geleverd met 2% voorspanning; zijn compleet afgedicht met vervangbare afdichtingen en voorzien van nasmeermogelijkheden.
De breedte en lengte van het kleinste type bedragen respectievelijk 34 mm en 40,5 mm.

Voor uitvoerige info:
Koch Kleeberg
Postbus 1069, 1300 BB Almere
Telefoon: 03240 - 20 504.
Fax: 03240 - 22 548.

Snelle meerkleurenrecorder

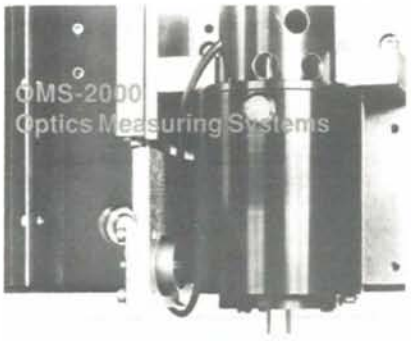
Philips Industriële Automatisering brengt sinds kort een nieuwe meerkleurenrecorder met microprocessorbesturing. Deze recorder is in staat binnen één seconde dertig meetpunten af te tasten en op 250 mm breed papier af te drukken. De nieuwe recorder, de Transokomp 300, kan de dertig kanalen met verschillende kleuren registreren. Iedere twee seconden worden alle kanalen afgetast, de meetwaarden rekenkundig bewerkt en de punten geregistreerd. Tot de diverse bewerkingsfaciliteiten, die optioneel te verkrijgen zijn, behoren mathematische, statische, logische en relationele functies. De computerbewerkingen worden uitgevoerd door een ingebouwde microprocessor.
Ondanks het hoge technische niveau kan de Transokomp 300 op een eenvoudige wijze worden geconfigureerd en geprogrammeerd. Daartoe wordt gebruik gemaakt van functietoetsen en een interactieve display, waarmee de instellingen worden geselecteerd via diverse menu's. De fluorescerende display heeft royale afmetingen en bevat twee regels alsmede een veld voor alarmmeldingen. Weergegeven worden de meetgegevens (kanaalnummer, meetwaarde en technische eenheid) plus een staafdiagram, een klok, de alarmstatus, de relais-status, de programmagegevens, batterijstatus en het registratieformaat (TREND/LOG). Er zijn zes alarmfuncties voor de absolute waarde, de verschilwaarde en het verloop (langzaam/snel).
Geheugenkaarten zijn als optie verkrijgbaar. De 64K-uitvoering kan worden gebruikt voor het opslaan van configuratiegegevens; met de 256K- en de 512K-uitvoeringen kan men bovendien meetresultaten opslaan. De kaarten worden ook toegepast voor 'save'-opdrachten. Deze kunnen worden geïnitieerd vanaf het bedieningspaneel, door een alarmmelding, door een ingangssignaal aan de achterzijde of bij het opraken van het papier.



Communicatie met een PC is eveneens als optie mogelijk. Via een RS422 interface kunnen meetresultaten van de recorder naar de PC worden overgebracht en instrumentinstellingen van de PC naar de recorder.

Voor uitvoerige info:
Postbus 90050, 5600 PB Eindhoven
Telefoon: 040 - 782 792

Brochure over lensmeetsystemen



Anorad's OMS 2000 lensmeetsystemen worden in deze informatieve zes bladzijden tellende brochure beschreven. Een overzicht van speciale kenmerken beschrijft de OMS 2000 componenten, onder andere de speciale granieten op een luchtlagersysteem geplaatste draaitafel met x-y centreringsinrichting en de koppeling die verticale bewegingen isoleert.
Drie standaardmodellen worden en detail besproken waaronder de volledige specificaties voor de slag, diameter van de draaitafel en belastbaarheid; de contactdruk van de Micro touch Sensor; en de orthogonaliteit van de referentie-

spiegel. Een leesbare grafiek geeft tevens aan de meetnauwkeurigheid, herhalingsnauwkeurigheid en resolutie. In de brochure worden alle aspecten van de OMS 2000 systemen behandeld zoals de constructie, positioneersystemen, lineaire aandrijfmotoren, terugkoppeling met laserinterferometer, de Micro Touch Sensor en een als optie te verkrijgen contactloze lasersensor.
Voorts wordt besproken de besturingsmogelijkheden van de systemen met voorbeeldmetingen/-analyses en functionele aspecten. Op maat ontworpen lensmeetsystemen worden beknopt behandeld om Anorad's mogelijkheden in deze markt te illustreren.

Voor uitvoerige info:
Anorad Europa B.V.
Postbus 792
5550 AT Valkenswaard
Telefoon: 04902 - 89 238.
Fax: 04902 - 46 862.

Veiligheids-blaaspistool

Blaaspistolen zijn praktische hulpmiddelen, die in tal van produktieprocessen voor diverse toepassingen te gebruiken zijn, zoals het wegblazen van stof tijdens de fabricage, het transporteren van produkten en het koelen van geproduceerde onderdelen. Gezien de hoge uitlaatdruk waarvan daarbij veelal sprake is, kunnen deze blaaspistolen echter voor mens en machine nogal eens wat risico's inhouden.
Naast de normale modellen is daarom door Legris B.V. nu ook een speciaal veiligheids-blaaspistool met drukregelaar ontwikkeld, waarmee onder alle omstandigheden zonder enig gevaar te werken is. Bij dit nieuwe pistool (dat als type 0654 op de markt wordt gebracht) zorgt een ingebouwde cilinder ervoor dat de uitlaatdruk direct terugvalt zodra het spuitmondstuk in de nabijheid van of in aanraking met een obstakel komt, ongeacht de aard en omvang van deze belemmering. Tijdens normaal gebruik beweegt de veiligheidscilinder onder invloed van de persluchtdruk naar voren,

waarbij een speling wordt aangehouden die voldoende is voor een uitlaatdruk van 2,3 bar (bij een voedingsdruk van 6 bar). Wordt het mondstuk echter door een hindernis geblokkeerd, dan beweegt de cilinder in drie stappen (afhankelijk van de mate van obstructie) in tegengestelde richting. Uiteindelijk wordt aldus de druk teruggebracht van 2,3 bar tot niet meer dan slechts 0,5 bar. Evenzo wordt de druk weer automatisch – zonder reset – opgebouwd zodra het mondstuk niet meer in de buurt van de belemmering is. Bij dit lichtgewicht blaaspistool mag de persluchtdruk maximaal 10 bar bedragen. Bij een druk van 6 bar komt de uitstroomhoeveelheid op 255 Ndm^3/min. Er kan zowel met droge als met gesmeerde perslucht gewerkt worden, terwijl de luchttemperatuur -15°C tot +50°C mag zijn. Met een geluidsniveau van max. 83,3 dB(A) voldoet dit pistool aan de Arbo-voorschriften en mag het als geluidsarm worden aangemerkt. Het pistool 0654 wordt met vaste spuitmond geleverd.
Naast dit type heeft men echter ook diverse gewone blaaspistolen (zonder geïntegreerde veiligheidscilinder) met verwisselbare mondstukken beschikbaar.

Voor uitvoerige info:
Legris B.V.
Postbus 74, 1380 AB Weesp
Tel: 02940 - 802 09
Fax: 02940 - 802 94

Digitale geheugenoscilloscoop

De nieuwe digitale geheugenoscilloscoop 465 DSO van Gould is uitgerust met twee kanalen van 100 MHz, simultaan te bemonsteren met een snelheid tot 200 Ms/s. Bij periodieke ingangssignalen (golfvormen) is zelfs 2 Gs/s te bereiken. De scoop kan evengoed overweg met pulsen als met periodieke signalen. Tot de speciale eigenschappen behoren een moderne SCPI-interface (IEEE-488.2), een ingebouwde vierkleurenplotter en alle functies voor het meten en analyseren van golfvormen. Dankzij de compacte behuizing en robuuste constructie kan dit instrument tegen een stootje, niet alleen op een volle werkbank, maar ook op lokatie.
Voor nadere info:
Simac Electronics bv
Postbus 340, 5500 AH Veldhoven
Telefoon: 040-582911

TME Components vertegenwoordigt SGS-Thomson.

SGS-THOMSON heeft TME COMPONENTS aangesteld als gespecialiseerd distributeur voor haar divisie subsystems.
Deze divisie produceert:
- industriële DC/DC converters,
- DC/DC converters voor telecom / ISDN,
- stappenmotorbesturingen,
- RF-transistoren.

De nu gesloten overeenkomst houdt in de TME COMPONENTS uitgebreide technische ondersteuning geeft aan de potentiële afnemer bij het toepassen van deze componenten.
De gespecialiseerde kennis binnen TME COMPONENTS wordt geoptimaliseerd door interne trainingen bij SGS-THOMSON waardoor een stuk toegevoegde waarde gecreëerd wordt.
Tevens houdt de overeenkomst in dat TME COMPONENTS een brede voorraad houdt van deze componenten waardoor snelle levering, vaak gewenst bij ontwikkeling van een (nieuw) produkt, tot de mogelijkheid behoort.

Voor uitvoerige info:
TME COMPONENTS BV
Helftheuvelweg 83,
5224 AS 's-Hertogenbosch
Telefoon: 073 - 221 010.

Persluchtventielen met grote doorstroomcapaciteit bij minimale afmetingen

Gezien het toenemende belang van de elektronica in de automatisering is er steeds meer vraag naar pneumatische componenten die geïntegreerd kunnen worden in elektronische laagspanningssystemen. Speciaal hiervoor presenteert het Italiaanse bedrijf Univer thans een serie miniatuurventielen, de Compa 2 met een doorlaat van 2 mm. Het betreft hier een compleet programma 5/2- en 5/3-ventielen die slechts een vermogen vergen van 1,5 W. Gegeven de minimale afmetingen mag de doorstroomcapaciteit groot worden genoemd, en wel 150 Ndm^3/min. Leverbaar voor zowel basisplaatmontage als met M5 aansluitpoorten. Binnen het modulaire systeem is in principe iedere gewenste opbouw mogelijk. Bediening: pneumatisch gestuurd/veerretour, handbediend of door middel van een stuurventiel. Aanspreek- en te-

rugsteltijden afhankelijk van de uitvoering 4 ms tot max. 14 ms.
De ventielen zijn geschikt voor een werkdruk van 150 kPa tot 1 MPa (1,5-10 bar). Met het oog op de pneumatische karakteristieken wordt aanbevolen deze ventielen te gebruiken voor cilinders met boringen van 8 mm tot 32 mm. Ze zijn geschikt voor gebruik zowel met gesmeerde als met ongesmeerde perslucht. De mediumtemperatuur mag daarbij -20°C tot +50°C bedragen; toegestane omgevingstemperatuur -10°C tot +45°C. Compleet waterdichte uitvoering behoort desgewenst tot de mogelijkheden.
Alle ventielen zijn standaard voorzien van een geïntegreerde noodhandbediening; op verzoek kan deze ook aan de voor- of bovenzijde aangebracht zijn. een met instant-koppelingen uitgeruste aansluitplaat (via een adapter geschikt voor DIN-railmontage) is leverbaar.

Voor uitvoerige info:
Pneu/Tec BV
Postbus 416, 2130 AK Hoofddorp
Telefoon: 02503-36611
Fax: 02503-32465

Schreuder presenteert omvangrijk programma van precisie-slijpspillen

Een nieuwe catalogus bevat het complete slijpspillenprogramma van het Duitse bedrijf Fortuna; alle typen worden uitgebreid beschreven, compleet met maatschetsen, technische specificaties en toerental/belasting-diagrammen. Het betreft hier een bijzonder breed programma, waarbinnen voor het bewerken van diverse serieprodukten en allerlei regelmatig terugkerende machinale bewerkingen uiteenlopende precisie-spillen beschikbaar zijn. Kenmerkend voor deze spillen is vooral de degelijke uitvoering. Zo zijn ze uitgerust met een fors gedimensioneerd lager, dat voorgespannen is met behulp van een veersysteem; een en ander houdt in dat er nooit nagesteld hoeft te worden. Belangrijk is voorts dat de complete spillen zodanig uitgebalanceerd zijn, dat men een rondloopnauwkeurigheid van minder dan 0,002 mm bereikt. Met name bij extra lange spillen voor diepe boringen is deze nauwkeurigheid vanzelfsprekend essentieel. Ten slotte wordt gewezen op de levensduursmering en het bij deze slijpspillen toegepaste slijtagevrije afdichtingssysteem.

Globaal gezien valt het Fortuna-programma in twee delen uiteen.
Allereerst zijn er de FA/FI-spillen, die geschikt zijn voor een overwegend radiale belasting en normale axiale belasting. Deze kunnen bij zeer hoge toerentallen worden ingezet; de spillengte is echter beperkt. Deze spillen zijn bedoeld voor bewerkingen als binnenslijpen, vlakslijpen, graveren, uitbalanceren, polijsten, boren, zagen en frezen.
Daarnaast de FAV/FIV-spillen. Dit zijn versterkte uitvoeringen, waarbij de axiale belasting hoger mag zijn; de inwendige constructie maakt aanzienlijk grotere bouwlengtes mogelijk. Deze spillen worden aanbevolen voor tandflankslijpen, doorslijpen, schroefdraadslijpen, het slijpen van spiesleuven en gereedschapslijpen.
Standaard zijn slijpspillen met diameters van 32 mm tot 120 mm beschikbaar, terwijl de lengte 125 mm tot 1250 mm kan bedragen. De FI- en FIV-typen zijn spillen met inwendige conus; de FA- en FAV-modellen zijn aan de gereedschapzijde met een buitenconus uitgevoerd.
Ook afwijkende spilafmetingen en uitvoeringen zijn leverbaar.

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

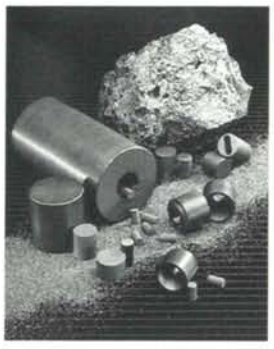
Stork Mufac verlaagt drempel voor toepassing van DNC.

Gereedschapsmachine-specialist Stork Mufac introduceerde in samenwerking met Philips Nederland Industriële Automatisering een speciaal softwarepakket, waarmee toepassing van DNC (Direct Numerical Control) in de werkplaats op eenvoudige wijze mogelijk wordt gemaakt. Het grote voordeel van het werken met DNC is hier, dat men de bewerkingsprogramma's voor CNC-gereedschapsmachines op een centrale locatie kan opslaan. Deze programma's zijn daarbij te allen tijde vanaf iedere plaats in het bedrijf door de machine-operator op te roepen, *zonder dat gebruik hoeft te worden gemaakt van papertape of andere informatiedragers.*

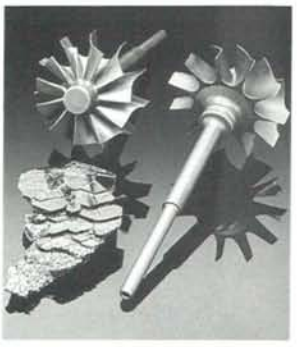
Het door Philips ontwikkelde softwarepakket - met type-aanduiding CDS 2.0 - draait op iedere IBM/PC-AT of compatible PC en kan met een diversiteit van CNC-systemen samenwerken. Met behulp van het pakket beschikt men direct over uitgebreide faciliteiten om alle werkstukprogramma's en gereedschapsgegevens tussen de centrale personal computer en de CNC-frees- of draaibank uit te wisselen. Via het menugestuurde programma kan de machine-operator zelf simpelweg de gewenste gegevens uit de PC oproepen, dan wel deze in het geheugen van deze computer vastleggen. Door middel van een helpfunctie wordt desgewenst een korte verklaring bij de verschillende programmastappen gegeven, terwijl eventuele foutmeldingen in duidelijke taal weergegeven worden. Aldus is men voortdurend van een grote gebruiksvriendelijkheid verzekerd. Met het softwarepakket CDS 2.0 zijn gelijktijdig maximaal acht CNC-machines van informatie te voorzien. Door het hanteren van een password wordt ongeautoriseerd gebruik uitgesloten. Stork Mufac verzorgt de complete implementatie van de hardware en software.

Voor uitvoerige info:
Stork Mufac
Postbus 2079, 7550 CB Hengelo
Telefoon: 074 - 403 828
Fax: 074 - 403 899.

ceratec® TECHNISCHE KERAMIEK B.V.

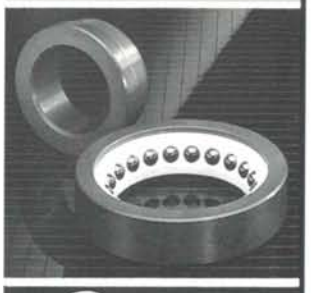


Van poeder tot vormprodukt



WIST U DAT: SiC glijlagers in abrasieve media kunnen draaien.
Si_3N_4 kogellagers zonder smering met hoge toerentallen kunnen draaien.
B_4C nozzles 50 maal langer meegaan dan hardmetalen nozzles.
BN kroezen bestand zijn tegen vloeibaar aluminium.

Materialen	Eigenschappen	Enkele toepassingen
SiC siliciumcarbide α SiC Si-vrij	Zeer slijtvast Absoluut chemisch bestendig Goede thermoshockbestendigheid Lage wrijvingscoëfficiënt Laag gewicht	Glijlager (SiC op SiC) Mechanical seals Cilinders, plunjers Matrijzen Straalnozzles Kroezen
Si_3N_4 siliciumnitride elektrisch isolerend of vonkerodeerbaar	Hoge slijtvastheid Hoge sterkte, taaiheid Hoge thermoshockbestendigheid Chemisch bestendig (gesmolten metalen)	Smeringloze kogellagers Matrijzen Afsluiters Kroezen
B_4C boriumcarbide	Zeer hard Slijtvast	Droogsproei-, zandstraalnozzles Matrijzen Zeer hoogwaardig pantserplaat Läpp-poeders
BN boriumnitride	Relatief zacht Goed bewerkbaar Geen bevochtiging van vloeibare metalen	Kroezen Hoogspanning doorvoeren Hoogtemperatuur smeermiddel
AlN aluminiumnitride	Hoge warmtegeleiding Chemisch bestendig	Onderdelen voor warmtewisselaars Substraten
ZrO_2 zirkoonoxyde	Hoge gebruikstemperatuur Warmte isolator Hoge sterkte, taaiheid	Zuurstof sensors Maalkogels Buizen
Al_2O_3 aluminiumoxyde	Elektrische isolator Slijtvast Hoogtemperatuur bestendig	Onderdelen voor de Ovenbouw Thermokoppelbuizen Machineonderdelen
Robijn rood **Saffier kleurloos**	Hoge oppervlaktekwaliteit Chemisch bestendig Translucent	Precisiekogels 0,1 Um tolerantie Kogelventielen tot 1.000 bar Optische precisieonderdelen



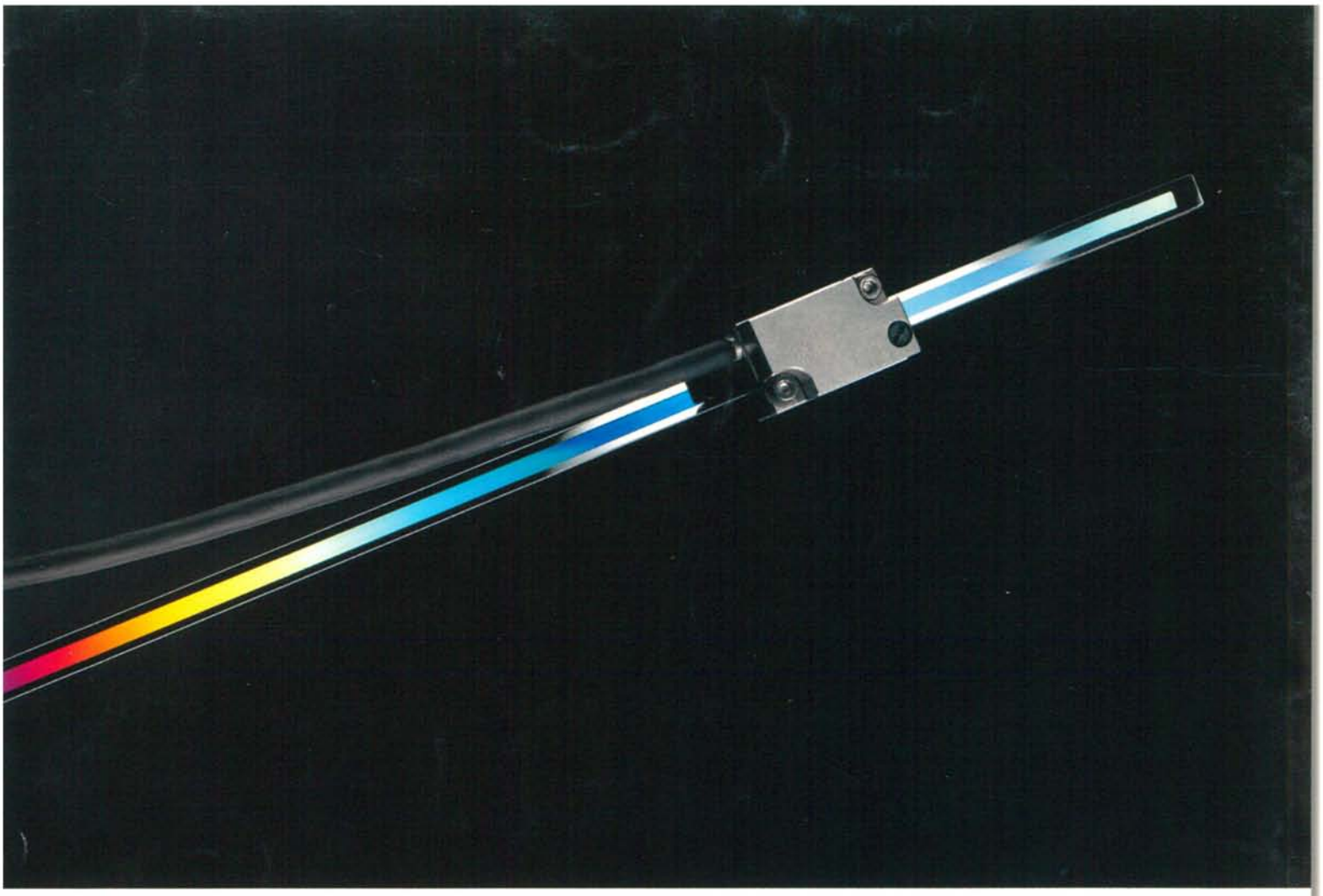
ceratec®

ADVIES - ONTWERP - LEVERING - BEWERKING

Tel. (03455) 7 56 21 - Telefax (03455) 7 72 15 - Postbus 57 - 4190 CB Geldermalsen

*Alleenvertegenwoordigingen: Saphirwerk Industrieprodukte **(SWIP)** - Elektroschmelzwerk Kempten **(ESK)***

BIG



Naast onze LIP kunnen laser-interferometers behoorlijk ouderwets overkomen. Overal daar, waar het op de hoogste nauwkeurigheid aankomt, bijv. bij het diamantdraaien aan ultraprecisie machines of aan installaties in de halfgeleider industrie, is er een nieuwe lineaal: de interferentiële lineaal van HEIDENHAIN. Anders dan bij de laser-interferometers wordt hun nauwkeurigheid niet door brekingsindex schommelingen beïnvloed. Zo bereiken de LIP's nanometer-meetstappen; de nauwkeurigheid bedraagt ± 0,1 µm. En desondanks zijn de LIP's uitermate gemakkelijk te monteren (grote aanbouw toleranties). Ook hebben de laser-interferometers geen referentiepunt, die een meetstap ondubbelzinnig kenmerkt. Om over de prijs maar te zwijgen. Sorry lieve laser-interferometers!

HEIDENHAIN NEDERLAND B.V.
Landjuweel 20 - 3905 PG Veenendaal
Postbus 107 - 3900 AC Veenendaal
☎ (08385) 40300 FAX (08385) 17287

HEIDENHAIN