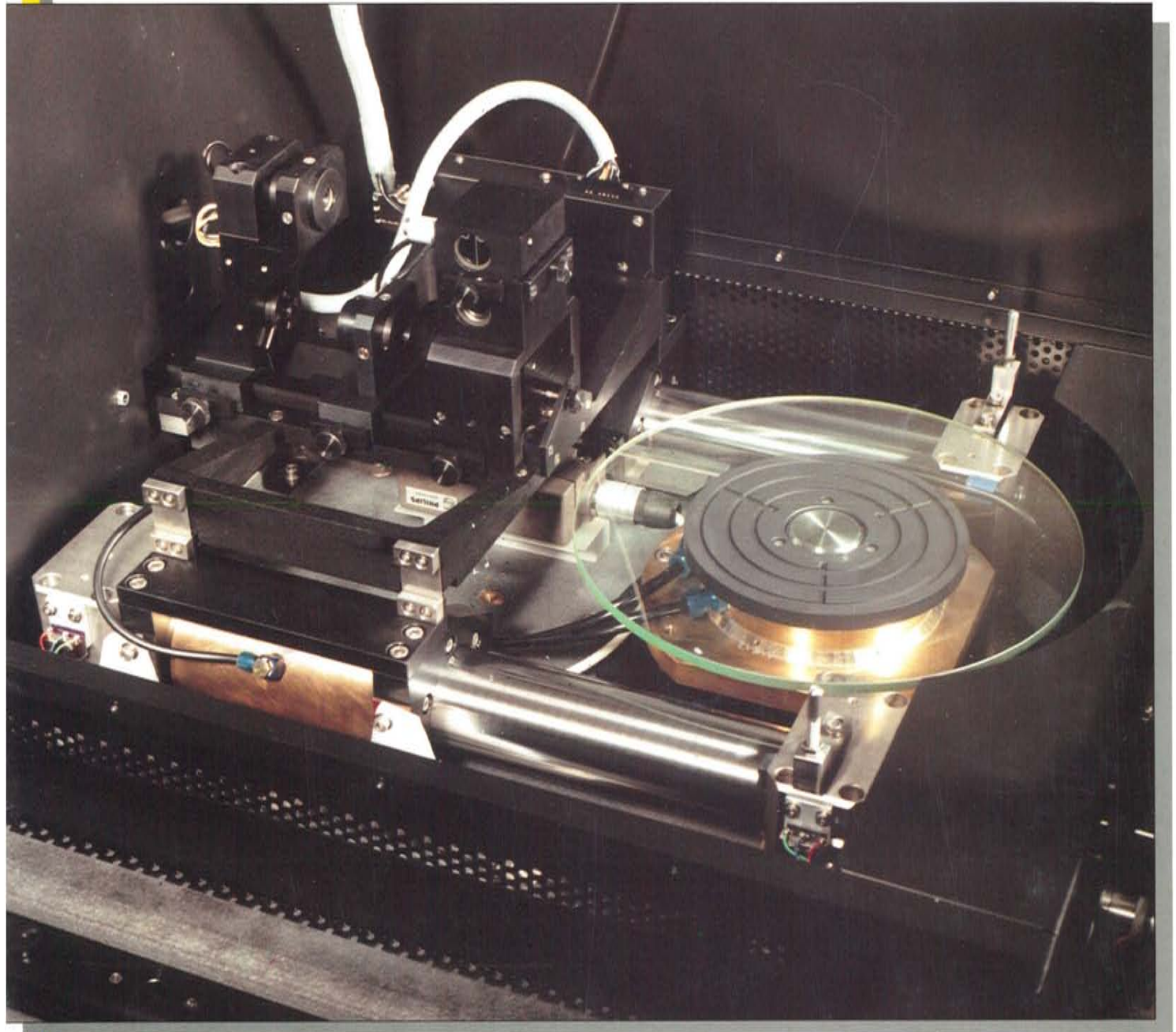


jaargang 31, nummer 2

# Mikroniek

NVFT

VAKBLAD FIJNMECHANICA



Optical disc mastering - Hoogfrequent frezen  
Magneto-optisch opnemen en wissen

De Technische Universiteit Eindhoven is een 'high tech'-universiteit. ■ Zij concentreert zich op fundamenteel technologisch onderzoek en op hoogwaardig onderwijs aan toekomstige ingenieurs, ontwerpers en onderzoekers. ■ Kwaliteit staat hierbij voorop. ■ De TUE is dan ook hard op weg naar de internationale top.



Technische Universiteit Eindhoven

high tech

**DE CENTRALE TECHNISCHE DIENST (CTD)** is het interne ingenieursbureau van de universiteit en levert technische ondersteuning aan het wetenschappelijk onderzoek en het universitair onderwijs. De technische faciliteiten zijn ondergebracht in stafgroepen en omvatten ontwikkeling en advies, prototype-ontwerp en -vervaardiging. De werkgebieden van CTD zijn werktuigbouwkunde, elektrotechniek en elektronica, fysische techniek, glasbewerking en reproductie en fotografie.

## Instrumentmaker m/v voor een functie met perspectief

Het betreft een functie bij de stafgroep Constructie en Technologie van de CTD. Deze groep richt zich vooral op het ontwerpen en vervaardigen van fijnmechanische producten en apparaten, van hoogwaardige vacuümapparatuur tot positioneringsmechanismen met submicron-nauwkeurigheid. De groep beschikt over modern geoutilleerde werkplaatsen. Naast reguliere worden er ook bijzondere technologieën toegepast.

### uw taken

Zelfstandig zorgt u voor het construeren, monteren en installeren van instrumenten, apparaten en onderdelen. U levert bijdragen vanuit uw eigen vakkennis aan het ontwerpen van die instrumenten en helpt ook mee om nieuwe technieken en technologieën geschikt te maken voor toepassing.

### wat wij vragen en bieden

U hebt een vaktechnische beroepsopleiding op middelbaar niveau: Leidse Instrumentmakerschool (B). Praktische kennis van fijnmechanische productietechnieken en constructiemethoden is vereist. Verder bezit u goede contactuele eigenschappen en communicatieve vaardigheden. Wij bieden u een aanstelling voor een proeftijd van maximaal twee jaar met uitzicht op een vast dienstverband. Uw salaris, afhankelijk van uw leeftijd en ervaring, bedraagt maximaal f 3.736,- bruto per maand. Ook kunt u rekenen op gerichte opleidingsfaciliteiten waardoor u uw vakkennis kunt verbreden en die u tevens perspectieven bieden op zwaardere functies.

Met het oog op het streven naar de opbouw van een evenwichtiger personeelsbestand worden vrouwen nadrukkelijk uitgenodigd te solliciteren.

### hoe u kunt reageren

Uw schriftelijke sollicitatie kunt u richten aan ir. G. van Drunen, directeur van de Centrale Technische Dienst, Technische Universiteit Eindhoven, postbus 513, 5600 MB Eindhoven, onder vermelding van vacaturnummer V 09026. Nadere inlichtingen: het secretariaat van de Centrale Technische Dienst, telefoon 040-473659.



u

n

h

v

e

r

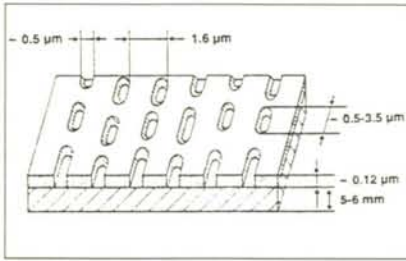
s

u

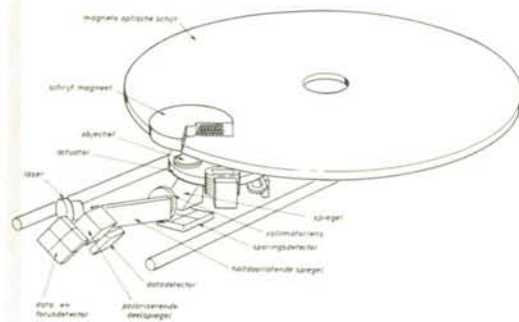
t

v

## In dit nummer



Zie pagina 33



Zie pagina 39



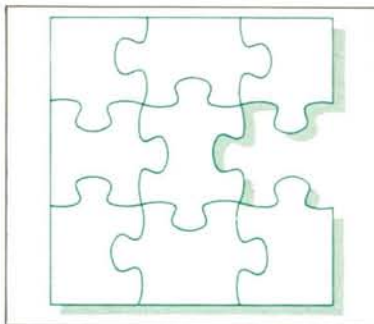
Zie pagina 48

- 30 **Editorial**  
J. Verkerk
- 31 **Verenigingsnieuws, feiten, data, mensen**
- 35 **Optical disc mastering**  
E.J. Mulder
- 38 **Lucy zet zwaar gehandicapte aan het werk**
- 39 **Magneto-optische audio-discrecorder**  
Th. van Gelder
- 45 **Magneto-optische video-discrecorder is geen fictie meer**  
Th. van Gelder
- 31 **Verenigingsnieuws, feiten, data, mensen**
- 48 **Hoogfrequent frezen**  
J. Verkerk
- 53 **Mechanismen ontwerpen met computer II**
- 54 **Productinfo**

*Bij de foto op de voorpagina:*

Laser Beam Recorder voor het maken van moedermatrijzen voor laserdiscs (Compact Disc, Laservision en CD-ROM). Zichtbaar zijn de glazen masterdiscs en de luchtgelagerde slede met de schrijfoptiek. Door de combinatie van mechanica, elektronica en optica is een uniek produkt ontstaan.

Soms  
ligt  
er  
maar  
een  
klein  
stukje  
tussen  
probleem  
en  
oplossing.



Soms ontbreekt het aan een specifiek stukje precisiewerk. De oplossing heeft u misschien in uw hoofd, maar niet in uw handen.

Leg uw probleem dan eens voor aan Dinfa, de meeden-

kende perfectionisten. Opdrachtgevers met uiteenlopende problemen helpen we aan elk gewenst onderdeel of apparaat, waarbij we al heel vroeg meedenken over de beste oplossing. Hoe de specificaties ook worden aangeleverd, Dinfa werkt ermee. Engineering verzorgen of testen? Co-makership? Met Dinfa als partner wordt het een stuk eenvoudiger!



Staatjes van vaak opvallende oplossingen tonen aan dat we er de mensen en de technische outillage voor hebben.

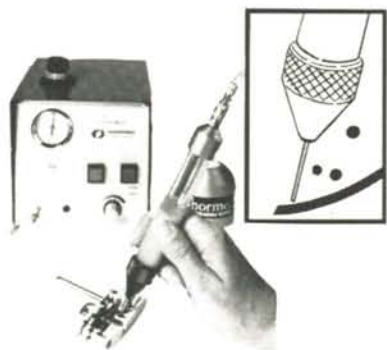


Dinfa: De passende oplossing voor uw probleem.



Fultonstraat 11, Postbus 45, 2690 AA 's-Gravenzande.  
Telefoon 01748-14441. Telefax 01748-20100.

## hormec technic



Nauwkeurig en lekvrij doseren van olie, vet, lijm en pasta's met de doseerkoppen van Hormec Technic

Komponenten, handapparatuur en doseerautomaten.

micro  montage

Postbus 3108  
Tel. 02155-26400

3760 DC Soest  
Fax 27200

## ALS HET ECHT ROND MOET ZIJN

### PRECISIEKOGELS VAN 0,3 TOT 50 MM

uit:

- Robijn
- Saffier
- Aluminiumoxyde
- Siliciumnitride
- Titaancarbide

Rondheid-tolerantie: < 0,1 micron

- slijtvast
- chemisch bestendig
- licht gewicht en
- temperatuurbestendig

Voor nadere informatie:

**ceratec**® b.v. technische keramiek

Postbus 66 - 4175 ZH Haften - Nederland

Tel. 04189-2222 - Telefax 04189-1872

**ADVIES - ONTWERP - LEVERING**



## Editorial

## Wat heb je aan de NVFT?

**Uitgave:**  
NVFT**Redactie:**

Ir. S. van de Graaf (hoofd redactie)  
H.M.C. Heubers  
H.G.J. Rutten  
Ir. J.J. Veerman  
G.J. Verschagen  
D. Blank

**Redactiesecretariaat:**

J. Snickers  
Klaprooslaan 17  
5691 WL Son  
Telefoon 04990-718 31  
b.g.g. 040-831792

**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. F. Doorschot  
Prof. Ir. C. Heuvelman  
Ir. D. de Hoop  
A. Meijering  
Dr. Ir. J.A. Rietdijk  
Prof. Dr. Ir. Ch. Sniijders  
Ir. G. Vaessen  
Ir. D. van 't Veen  
Dr. Ir. J. Verkerk

**Abonnementen:**

Secretariaat NVFT  
Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven  
Telefoon: 040-473 659  
Fax: 040-460 645  
Postgiro: 19.66.459  
Bank: 22.53.39.730  
Nederland f 100,- per jaar  
Buitenland f 125,- per jaar  
Alle prijzen excl. BTW

**Advertenties:**

Dr. Ir. J. Verkerk  
Postbus 80.004  
3508 TA Utrecht  
Telefoon: 030-531 710  
Fax: 030-522 267

**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

In het vorige nummer schreef De Haas over de door hem bedachte draaidoorvoer voor een vacuümsysteem en hoe je die het beste kan maken. In dit nummer schrijft Mulder over CD-mastering apparatuur voor het maken van matrijzen voor de aanmaak van CD's en hoe daar langzamerhand een complete CD-fabriek uit ontstaan is. In het komende nummer schrijft Rosielle over het dynamisch gedrag van een futuristisch auto-ontwerp en laat zien hoe vormgeving en mechanisch ontwerp elkaar aanvullen. Zij zijn geen beroepsschrijvers die in het populariseren van techniek een interessante inkomstenbron ontdekt hebben, maar NVFT-ers die schrijven over het werk waarmee zij dagelijks bezig zijn. Daarom hebben hun verhalen ook meer diepgang en zijn ze interessant, want u als goede verstaander en vakgenoot weet dat achter elke relativerende tekstregel een hoop ervaring verborgen ligt, die met veel piekeren en proberen verworven is. Voor u als lezer zou dat wel eens van veel waarde kunnen zijn.

Een andere vorm van ideeënuitswisseling bieden de regiobijeenkomsten door lezingen of een bedrijfsbezoek. Daar kun je, in een open sfeer, anderen tegenkomen die ervaring hebben met het probleem waar je toevallig mee zit en die je graag een tip aan de hand doen.

Die ideeënuitswisseling met anderen waardoor je zelf op een nog beter idee komt, daarom is de NVFT zo belangrijk.

J. Verkerk

**De NVFT**

**Mikroniek** is het blad van de Nederlandse Vereniging voor Fijnmechanische Techniek (NVFT). De leden zijn technici die voortkomen uit alle opleidingsniveaus en gefascineerd zijn door hun vak: de fijnmechanische techniek. Zij ontwikkelen, ontwerpen en vervaardigen bijzondere apparaten, consumentenproducten en productie-apparatuur door het integreren van technieken als mechanica, optica, elektronica en glastechniek, of geven onderwijs daarin.

De NVFT informeert haar leden over ontwikkelingen in het vakgebied door re-

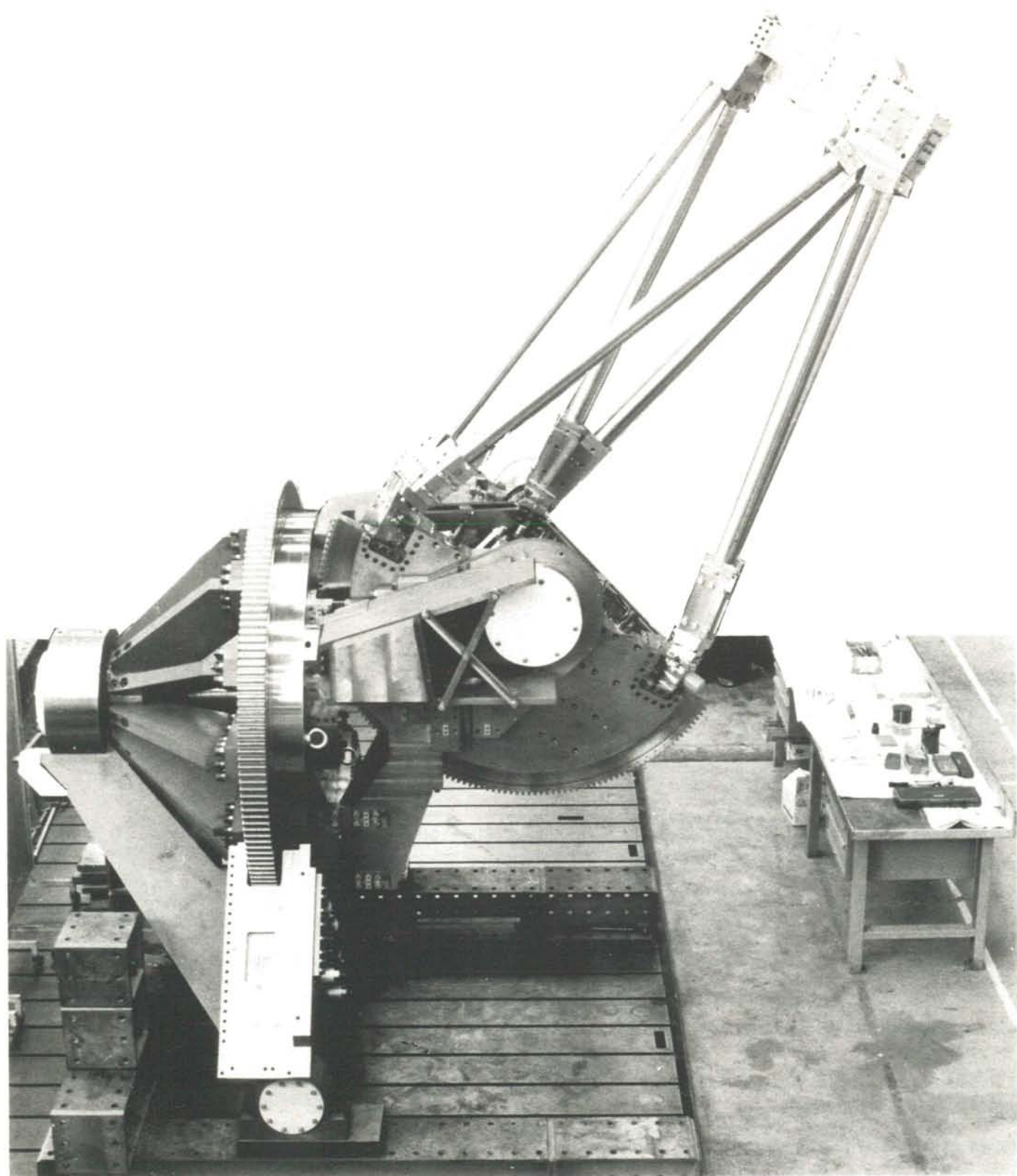
gionale bijeenkomsten, cursussen, symposia en publikaties in Mikroniek.

Een speciale service is de **Mikropool**, die onderlinge dienstverlening tot doel heeft voor het kunnen beschikken over bijzondere, moeilijk in kleine hoeveelheden verkrijgbare materialen en over speciale technologieën.

De NVFT kent bedrijfs- en persoonlijke lidmaatschappen. Voor studenten en gepensioneerden geldt een gereduceerd tarief.

**Inlichtingen:**

Secretariaat NVFT; tel.: 040-473 659  
Postbus 6367 5600 HJ Eindhoven



## Verenigingsnieuws

### **Algemene Ledenvergadering NVFT**

woensdag 15 mei 1991  
 TU-Delft, Faculteit Werktuigbouwkunde  
 Mekelweg 2 te Delft  
 Vergaderzaal 1, via hoofdingang.

#### *Ochtendprogramma (alleen voor leden)*

- 10.00 Aankomst
- 10.15 **Algemene ledenvergadering NVFT**

#### *Middagprogramma*

- 12.30 Aperitief en Lunch in Aula TU-Delft
- 13.45 **Opbouw en faciliteiten van de Centrale Werkplaats van de TU-Delft**  
 door ing. J. Rotteveel, directeur.
- Ontwerp, constructie en fabricage van de 'Zonne-telescoop'**  
 door dr. ir. R.H. Hammerschlag, RU-Utrecht
- Bezichtiging van de telescoop**
- 16.30 Einde

De agenda van de ledenvergadering is aan alle leden toegezonden.

Het middagprogramma is ook toegankelijk voor introducés.

De Zonnetelescoop is een ontwerp van de astronoom en fijnmechanisch fysicus dr. ir. R.H. Hammerschlag.

De zonnetelescoop nadert inmiddels zijn voltooiing en de eindmontage vindt plaats bij de Centrale Werkplaats te Delft. In de ca. 5,5 meter hoge telescoop zijn een aantal unieke constructies verwerkt, die noodzakelijk zijn om de extreme nauwkeurigheden te bereiken die noodzakelijk zijn voor een verdere exploratie van de zon.

Temperatuurschommelingen, bodemtrillingen, luchtwervelingen en kleine relatieve bewegingen van de optiek zijn een aantal van de technische problemen die de scherpte van de waarneming met een telescoop beïnvloeden. De kleinste kanteling van de optiek veroorzaakt door de grote afstand tot de zon een enorme beeldvervorming. Daardoor moest een enorm hoge stijfheid gerealiseerd worden, zowel in de drijfwerken als in de vakwerkstructuur waaraan de optiek is opgehangen.

Door het toepassen van een aantal zeer goed doordachte en "onconventionele" constructies is dr. Hammerschlag erin geslaagd deze technische problemen de baas te worden. Door STW wordt momenteel gezocht naar andere toepassingen waar de met de bouw van de zonnetelescoop opgedane kennis nuttig kan worden toegepast. Doordat de telescoop nog in Delft staat, in afwachting van transport naar La Palma, is het nu een uitgelezen moment om hem met de deskundige uitleg van dr. Hammerschlag te bekijken.

Opgave voor deelname vóór 29 april 1991 schriftelijk of per fax (040-460 645) bij het secretariaat van de NVFT met vermelding of u de hele dag of slechts aan het ochtendprogramma, lunch en/of middagprogramma wilt deelnemen.

## Actueel

### MATIC '91 vakbeurs voor industriële automatisering.

22 tot en met 24 mei 1991  
Kon. Jaarbeurs te Utrecht.

De manifestatie wordt ondersteund door het MATIC '91-congres 'Communicatie en financiering'. De op de Nederlandse markt voor industriële automatisering opererende bedr.ijven zijn in de praktijk gespecialiseerd in de bewerking en hantering van materialen of in de bewerking van informatie. Op MATIC '91 zijn beide sectoren vertegenwoordigd.

Een belangrijk onderdeel van de industriële automatisering wordt gevormd door robots die bewerkingen kunnen uitvoeren als booglassen, monteren en hanteren en het verpakken van producten. De informatieverwerking zorgt voor de productievoorbereiding, planning en besturing, etc.

Op de beurs is ook een robot-presentatie te zien, waar software en hardware gemeenschappelijk gepresenteerd worden. De exposanten op MATIC '91 zijn in hoofdzaak leveranciers van complete systemen, waardoor de gehele productieautomatisering vertegenwoordigd is. De organisatoren richten zich op de specifiek in productieautomatisering geïnteresseerde bezoeker.

### Symposium: 'Vacuüm injecteren voor vezelversterkte kunststoffen'

7 juni 1991  
Bond voor Materialenkennis

Niet alleen milieumaatregelen, maar ook de technische voordelen van het impregneren van vezels in een gesloten matrix, maken dat steeds meer bedr.ijven deze techniek toepassen.

Tijdens het symposium lichten medewerkers van de TU-Delft en van TNO de resultaten toe van het onderzoek dat in het kader van het IOP "Polymeer Composieten en Bijzondere Polymeren" is gedaan. Toepassers van de techniek vertellen van hun ervaringen met het invoeren van het proces in hun bedr.ijf. Polyesterverwerkende bedr.ijven en toeleveranciers exposeren hun producten. Belangstellenden voor deelneming aan de expositie kunnen zich in verbinding stellen met onderstaand adr.es.

**Voor nadere informatie:**  
Bond voor Materialenkennis, Postbus

390, 3330 AJ Zwijndrecht, telefoon 078-192 655.

### Pato-cursussen

#### Marketing en Techniek

Een driedaagse cursus op 29, 30 en 31 mei 1991 in Utrecht.

**Doelstelling:** deelnemers vertrouwd te maken met de inhoud en betekenis van technisch marketing, zoals die relevant is voor de ingenieur in het bedr.ijfsleven. In de cursus wordt ruime aandacht gegeven aan de praktische toepassing door middel van cases en oefeningen. De cursus verschaft praktische denkkaders en concepten voor het meer gericht en systematisch omgaan met marktonzekerheden.

**Bestemd voor:** ingenieurs (TU, HTO) die bij hun technisch georiënteerde functie in bedr.ijven te maken krijgen met commerciële aspecten en die zich in kort tijdsbestek vertrouwd willen maken met vakken omtrent marketing en het daarbij gehanteerde begrippenkader. Elementaire voorkennis is niet vereist.

**Cursusleider:** prof.dr. H.W.C. van der Hart (hoogleraar industriële marketing TU Eindhoven en senior adviseur/fir.mant Holland Consulting Group in Amsterdam).

**Deelnamekosten:** f 2.195,— p.p. (incl. cursusmateriaal, twee overnachtingen, maaltijden, koffie/thee).

#### Identificatie en systeembeschrijving

Een vijfdaagse cursus op 28 mei en 4, 11, 18 en 25 juni 1991 in Eindhoven.

**Doelstelling:** Modelvorming van systemen leidt in het algemeen tot een stelsel vergelijkingen met bekende structuur, maar onbekende parameters. De cursus beoogt een introductie te geven in de methoden om dergelijke parameters te schatten uit metingen van ingangs- en uitgangssignalen van het systeem. Hierbij worden zowel statische als dynamische systemen in beschouwing genomen en richt de aandacht zich op online en offline schattingsmethodieken.

**Bestemd voor:** Ingenieurs (TU, HTO) of personen met gelijkwaardig opleidingsniveau, die de aangeboden methodieken voor de identificatie van complexe dynamische systemen willen gaan toepassen, of die hun theoretische basis willen verbreden.

**Cursusleider:** Prof.dr.ir. J.J. Kok, Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Werktuigbouwkunde, vakgroep Fundamentele Werktuigkunde.

**Deelnamekosten:** f 2.390,— (geen BTW, inclusief cursusmateriaal, lunches,

diner, koffie/thee).

### Stortgoed en transportwerktuigen

Een vierdaagse cursus op 3, 4, 10 en 11 juni 1991 in Delft.

**Doelstelling:** de deelnemers een indr.uk te geven van de huidige praktische en theoretische ontwikkelingen met betrekking tot stortgoedgedrag en het transport van stortgoed.

**Bestemd voor:** de cursus is bestemd voor ontwerpers, gebruikers en onderhoudstechnici van transportwerktuigen voor stortgoed, of anderen die in hun dagelijkse praktijk bij deze problematiek betrokken zijn.

**Cursusleider:** dr.ir. S.A. Miedema, Vakgroep Transporttechnologie, Fac. Werktuigbouwkunde en Maritieme Techniek, TU Delft.

**Deelnamekosten:** f 1.990,— per persoon (incl. cursusmateriaal, lunches, koffie/thee).

### Plaatsnauwkeurigheid in constructies en mechanismen

Een zesdaagse cursus op 27 en 28 mei, en 3, 4, 10 en 11 juni 1991 aan de universiteit Twente.

**Doelstelling:** De functies van een apparaat of een machine zijn vaak plaatsgebonden. Het beheersen van deze functies vraagt een zekere plaatsnauwkeurigheid.

Het doel van de cursus is het stimuleren van de wisselwerking tussen creativiteit en analyse bij het werktuigbouwkundig construeren en het belichten van de samenhang met andere disciplines. Met andere woorden het bevorderen van werktuigbouwkunde in de zin van "het bouwen van tuig dat werkt".

**Bestemd voor:** constructeurs, ontwikkelaars en projectleiders op TU/HTO niveau, die betrokken zijn bij de ontwikkeling van werktuigen waarin hoge precisie een rol speelt. Dit kunnen zijn consumenten- en professionele producten of produktiemiddelen. Enige bekendheid met de dynamica en de regeltechniek is gewenst.

**Cursusleider:** prof.dr.ir. M.P. Koster (Universiteit Twente) en Philips Centre for Technology Mechatronics dpt.

**Deelnamekosten:** f 2.800,— per persoon (geen BTW; incl. cursusmateriaal, lunches, diners, koffie/thee en overnachtingen)

### Voor nadere informatie over deze vier cursussen:

Bureau van het Orgaan voor PATO,  
Postbus 30424, 2500 GK Den Haag;  
telefoon: 070 - 644 957.



## Optical disc mastering

E.J. Mulder

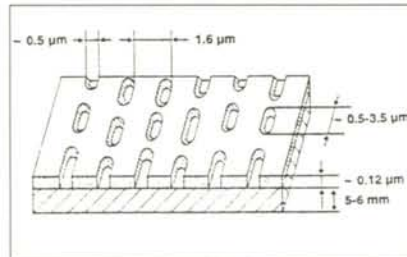
Het fabriceren van optisch leesbare schijven (laserdiscs) voor audio- (Compact Disc), video- (Laservision) en andere informatieopslag (CD-ROM) is een techniek van de laatste tien jaar. Het vastleggen van de informatie gebeurt door het met een laser beschrijven van een masterdisc (mastering) in de vorm van nauwkeurig gedefinieerde putjes (figuur 1) met een dichtheid van meer dan 140.000 putjes per vierkante millimeter, hetgeen overeenkomt met 600 user Megabyte op een CD-ROM.

Omdat bij het beschrijven van de masterdisc ook het spoor waarlangs de putjes worden geschreven wordt gemaakt, is een bijzonder grote nauwkeurigheid vereist van de mastering-apparatuur. Fijnmechanische techniek in de vorm van integratie van mechanica, optica en servo-elektronica is de sleutel bij de ontwikkeling voor deze mastering-apparatuur.

### Het mastering-proces

In het mastering-proces wordt een Laser Beam Recorder (LBR) gebruikt om de informatiestructuur van figuur 1 aan te brengen op het oppervlak van een masterdisc [1,2]. Deze masterdisc is een gepolijste glazen schijf (substraat) waarop een fotogevoelige laag met een dikte variërend van 0,1 tot 0,2  $\mu\text{m}$  is aangebracht. Figuur 2 geeft een schematische tekening van deze LBR. De bundel van de argonlaser (golflengte 459 nm) wordt in intensiteit gemoduleerd (aan en uitgeschakeld) door een snelle lasermodulator op de fotogevoelige laag van de masterdisc. Door de gelijktijdige rotatie van de masterdisc en de translatie van het objectief met de 90°-afbuigspiegel wordt een spiraal op de fotogevoelige laag geschreven, die uit een groot aantal belichte punten bestaat. Tijdens het ontwikkelen en etsen wordt de belichte laag verwijderd, waardoor een spoor van putjes ontstaat zoals in figuur 1 wordt weergegeven.

Daarna wordt chemisch een zeer dunne nikkel laag neergeslagen die later langs elektro-chemische weg wordt aangegroeid tot 0,3 mm dikte. De nikkel laag, die de negatieve vorm van het oppervlak



Figuur 1. Putten-structuur op de master en hun afmetingen. De putten vormen in lengterichting een lange spiraal.

van de masterdisc heeft, wordt van de masterdisc afgenomen en dient na een aantal bewerkingen als de matrijs voor het spuitgieten van laserdiscs. Door de eenvoud van het proces en de nauwkeurige beheersing is de variatie van de putdiepte over de gehele disc niet meer dan 5 nm.

Na het lakken met een beschermende lak wordt de rugzijde van de nikkelmatrijs zorgvuldig vlak gepolijst.

Dan volgen er twee bewerkingen die met extreme nauwkeurigheid worden uitgevoerd. Eerst wordt het centrale gat gemaakt en dan de buitenrand.

Na enkele kwaliteitscontroles, waarbij ook de laser beam recorder wordt gebruikt voor het uitlezen van de disc, is deze gereed voor gebruik.

Wanneer men grote aantallen laserdiscs wil produceren, worden van deze (vader)matrijs eerst nog enkele negatieven (moedermatrijsen) gemaakt, waarvan weer (zoon)matrijsen gemaakt worden die gelijk zijn aan de vadermatrijs. Met zo'n (zoon)matrijs kunnen ongeveer 100.000 laserdiscs gespoten worden voordat het einde van de levensduur bereikt is.

Na het spuitgieten van de discs worden deze nog voorzien van een reflecterende

aluminiumlaag, wat nodig is voor het uitlezen door de CD-speler. Daarna worden een beschermende coating en een label, met informatie over de inhoud, aangebracht. De disc is dan gereed om te worden verpakt en naar de afnemers te worden verzonden.

### Vereiste nauwkeurigheden

De hoge informatiedichtheid op de disc wordt bereikt door de informatiesporen zeer dicht naast elkaar te leggen. De leeskop van een CD-speler kan de putjes-sporen alleen volgen als de putjes zeer nauwkeurig op een voor de CD-speler voorspelbare lijn liggen. Wijkt dit te veel af dan raakt de speler het spoor bijster en is niet meer in staat de informatie van de disc te reproduceren.

Afwijkingen die van belang zijn bij het mastering-proces zijn:

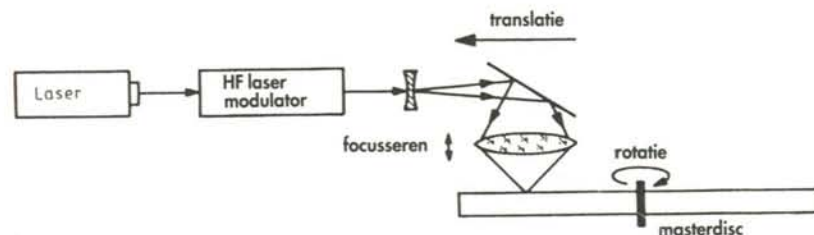
- translatie van de slede,
- rotatie van de masterdisc, en
- focussering van het objectief.

### Translatie

De afstand tussen de verschillende sporen bedraagt nominaal  $1,6 \pm 0,1 \mu\text{m}$ . Als gevolg van deze eis mag de servo-aandrijving van de slede geen grotere afwijking veroorzaken dan 50 nm (onder 500 Hz) en niet meer dan 15 nm tussen 500 Hz en 10 kHz. Om een indruk te krijgen hoe weinig dit wel is, is het aardig om te weten dat een menselijke baard in 5 seconden ongeveer 50 nm gegroeid is.

### Rotatie van de masterdisc

Voor het beschrijven van een spiraal is het noodzakelijk dat er een koppeling bestaat tussen de rotatie van de masterdisc en de radiale translatie van laserbundel. Daardoor moet de rotatie ook voldoen aan nauwe toleranties. Voor



Figuur 2. Schematische tekening van een LBR (Laser Beam Recorder). Van essentieel belang zijn de mechanische nauwkeurigheid van de volgende bewegingen: translatie van de bundel over de masterdisc, de eenparigheid van de rotatie en de focussering van de bundel.

## Optical disc mastering

## CD-geschiedenis

ODM (Optical Disc Mastering B.V.) is een van de weinige ondernemingen die vanaf het eerste begin heeft gewerkt aan de ontwikkeling van optische informatiedragers. Er bestaat een directe relatie met het originele idee aan het eind van de jaren zestig met de produkten die ODM tegenwoordig maakt.

De eerste commercieel verkrijgbare CD kwam in 1982 in Japan op de markt. Het daarop volgende jaar bracht Philips de audio-CD op de Europese markt. Deze gebeurtenissen werden voorafgegaan door een veertienjarige ontwikkeling door Philips. De joint-venture overeenkomst tussen Philips en Sony die tevens tot een standaard voor de CD leidde, werd pas eind 1979 getekend.

De eerste ideeën over het vastleggen van beelden op een schijf stammen uit 1968. Het idee was niet alleen interessant, maar leek ook uitvoerbaar, zodat in het begin van de jaren zeventig onderzoek werd verricht door het Philips Natuurkundig Laboratorium. Het eerste probleem dat op-

gelost moest worden was een methode te vinden om het signaal op een geschikte drager vast te leggen (mastering). De replicatie zou later volgen.

De originele opstelling had een open lichtweg met een complexe schikking van lenzen, prisma's en detectoren, zodat makkelijk aanpassingen gemaakt konden worden. Op deze wijze werd werelds eerste optische informatiedrager ontwikkeld, de Laser Vision Disc. De eerste demonstratie voor de pers vond plaats op 5 september 1972. De ontwikkeling werd voortgezet en in 1974 besloot Philips een Laserdisc Mastering-systeem te ontwikkelen in plaats van het nabouwen van de researchopstelling waarmee tot nu toe de masters gemaakt werden. Officieel was dit het begin van de Optical Disc Mastering (ODM)

groep. De harde kern van ODM bestond uit de groep die bij de ontwikkeling van het originele systeem betrokken was.

In het nu volgende jaar (1975) werden twee mastering-recorders gebouwd. Beide werden in de ODM vestiging te Eindhoven genstalleerd en een ervan is nog steeds bruikbaar.

Een druk jaar kwam in 1978 toen ODM het DOR-project - Mega-documentatiesysteem voor kantoordoeleinden, 12 inch schijven, eenmalig te beschrijven en vaak te lezen - startte en tevens een begin maakte met een andere van de videodisc afgeleide vorm: de audio Compact Disc.

Desondanks ging de ontwikkeling van

samenwerking met de Zwitserse professionele recorder en radiostudioapparatuur fabrikant — Studer.

Intussen ging de ontwikkeling van mastering-systemen door en in 1985 kwam de doorbraak waardoor een groot te kort aan mastering-systemen ontstond. Orders kwamen van Laservideo, Shape, EMI, MPO, Speciality Records (Warner VS). Ook gingen er systemen naar Mitsubishi en Kuraray in Japan. De Japanse vraag naar audio mastering-systemen was groot, maar ODM had reeds zijn handen vol aan orders uit Europa en de VS.

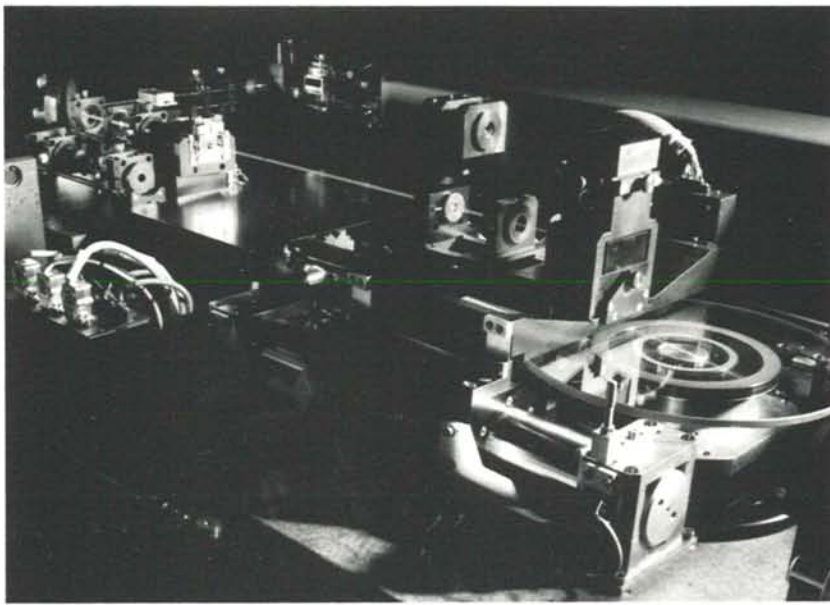
In 1986 was het duidelijk dat een drastische schaalvergroting van ODM nood-

zakelijk was om ook aan de inmiddels sterk gegroeide vraag naar advisering, installatie en onderhoud te kunnen voldoen. In een jaar tijd groeide ODM van 100 naar 200 stafmedewerkers. Kort daarna in 1987 werden twee nieuwe produkten, het 5 inch CDV (video-clip) mastering-systeem en de CD-ROM Data Formatter geïntroduceerd.

1987 was ook het jaar dat ODM een BV werd als gevolg van een joint-venture tussen Philips en DuPont (PDO).

Daarna volgde een nieuwe periode van expansie: in maart 1989 was het Integrated Manufacturing System (IMS) ontwikkeld, een complete fabriek waarin het gehele proces vanaf de mastering van de CD tot en met de replicatie en verpakking plaatsvindt. Ook werd een Glas Disc Recycling System ontwikkeld. Uit de verkopen in 1989 werd ook een stijgende interesse uit het Oostblok duidelijk door leveranties aan Hongarije, Tsjecho-Slowakije, Rusland en Bulgarije.

Nog steeds is research en ontwikkeling het meeste vitale onderdeel van ODM - in de afgelopen anderhalf jaar hebben ze 23 patenten toegekend gekregen - en de verwachtingen voor de toekomst zijn hoog gespannen, gezien de vele mogelijkheden die zich nog zullen aandienen.



de Laser Vision Mastering systemen door, zodat in het begin van de jaren tachtig de eerste systemen werden verkocht. De Philips fabriek in Blackburn (GB) was de eerste klant. Dit was in november 1980. Een jaar later werd door 3M in de VS een systeem gekocht en het volgende jaar (1982) kocht ook Sonopress een systeem.

In de tussentijd werd ook aan de CD-speler gewerkt. Rond 1982 had dit een zo vergevorderd stadium bereikt, dat met het masteren en persen van CD's werd begonnen voor de introductie in Hannover in 1983. Daaruit kwamen opnieuw orders voort van 3M en Sonopress.

In 1983 introduceerde ODM een professionele CD-speler, het resultaat van een



Figuur 3. Laser Beam Recorder voor het maken van moedermatrijzen voor laserdiscs (Compact Disc, Laservision en CD-ROM). Zichtbaar zijn de glazen masterdisc en de luchtgelagerde slede met de schrijfpotiek. Door de combinatie van mechanica, elektronica en optica is een uniek produkt ontstaan.

een minimale vervorming van het informatiesignaal moet het toerental stabiel (jitter) zijn en per omwenteling binnen  $4 \mu\text{s}$  nauwkeurig zijn gemeten bij een rotatiesnelheid van 30 Hz.

Tevens mag de as niet slingeren, omdat dit een radiale verplaatsing tot gevolg heeft, die samen met de nauwkeurigheid van de translatie binnen voornoemde 50 respectievelijk 15 nm moet liggen.

#### Focuseren van de laserbundel

De scherptediepte bij mastering ligt bij ongeveer  $2 \mu\text{m}$ , afhankelijk van de gekozen golflengte van de laser en de numerieke apertuur. Gedurende het beschrijven van het gehele oppervlak van de masterdisc mag het focuspunt derhalve niet meer dan  $2 \mu\text{m}$  afwijken ten opzichte van het te beschrijven oppervlak. Dit stelt eveneens extreme eisen aan de vlakheid van de masterdisc en aan zijn bevestiging op de as.

#### Uitvoering van de bewegingen in de LBR

Figuur 3 toont het inwendige van de LBR en in figuur 4 worden de bewegingen en de opbouw aangegeven die van belang zijn. De nauwkeurigheid hangt naast die van de mechanische constructie ook van de toegepaste regeling af.

Halverwege de jaren zeventig, toen de

eerste LBR gebouwd werd, was het niet mogelijk een meetsysteem te vinden dat een resolutie van 5 nm bezat over een lineaire verplaatsing van 150 mm, behalve wanneer men een laserinterferometer gebruikte. Deze had toen behalve zijn prijs nog enkele technische nadelen, zoals optische instabiliteiten veroorzaakt door luchtwervelingen en afhankelijkheid van de luchtdruk. Een teruggekoppeld regelsysteem met de vereiste nauwkeurigheid was toen niet realiseerbaar, waardoor men de keuze op een openloop (zonder terugkoppeling van de uiteindelijke beweging) regelsysteem liet vallen, waarbij alleen het motortoerental nauwkeurig werd geregeld.

#### Rotatie

In principe zou een koppeling van de translatie aan de rotatie een nauwkeurige spiraal op moeten leveren, maar dit is niet met voldoende nauwkeurigheid mogelijk in het nanometergebied. Er blijft dan niets anders over dan de bewegingen afzonderlijk, maar met grote nauwkeurigheid te sturen.

Voor de rotatie van de masterdisc is uitgegaan van een luchtlager van zeer hoge kwaliteit met een excentriciteit (runout) die kleiner is dan 5 nm. De nauwkeurigheid van de radiale verplaatsing van de laserbundel is daarmee slechts

afhankelijk van de aandrijving van de slede.

Voor de aandrijving van de masterdisc is door een borstelloze DC-motor, gekozen vanwege de afwezigheid van ruis en borstelslijtage, terwijl de snelheid binnen nauwe toleranties geregeld kan worden.

#### Translatie van de slede

De slede is gelagerd met twee lucht-lagers die een zeer nauwkeurige translatie waarborgen zonder zijdelingse verplaatsingen die als afstandsverschillen tussen de putjes (jitter) zouden zijn terug te vinden.

Voor het omzetten van de rotatie van de motor in een translatie van de slede is een vertraging van tenminste 1:1000 nodig. Daarvoor kan gekozen worden uit een schroefspilaandrijving met vertraging of uit een aandrijving met wrijvingswielen. Elk heeft zijn karakteristieke eigenschappen [3].

De *schroefspilaandrijving* heeft een overbepaald contact tussen schroefspil en moer, hetgeen resulteert in speling en stick-slip verschijnselen. Bij extra voorspannen om de speling op te heffen ontstaat extra wrijving. Deze wrijving, gecombineerd met een gebrekkige torsiestijfheid veroorzaakt binnen het vereiste 15 nm gebied een onbepaaldheid van plaats die te grote onnauwkeurigheden bij het beschrijven van de masterdisc tot gevolg zou hebben.

*Wrijvingswielen* daarentegen, mits goed geconstrueerd, zorgen voor een zuiver afrollen zonder tegenwerkende wrijving. Voorwaarde voor een goede overbrenging is enerzijds een voldoende aandrukkraft van de wielen om slip te voorkomen en anderzijds een niet te hoge aandrukkraft waarbij de Hertzspanningen te hoog worden.

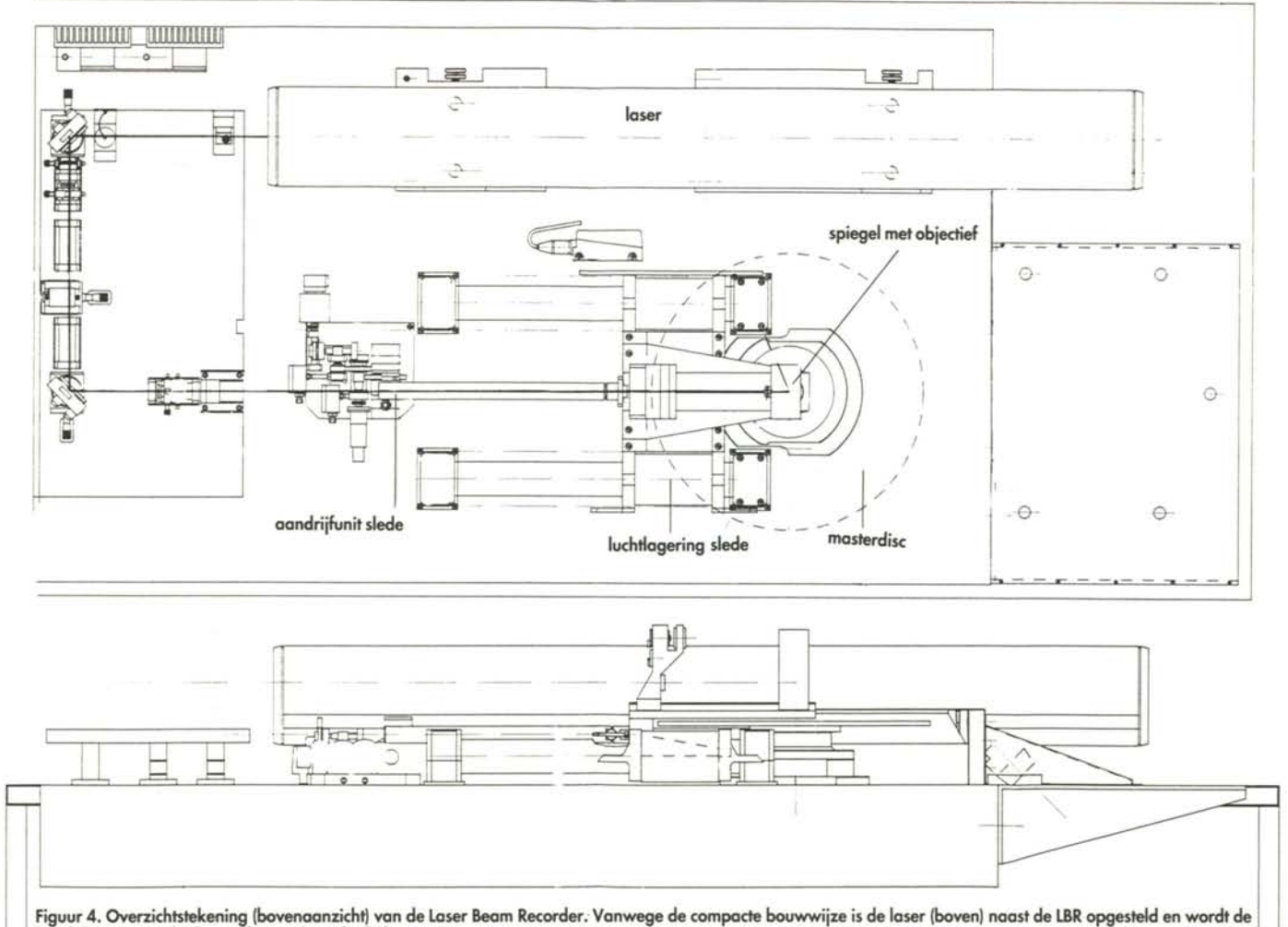
In de LBR wordt een stijfheid gerealiseerd van  $6 \cdot 10^6 \text{ N/m}$  bij een totale reductie van 1:1000. Deze waarde is bepaald uit de gemeten eerste eigenfrequentie (150 Hz) en de massa van de slede (ca. 7 kg) door deze in te vullen in de formule voor de eigenfrequentie van een enkelvoudig systeem:

Figuur 5 geeft een principeschets van een dergelijk aandrijfsysteem. Extra zorg vraagt de hoge mate van evenwijdigheid van de assen die gerealiseerd moet worden om slijtage en hysteresis te voorkomen.

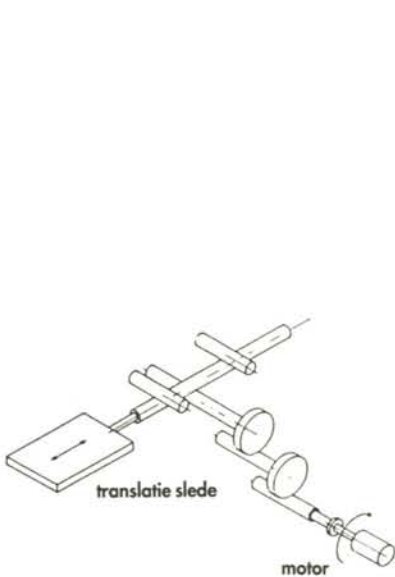
#### Nauwkeurig meten van lineaire verplaatsingen

Sinds enkele jaren is het mogelijk om met

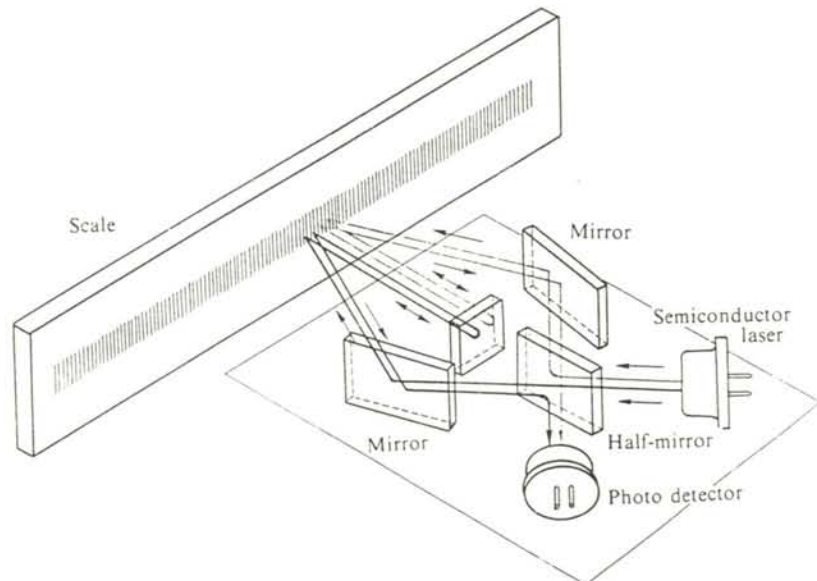
Optical disc mastering



Figuur 4. Overzichtstekening (bovenaanzicht) van de Laser Beam Recorder. Vanwege de compacte bouwwijze is de laser (boven) naast de LBR opgesteld en wordt de bundel 180° omgeleid naar de optiek op de slede.



Figuur 5. Principeschets van de wrijvingswiel-aandrijving van de slede.



Figuur 6. Laser Linear Encoder. Door een laserbundel met behulp van spiegels zowel op de heenweg als op de terugweg op een raster met een steek van  $1,6 \mu\text{m}$  te projecteren, ontstaat op de fotodetector een sinusvormig signaal met een golflengte van  $0,4 \mu\text{m}$ . Door fasemeting kunnen verplaatsingen tot  $0,01 \mu\text{m}$  ( $10 \text{ nm}$ ) worden waargenomen.

### Complete laserdisc-fabriek

Het bedrijf Optical Disc Mastering biedt haar potentiële klanten een totaal oplossing, vanaf mastering tot en met replicatie (het vervaardigen van de uiteindelijke laserdiscs). Het systeem is modulair opgebouwd en daardoor makkelijk te installeren.

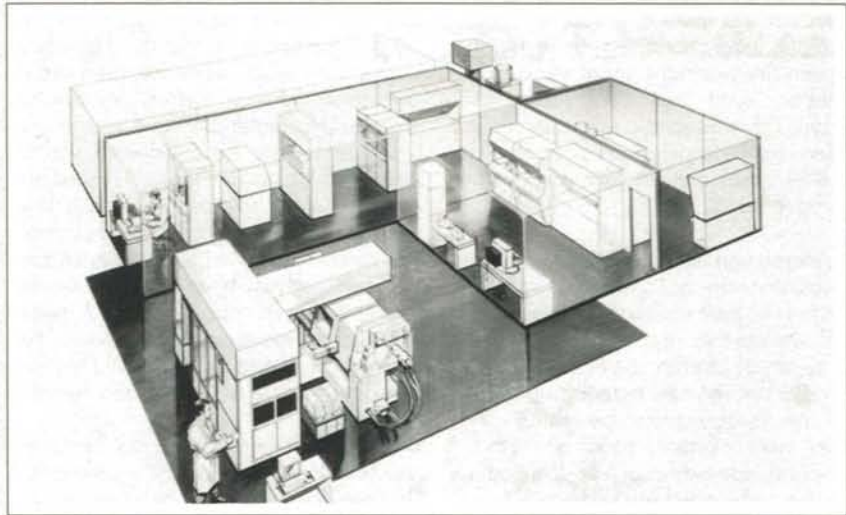
Het begint bij de apparatuur die op banden geregistreerde audio- en video-signalen inleest en codeert voor het beschrijven van de masterdisc. Daarna volgt het nauwkeurig opbrengen van de fotoresist (lichtgevoelige laag), het ontwikkelen na belichting en het wegetsen van de belichte delen waardoor putjes ontstaan. Deze bevatten alle noodzakelijke informatie voor de reproductie van het geregistreerde signaal.

Na deze bewerking wordt chemisch een zeer dunne laag nikkel aangebracht, die later galvanisch wordt opgegroeid tot 0,3 mm dikte. Daarna wordt deze nikkel laag van de glazen masterdisc afgenomen en is een negatieve vorm (matrijs) ontstaan die geschikt is om afdrucken van te maken.

Na lakken en polijsten van het voorvlak worden nauwkeurig het centrale gat en de rand op de juiste plaats aangebracht.

Vervolgens wordt de matrijs in een spuitgietmachine geplaatst en kunnen grote aantallen kunststof-discs worden gespoten, die dan evenals de masterdisc weer een putjesspoor hebben.

De discs worden gebruiksklaar gemaakt met het aanbrengen van een reflecterende laag die nodig is voor het kunnen uitlezen en een beschermende laag waarop tevens het label is gedrukt. Ook het



Figuur 8. Een complete laserdisc-fabriek op 17 x 17 meter. Op de achtergrond de apparatuur voor het omzetten van de audio- en videosignalen in het op de disc te schrijven signaal, de fotochemische behandeling van de glazen masterdisc, het beschrijven, het etsen en het opgroeien van een nikkel laag. De nikkel laag wordt van de masterdisc afgenomen en gebruikt als matrijs voor het persen (spuitgieten) van de laserdiscs (voorgond) met een tempo van een disc per zeven seconden.

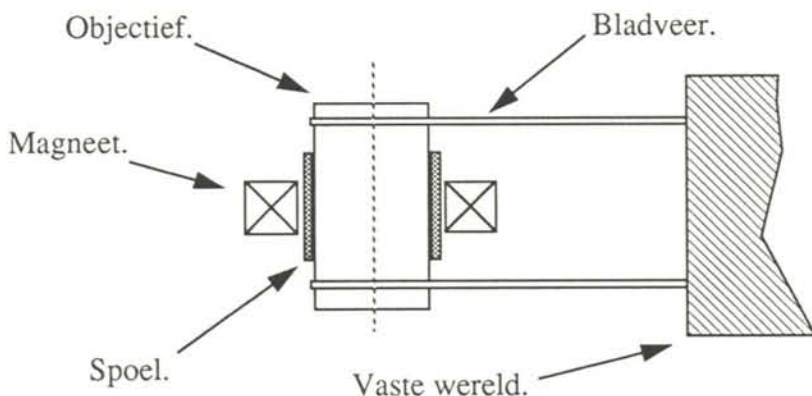
verpakken van de discs in doosjes en in dozen voor verzending behoort tot het systeem.

Het systeem kan worden gehuisvest op een oppervlak van 17 x 17 meter en bestaat uit een viertal containers, waarvan een tweetal wordt gebruikt voor de luchtbehandeling en een tweetal voor het werkelijke proces dat geheel stofvrij moet plaatsvinden. De containers, zie figuur 8, staan achteraan. Linksvoor staat het replicatiegedeelte waar de laserdiscs worden vervaardigd door een spuitgietproces en een aantal andere behandelingen, waaronder het aanbrengen van een reflecterende en een

beschermende laag met label.

De doorlooptijd, dat wil zeggen de tijd die nodig is om van een audio- of videoband de eerste laserdisc te produceren, bedraagt zes uur. De fabricage van alle volgende discs gebeurt met een tempo van een disc per zeven seconden. Met een enkel systeem kunnen zo twee miljoen discs per jaar worden geproduceerd, maar dit aantal kan makkelijk worden verdubbeld door het verdubbelen van de spuitgiet- en verpakkingscapaciteit.

Op deze wijze kan zeer snel op een snel veranderende markt worden ingespeeld.



Figuur 7. Ophanging van het objectief in bladveren. Het focuseren vindt plaats door het bekrachtigen van de spoel waarin de lens gemonteerd zit. De grootte van de gewenste verplaatsing wordt bepaald met een speciale optische sensor [1].

een in de handel verkrijgbare Laser Linear Encoder [4] een resolutie van 10 nm te halen. Het meetprincipe is weergegeven in figuur 6. De laserbundel met een golflengte van 780 nm wordt op een fijn raster met een steek van 1,6  $\mu\text{m}$  gebracht via een halfdoorlatende spiegel die de bundel in tweeën splitst. Het resulterende eerste-orde refractiepatroon wordt door het raster gereflecteerd naar een spiegel die het opnieuw op het raster reflecteert. Er ontstaat een nieuw paar eerste-orde bundels die terug gaan via hetzelfde lichtpad. Vanwege de halfdoorlatende spiegel worden de eerste-orde bundels op de fotodetector gepositioneerd. Als nu het raster over eenmaal de steek verplaatst, verplaatst de fase van elke eerste-orde bundel met 2 $\mu$ . Omdat het licht het raster tweemaal pas-

## Optical disc mastering

seert is de totale fase verplaatsing  $4\mu$  per spoorsteek. De spoorsteek van het raster is  $1,6\mu\text{m}$ , waardoor tijdens de verplaatsing een sinusvormig signaal van de fotodetector komt met een steek van  $0,4\mu\text{m}$ . Dit sinusvormige signaal wordt verder verwerkt in een signaaldeler (CI40-2), zodat een resolutie van 10 nm verkregen wordt.

### Focuseren van het objectief

De actuator voor het focuseren van het objectief is een eenvoudige magneetspoel waarbinnen de lens is opgehangen tussen bladveren, zie figuur 7. Ook hier geldt dat een zeer nauwkeurige spelings- en hysteresevrije beweging gemaakt moet worden, zodat een bladveer-parallelgeleiding of een luchtlager de enige constructief bruikbare oplossingen zijn. De positie wordt contactloos gemeten door middel van een speciale optische techniek (Foucault-prisma [1] pag. 192) en wordt teruggekoppeld.

### Toekomstige ontwikkelingen

De optical disc technologie heeft een sterke overeenkomst met de chiptechnologie, daar waar het de toename van de informatiedichtheid betreft. Mechanisch kan de informatie dichtheid worden gerealiseerd door het verkleinen van de steek (nu  $1,6\mu\text{m}$ , zie figuur 1), gecombineerd met het toepassen van een laser met een kleinere golflengte, waardoor de putten smaller en korter kunnen zijn. Dit zal weer resulteren in nauwere toleranties op de positionering van de putten en van de mastering-apparatuur. Een toename van de schrijfdichtheid met een factor twee mag binnen vijf jaar worden verwacht.

Voor de LBR betekent dit dat dergelijke nauwkeurigheden alleen gerealiseerd kunnen worden als er ook nauwkeuriger meetsystemen zijn, die geschikt zijn voor het terugkoppelen van de positie. Daarin zal nog veel ontwikkeling moeten plaatsvinden.

Voor de mechanica zullen verhoogde eisen gelden ten aanzien van de stijfheid

en het ruis- en trillingvrij zijn. Steeds meer dan nu het geval is zullen computerprogramma's voor modale(trilvorm) analyse en de eindige elementen methode de gereedschappen zijn om deze extreme eisen met redelijke zekerheid te kunnen realiseren.

### Literatuur

- [1] Bouwhuis, G. ed.; Principles of Optical Disc Systems; Adam Hilger Ltd, Bristol 1985.
- [2] Pasman, J.H., H.F. Olijhoek en B. Verkaik; Optical Mass Data Storage; SPIE Vol. 529 1985, pp. 62-68.
- [3] Hansen, H.J., A.S. Madux; Comparison of three High Precision Linear Axis Positioning Systems; Proc. 4th Int. Prec. Eng. Sem. Cranfield, G.B.
- [4] Canon Laser Linear Encoder, specification sheet, Canon Europe N.V. London.

Ing. E.J. Mulder is constructeur bij ODM "Optical Disc Mastering" BV te Eindhoven en betrokken bij de ontwikkeling van professionele recording- en replicatieapparatuur.

'Er is altijd wel een functie te vinden die werkt'

## LUCY zet zwaargehandicapte aan het werk

LUCY, een mens/machine-interface ontwikkeld aan de TU Delft stelt zwaar lichamelijk gehandicapten in staat om te werken en actiever deel te nemen aan de maatschappij. Zo werkt inmiddels een vanaf de geboorte zwaar spastische jonge vrouw als CAD-ontwerper bij een bedr. i.j.f dat sanitair.e hulpmiddelen en aanpassingen ontwikkelt voor gehandicapten. LUCY is een lichtvlekbestuurd 'toetsenbord' dat wordt aangesloten op een PC. Het apparaat is geschikt voor gevallen met vrijwel totale verlamming, waarbij nog enige restfuncties aanwezig zijn, zoals dwarslaesie en MS/ALS-patiënten, poliopatiënten, mensen met spierverlammingen en wellicht in de toekomst ook zware spastici. Een ervaren gebruiker kan er makkelijk 100 tekens per minuut mee halen. Omdat het toetsenbord een 'lichtkrantje' bevat en ook kan worden voorzien van een spraakchip, is Lucy een ideaal mobiel communicatiemiddel dat zich makkelijk mee laat nemen in de rolstoel. Het handige

apparaat kost slechts 4000 gulden. Inmiddels zijn er veertig exemplaren verkocht, terwijl een veelvoud daarvan in bestelling is.

"Lucy is waarschijnlijk het beste middel om de gehandicapte uit z'n sociaal isolement te halen", stelt prof.dr.ir. Henk G. Stassen van de vakgroep Mens-Machine Systemen in het onderzoeksblad Delft Integraal. "Met het apparaat houd je de mensen actief bezig en dus uit de verpleeginrichtingen en op die manier kun je besparen op de intensieve zorg. Dat is de economische kant. Daarnaast werk je mee aan het levensgeluk van zwaar gehandicapte mensen, die met 'Lucy' en een PC een volwaardige arbeidsplaats kunnen bezetten".

Bij de Faculteit Werktuigbouwkunde van de TU Delft is bijna twintig jaar gewerkt aan het ontwerp en de perfectionering van LUCY. Het oorspronkelijke idee was het bouwen van een lichtvlekbesturing om een schrijfmachine te kunnen bedie-

nen.

Twintig jaar research, zeven prototypes en een kleine twee miljoen gulden aan onderzoekskosten resulteerden uiteindelijk in LUCY.

De interface kent twee besturingsmogelijkheden: directe aanwijzing met een lichtpen of met een matrixbesturing in samenhang met een stopknop of ademstoot via een slangetje in de mond. Dat heeft voor met name Multiple Sclerose of Amyotrofe Lateraal Sclerose-patiënten (een op MS lijkende ziekte die zich veel sneller kan ontwikkelen) het psychologisch zeer positieve effect dat de gebruiker bij een lichamelijke terugval toch met hetzelfde apparaat kan werken.

De prijs van Lucy is zo laag, dat de gebruiker voor de gesubsidieerde aanschaf geen tijdrovende goedkeuringsprocedure hoeft te doorlopen bij het hoofdkantoor van de Gemeenschappelijke Medische Dienst.

Deel 1: principes van MO en het gebruik als CD-compatibel medium

## Magneto-optische audio-discrecorder

Th. van Gelder

Sinds hij als opslagmedium enkele jaren geleden op de markt kwam, heeft de magneto-optische disc zich een duidelijke plaats veroverd in de markt voor achtergrondgeheugens. Het toepassingsgebied is echter hoofdzakelijk beperkt gebleven tot de koppeling aan computersystemen voor de opslag van bulkgegevens of het maken van reservekopieën. Behalve dat hij kan worden gewist en beschreven, is de magneto-optische disc zowel in optisch als in mechanisch opzicht vrijwel identiek aan de CD. Dat maakt dat het medium in principe voor diverse andere toepassingen kan worden ingezet.

Een voorbeeld daarvan is het gebruik in audioapparatuur, waar hij kan fungeren als CD-speler die ook nog kan opnemen. Vorig jaar presenteerden de ontwikkelingslaboratoria van Thomson een prototype van een dergelijke eenheid. Deze magneto-optische audiorecorder kan CD's weergeven en daarnaast digitaal geluid opnemen door MO-discs te wissen en te beschrijven.

### Optische schijven

Het beschrijven, weergeven en wissen van optische schijven is geen techniek van de laatste tijd. Al sinds de jaren zeventig wordt intensief geëxperimenteerd met optische registratiemethoden. Laserservision van Philips is daar een voorbeeld van. Er zijn ook diverse methoden ontwikkeld voor het aanbrengen van de informatie, waaronder het vormen van blaasjes, het smelten of vervormen van

het materiaal, het onderscheiden van ruwe en gladde vlakken en het creëren van gaten onder het oppervlak; zie figuur 1. Al deze methoden hebben als beperking dat de gegevens slechts eenmaal kunnen worden geschreven, wissel is daarna niet meer mogelijk. Ook op het gebied van wisbare optische media wordt al lange tijd onderzoek verricht. Grote problemen daarbij waren vooral de betrouwbaarheid van het materiaal bij een groot aantal wis/schrijf-cycli, de snelheid van de toestandsverandering (lees: het schrijven van een bit) en het daarbij benodigde vermogen.

Pas sinds enkele jaren zijn hiervoor technieken beschikbaar die zich ook lenen voor toepassing in de praktijk. De meest bekende daarvan zijn de faseverandering tussen kristallijne en amofre structuur en, vooral, de magneto-optische registratie, zie figuur 2. Deze laatste methode lijkt de meestbelovende, getuige de opmars die de op het MO-principe gebaseerde systemen sinds een jaar of twee maken. Daarbij gaat het overwegend om randapparatuur voor computers.

De huidige standaard voor magneto-optische schijven maakt deze grotendeels compatibel met compact discs. Op basis van dit gegeven heeft Thomson een eenheid ontwikkeld die zowel audio-CD's kan lezen als MO-discs kan schrijven en lezen. Daarmee is in feite een CD-speler ontstaan die ook kan opnemen, een mogelijk alternatief voor DAT-recorders.

### Magneto-optisch

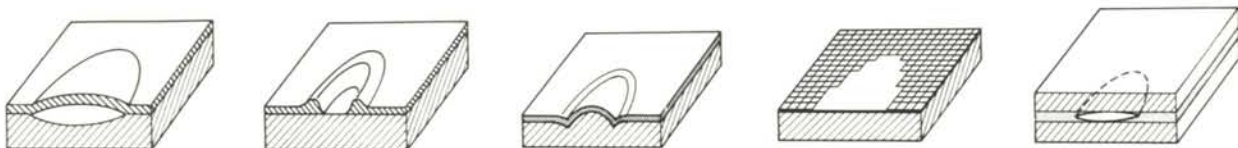
Bij het uitlezen van de informatie van een

MO-disc wordt gebruik gemaakt van het magneto-optische Kerr-effect. De term slaat op het verschijnsel dat gepolariseerd licht dat op een gebied met tegen-gestelde magnetisatie valt, bij het terugkaatsen een kleine polarisatiedraaiing ondergaat, zie figuur 3. Deze rotatie hangt af van de sterkte van het magnetische veld. Bij de MO-discs ligt de rotatie tussen  $0,3^\circ$  en  $1,2^\circ$  wat zonder al te veel kunstgrepen kan worden gedetecteerd. Dat levert, na enkele bewerkingsslagen, weer het oorspronkelijke datasignaal op.

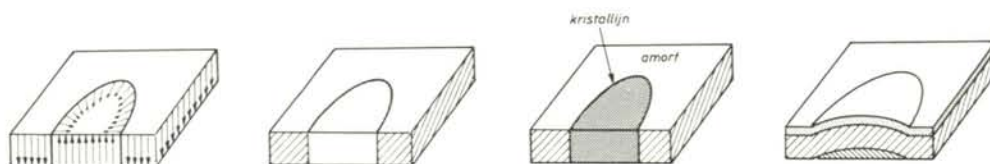
Het volledige lees/schrijf-traject is schematisch weergegeven in figuur 4. De laserdiode heeft een laag- en een hoogvermogen stand. Tijdens het uitlezen van de data zendt hij licht uit met een vermogen van circa 1,2 mW. Bij wis/schrijf-acties wordt dit opgevoerd tot 6 mW.

Het licht passeert een tralie, die uit de hoofdbundel twee nevenstralen afsplitst. Deze zijn niet van belang voor de gegevensterugwinning maar worden gebruikt om een signaal te genereren wanneer een sporingfout optreedt. Na de tralie volgt een deelspiegel, die alleen het terugkomende licht beïnvloedt, waarna een spiegel de bundel  $90^\circ$  afbuigt in de richting van de schijf. Een in de focusrichting- en sporingrichting beweegbare objectieflens zorgt voor de scherpstelling op de juiste plaats en de juiste diepte.

Na door de schijf te zijn gereflecteerd gaat de lichtstraal, waarvan de polarisatie afhankelijk van de magnetisatie al of niet enigszins is gerooteerd, dezelfde weg terug tot aan de deelspiegel. Hier wordt de bundel afgebogen in de richting van

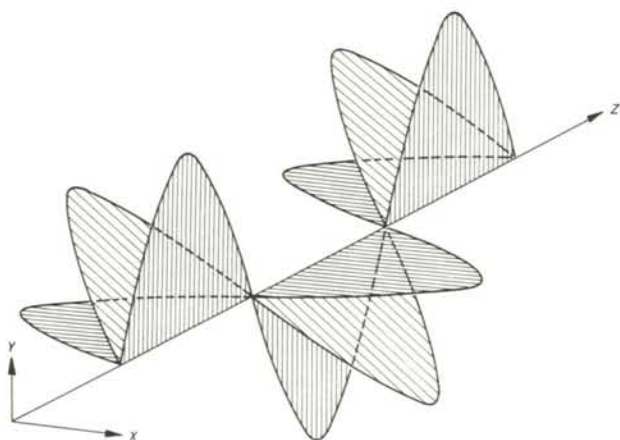


Figuur 1. Vijf manieren voor niet-wisbare optische registratie, respectievelijk blaasvorming, oppervlaktesmelting, vervorming, polijsting en tenslotte het maken van holten in het materiaal.

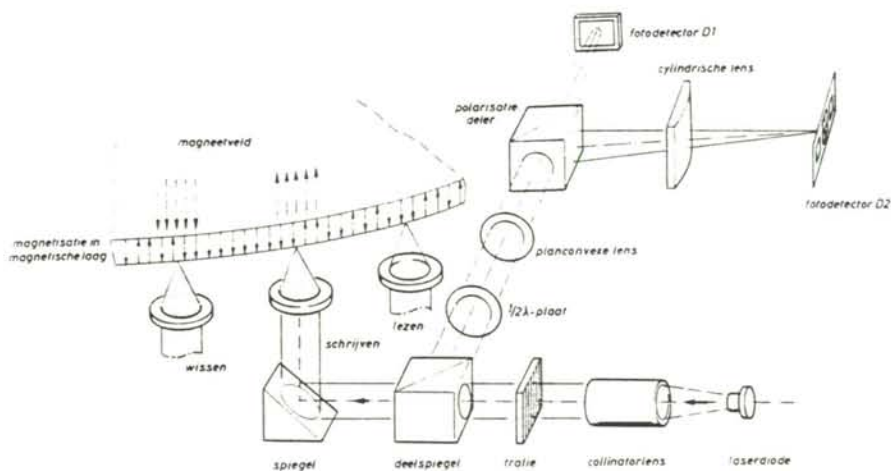


Figuur 2. Van de vier meestbekende wisbare optische media - van links naar rechts magneto-optisch, kleurwisseling, faseverandering en dubbelpolymeer - heeft alleen de eerste geleid tot commerciële producten.

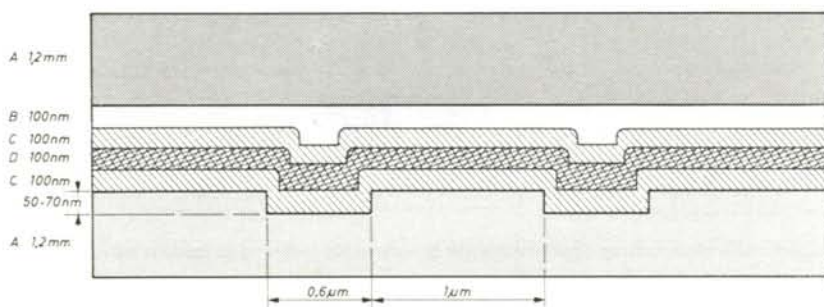
Magneto-optische audio-discrecorder



Figuur 3. Verandering van magnetisatie beïnvloedt de polarisatiehoek van het gereflecteerde licht.

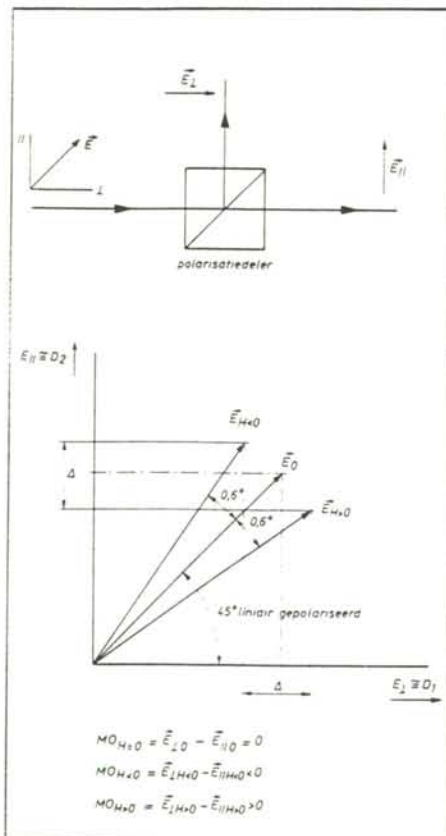


Figuur 4. Principeopbouw van de magneto-optische opnemer.



- A polycarbonaat of glassubstraat
- B beschermingslak
- C RETM-laag
- D kleeflaag

Figuur 6. De zes lagen van een MO-disc.



Figuur 5. Scheiding van de horizontale en verticale componenten in de polarisatiedeler.

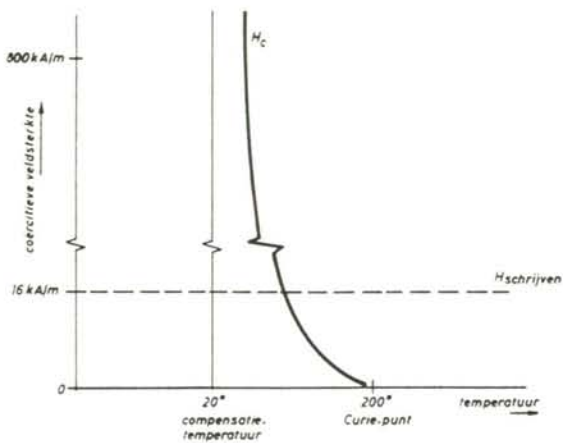
de polarisatiedeler. De  $1/2\lambda$ -plaat in figuur 4, heeft alleen tot doel het polarisatievlak over  $45^\circ$  te draaien. Daardoor kunnen de fotodetectoren in een gunstige positie worden gemonteerd. De polarisatiedeler scheidt de horizontale en verticale polarisatiecomponenten in het licht zoals in figuur 5 is weergegeven. Het verschil in de lichtenergie tussen de twee detectoren  $D_1$  en  $D_2$  levert het magneto-optische signaal op.

Schijfstructuur

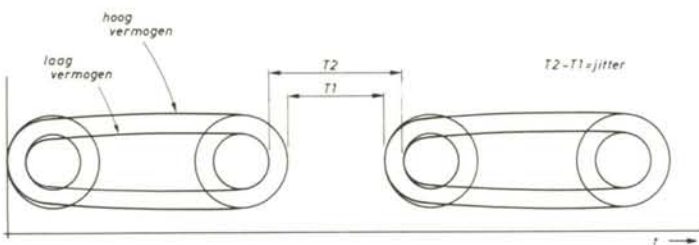
De mechanische structuur van een magneto-optische schijf lijkt sterk op die van de CD. Het belangrijkste verschil, de kern van het MO-principe, wordt gevormd door een extra magnetische dunne film-laag van een zeldzame-aarde overgangsmetaal (RET, Rare Earth Transition Metal) die zeer snel oxideert; zie figuur 6. Een van de meestgebruikte legeringen hiervoor is terbijumferrokoobalt.

De laag heeft een dikte van slechts 40 nm en mede daardoor krijgt hij bijzondere magnetische en optische eigen-

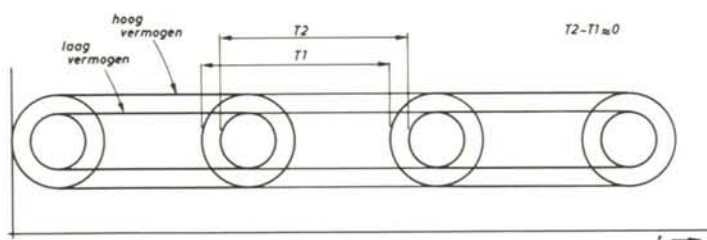




Figuur 7. Magnetisatiecurve van de RETM-laag (Rare Earth Transition Metal).



Figuur 8. Schakelen van de laser vergroot de jitter. Ook de invloed van de warmtecapaciteit van de laag wordt dan merkbaar.



Figuur 9. Als de laser continu vermogen geeft, wordt de groef veel gelijkmatiger.

schappen. Bij kamertemperatuur draagt de coërcitieve veldsterkte van de laag enkele honderdduizenden ampère per meter. Naarmate de temperatuur toeneemt, daalt deze waarde, zie figuur 7.

Het Curiepunt ligt bij circa 200 °C en bij deze temperatuur wordt de legering magnetisch zwak. Dat houdt in dat hij op dat moment de polariteit overneemt van het externe magnetische veld, vooropgesteld dat er zo'n veld aanwezig is. Is het externe veld sterk genoeg, dan treedt de polariteitsovername ook al op bij een lagere temperatuur. Koelt de laag weer af, dan blijft de laatst aangelegde polarisa-

tie behouden; de magnetisatie wordt als het ware ingevroren.

#### Onbeperkt wissen en beschrijven

Dit principe van afnemende coërcitieve kracht wordt nu gebruikt om de informatie vast te leggen. Hiertoe wordt het materiaal plaatselijk verwarmd met een laserdiode. Een extra magneetkop zorgt voor het externe veld, waarvan de polariteit afhangt van de toestand van het weg te beschrijven bit.

De mechanische uitvoering van de MO-disc bepaalt zijn eigenschappen waar het schrijfsnelheid en opslagcapaciteit betreft. Omdat de RETM-laag van de

huidige discs slechts 40 nm dik is, kan deze met een goed gefocusseerde laserstraal zeer snel en zeer plaatselijk worden verhit.

Snelle verhitting, en derhalve ook vlotte afkoeling, maakt korte schrijfcycli mogelijk en dat bevordert de snelheid van de gegevensregistratie. Omdat maar een zeer klein gebied heet wordt, kunnen de bits dicht op elkaar kunnen staan en is dus een hoge informatiedichtheid haalbaar.

Zowel in het geval van lasermodulatie met bias-magneetveld als bij magneetveldmodulatie met bias-laser heeft magneto-optische registratie nog enkele algemene voordelen ten opzichte van andere opslagmethoden. Ten eerste is MO-opslag zeer betrouwbaar.

Gegevensverlies door verhitting treedt pas op bij circa 200 °C. Externe magnetische velden kunnen de informatie alleen beschadigen als zij bijzonder sterk zijn en in combinatie met een hoge omgevingstemperatuur. In beide opzichten zijn MO-discs veel minder kwetsbaar dan de gebruikelijke vormen van magnetische opslag op banden of diskettes. In vergelijking met andere technieken voor wissbare optische registratie heeft het magneto-optische principe duidelijk het voordeel dat het aantal schrijf- en wiscycli fysiek niet beperkt is. Dit is juist een van de kernproblemen bij media die werken op basis van faseverandering in de kristalstructuur van kristallijn naar amorf en vice versa of bij het dubbelpolymeer-systeem zoals dat onder andere door Tandy is voorgesteld.

#### Kwaliteit van de schrijfmethode

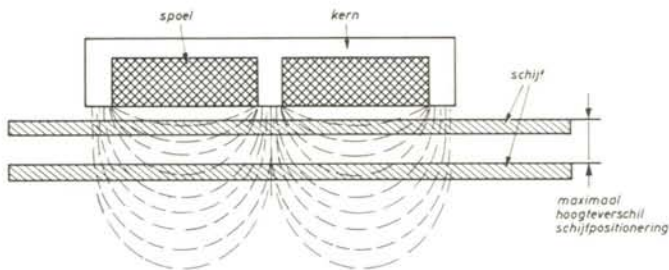
Voor de technische uitvoering van dit principe dienen zich twee benaderingen aan. De eerste is dat het systeem een statisch magneetveld aanlegt en de datastroom in het lasersignaal moduleert. Dit heeft als nadeel dat voorafgaand aan de feitelijke schrijfslag een wiscyclus nodig is. Voor diverse toepassingen, vooral die waar het om real-time registratie gaat en daar is audio een voorbeeld van, is dat geen bijzonder elegante oplossing.

Een tweede mogelijkheid is de laser alleen als warmtebron te gebruiken.

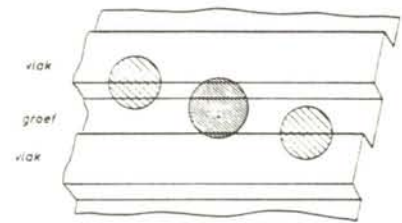
Modulatie van de magneetkop zorgt dan voor de opname van het datasignaal. Het voordeel hiervan is dat bestaande putjes rechtstreeks kunnen worden overschreven.

Deze werkwijze brengt nog een tweede voordeel met zich mee, namelijk dat de grootte van de 'magneetputjes' relatief constant is en onafhankelijk van schom-

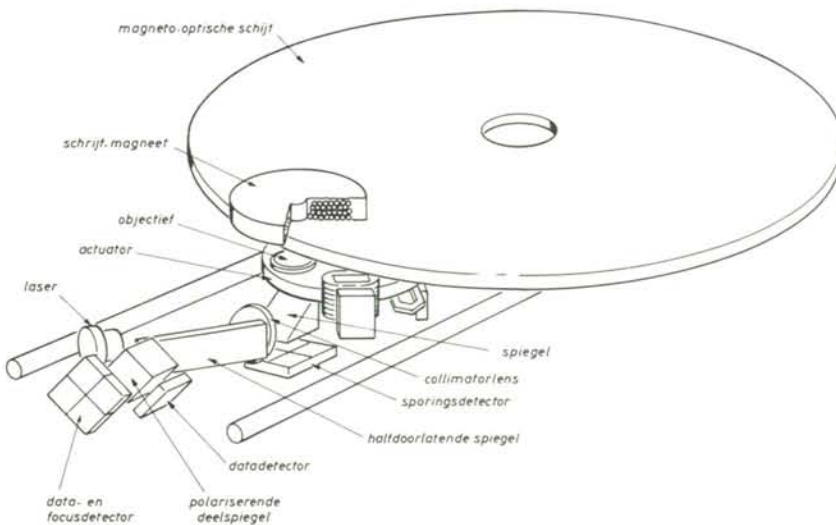
## Magneto-optische audio-discrecorder



Figuur 10. De hoge eisen die aan het magnetische gedrag van de schrijfkop worden gesteld, limiteren ook de mechanische toleranties.



Figuur 11. Normaal gesproken schijnen de nevenbundels precies op de grens tussen vlak en groef.



Figuur 12. In de huidige optische opnemers is de sporing controle verplaatst.

melingen in het uitgangsvermogen van de laser. Als de laser zou worden gemoduleerd dan kunnen variaties in stijgtijd en aansturing leiden tot verschillen in omvang van opeenvolgende bits en daarmee ook in verschillen in afstand; zie figuur 8. De daardoor ontstane jitter bemoeilijkt de synchronisatie en het inlezen van het signaal. Als de laser constant vermogen afgeeft dan zijn de fluctuaties veel langzamer, minder intensief en beter beheersbaar. De afstand tussen de putjes is dan vrijwel constant; zie figuur 9. Overigens is de enigszins druppelachtige vorm van de sporen bij lasermodulatie, zoals in figuur 8 valt te zien, het gevolg van de niet oneindig kleine warmtecapaciteit van de laag.

#### Technische beperkingen

Een nadeel van magneetveldmodulatie is dat een relatief sterk veld van ruim 10

$\text{kAm}^{-1}$  moet worden geproduceerd. Hiertoe moet de elektromagneet niet meer dan enkele tienden van een millimeter boven de schijf hangen. Bovendien zal deze een signaal met een



Als sinds de jaren zeventig wordt gewerkt aan opslag met optische media. Philips' Laservision was het eerste consumentenprodukt in die richting.

vrij hoge frequentie (720 kHz) aan moeten kunnen.

Een en ander is gerealiseerd door de vorm van de kop aan te passen, door materialen met een lage relatieve permeabiliteit te gebruiken en door speciale buffers te gebruiken voor de elektrische aansturing. Mechanisch is een constructie ontworpen waarbij de magneetkop wel radiaal meebeweegt met de opne-mer maar verder verticaal gefixeerd is. Dat stelt wel weer eisen aan het maximale verschil in hoogte bij de positionering en bij roteren, zie figuur 10, van de schijf.

#### Focusering van de laser

Sensor  $D_1$  is een standaard fotodiode; zie figuur 4.  $D_2$  daarentegen bestaat uit zes foto-elektrische vlakken waarvan er vier gezamenlijk het feitelijke signaal opwekken. Deze laatste zijn gegroepeerd als een vierkant met vier kwadranten wat dient om behalve de gegevensstroom ook het servosignaal voor de focusering uit de lichtbundel af te leiden. Dat gebeurt met de astigmatisme-methode.

De grootte van de focuseringsfout kan worden opgemaakt uit het verschil in vermogen dat de vier kwadranten ABCD leveren. Een cilindrische lens voor de detector zorgt ervoor dat een niet-volledige scherpsstelling leidt tot astigmatisme. In dat geval is de som  $A + C$  ongelijk aan  $B + D$ . De grootte van het verschil tussen deze waarden is een maat voor de afwijking in de scherpsstelling. Dit verschilsignaal wordt gebruikt voor het aansturen van de focuseringsservo.

#### Spring van de kop

Het MOD-loopwerk werkt met het dries-trails-principe voor de controle op juiste sporing. Hiervoor genereert, zoals reeds vermeld, de tralie achter de laserdioden twee nevenbundels; zie figuur 4. Op de disc levert dat een beeld op zoals in fi-



De MO-opnemer kan net zo compact worden uitgevoerd als zijn tegenhanger voor CD's.

guur 11 is geschetst. Als de hoofdstraal goed spoort, liggen de nevenbundels met hun midden precies op de grens tussen het vlak en de groef.

Om een en ander te kunnen waarnemen beschikt sensor D<sub>2</sub> aan weerszijden van de vier kwadrantvlakken over nog eens twee optische opnemers E en F. Hier valt het door de schijf teruggekaatste licht van de nevenbundels op. De sporingfout is evenredig met het verschil in energie die E en F leveren.

Overigens is in de jongste prototypen van de recorder een enigszins afwijkend optisch systeem voor de lichtstraalrouting en de sporingcontrole gebruikt. De deelspiegel die de heen- en teruggaande stralen splitst, is nu een halfdoorlatende spiegel die niet meer dwars op de bundel staat maar juist onder een vrij kleine hoek daarmee is gemonteerd. Zoals ook in figuur 12 valt te zien, heeft dit tot gevolg dat laser en detectie-eenheid veel dicht bij elkaar staan. De spiegel onder de schijf buigt van het door de disc gereflecteerde licht alleen de hoofdstraal af en laat de nevenbundels passeren. Onder deze spiegel is een derde detector aangebracht die de sporingssignalen levert.

### Codering

Teneinde zoveel mogelijk compatibel te zijn met de CD, wordt voor de kanaalcodering het EFM-formaat gehanteerd. EFM (Eight to Fourteen Modulation) houdt in dat 8-bit blokken aan de hand van een vertaaltabel worden omgezet naar 14-bit woorden. Een "1" of een groep enen wordt gerepresenteerd door een niveau-overgang. Daarna volgen minimaal twee nullen, wat de kortste afstand tussen niveauwisselingen drie bits maakt.

Op CD zijn de gegevens opgeslagen in de vorm van ingeperste putjes die een diepte van ongeveer een kwart van de golflengte van het laserlicht hebben. Deze veranderen de richting van het teruggekaatste licht en veroorzaken daardoor een variatie in de intensiteit die op zijn beurt, na foto-elektrische omzetting, resulteert in de oorspronkelijke informatiestroom.

De lengte van de putjes ligt tussen de drie en elf klokcycli. Deze dataklok werkt op een frequentie van 4,3 MHz en heeft dus een periode van 231 ns. Het aftasten van de schijf gebeurt bij een snelheid van 1,2 m/s. Een enkele klokperiode komt derhalve overeen met 0,55  $\mu\text{m}$  zodat de lengte van de putjes kan variëren van 1,65 tot 6,05  $\mu\text{m}$ . De afstand tussen twee sporen is 1,6  $\mu\text{m}$ .

De fysieke indeling van CD's is gestandaardiseerd volgens de maten zoals die in figuur 13 zijn aangegeven. Op 23 mm vanaf het middelpunt begint het gebied van de data, startend met de voorloopsporen. Deze beslaan een ring van

2 mm en bevatten diverse gegevens over onder andere de indeling van de disc en een inhoudsopgave. Daarna volgt over een breedte van 33 mm het feitelijke programmeergebied waarna een ring van 0,5 mm is gereserveerd voor de uitloopsporen. Een en ander is in figuur 14 nog eens afzonderlijk geschetst, waarbij gerekend is in sporen van een halve millimeter met het middelpunt op de 0.

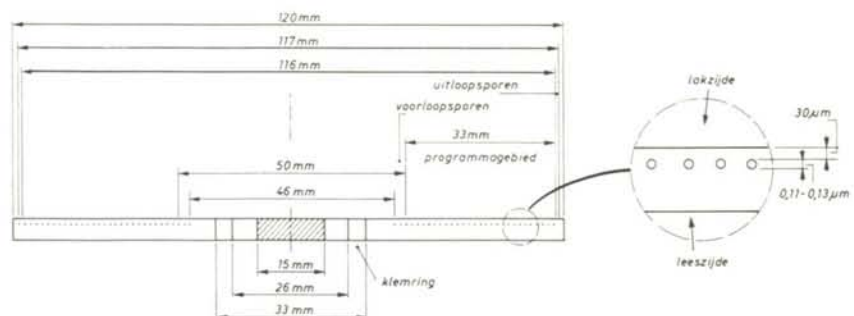
### Discindeling

De organisatie van de data is bij de magneto-optische disc enigszins afwijkend van de CD en dat is ook nodig vanwege de van elkaar verschillende registratiemethoden en het feit dat het hier om een door te gebruiker te beschrijven medium gaat; zie figuur 15. Evenals bij de CD begint een MO-disc met een reeks voorloopsporen. Hierin zijn nu behalve de informatie over de data-indeling ook gegevens over de disc zelf opgenomen, onder meer welk laser vermogen optimaal is om te schrijven en dergelijke.

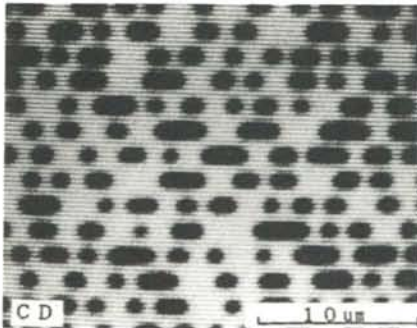
Een klein deel van het oorspronkelijke programmesegment is gereserveerd voor een door de gebruiker gegenereerde aanhef, als verlengstuk van de voorgeprogrammeerde voorloopsporen.

Daarna volgt ruim 32 mm lees/schrijfgebied, gevolgd door dezelfde, vast geprogrammeerde uitloopsporen als bij de CD.

De gebruikersaanhef, aangeduid met UTOC-gebied, wordt als laatste deel van de schijf beschreven. Informatie met betrekking tot de opgeslagen bestanden, programmanummers en -tijdsduur en dergelijke, slaat de MOD-recorder eerst in een intern geheugen op. Pas op het moment dat de schrijfcyclus wordt afgesloten en de disc uit het loopwerk moet, schrijft het apparaat de inhoud van dit tussengeheugen weg. Het UTOC-gebied wordt bij elke aanpassing van de opge-



Figuur 13. De afmetingen en indeling van een CD zijn gestandaardiseerd.



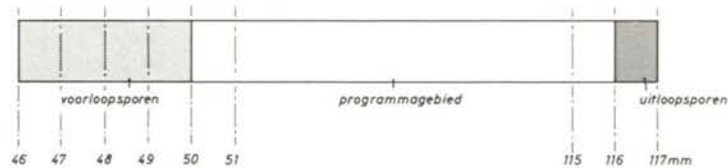
Putjes en magnetisatievlakjes bij CD's respectievelijk MO-discs kunnen in lengte variëren van 1,65 tot ruim 6 μm.

slagen data opnieuw ingelezen, gewijzigd en weer weggeschreven; zie figuur 16.

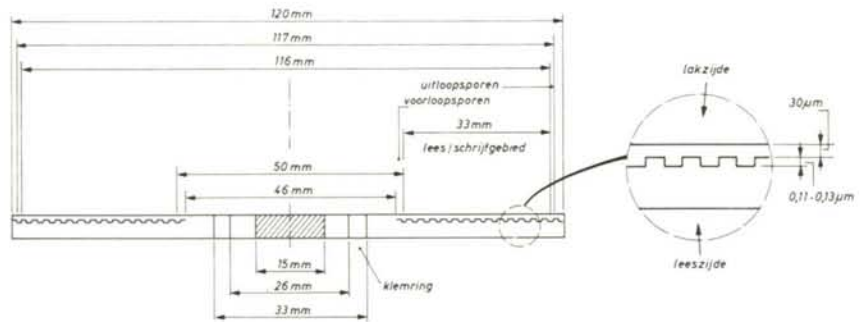
**Tijdcode**

Bij CD's kan het kloksignaal rechtstreeks uit het datasignaal worden herleid. Datzelfde geldt voor de weergave van MO-discs. Tijdens de opname is dit signaal echter niet beschikbaar en dat houdt in dat informatie over de draaisnelheid en de positie van de opneemkop op een andere manier moet worden verkregen. Hiervoor kan uit drie verschillende benaderingen worden gekozen. Ten eerste is het mogelijk om, en dat is ook in het MO-disc-prototype gebeurd, de discmotor te voorzien van een toerentalmeter en het opnamemechanisme met een positie-sensor uit te rusten. Deze twee leveren samen voldoende informatie om een gesloten servosysteem te creëren dat tijdens het opnemen actief is. Dit principe heeft als nadeel dat in elke recorder extra hardware moet worden ingebouwd.

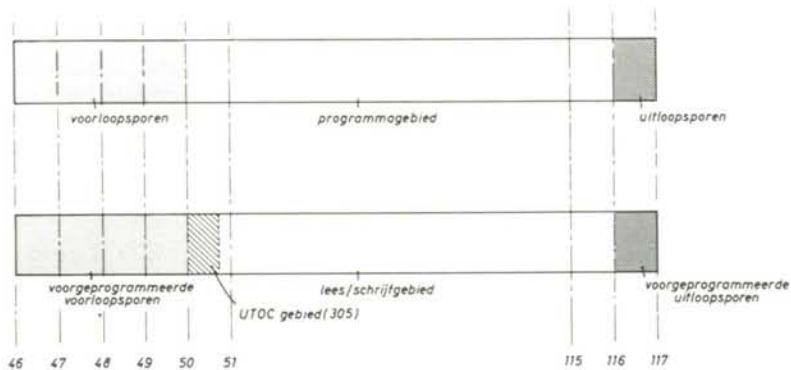
Een tweede mogelijkheid is het voorformatteren van discs in de vorm van prebits, in dit geval 'prebits'. Dit heeft echter tot gevolg dat vooraf al een gegevensstructuur dwingend wordt opgelegd. Het werken met verschillende structuren - bijvoorbeeld afwijkende bemonsteringsfrequenties als MSC, Mascam en OFC - wordt hierdoor sterk bemoeilijkt. De door Thomson voorgestelde standaard is het toevoegen van een extra, data-onafhankelijke tijdcode op de schijf. Dit zou dan moeten worden gerealiseerd door bij de fabricage van de disc een spiraalspoor toe te voegen. Daarin worden dan met een amplitude van circa 30 nm en een frequentie van 22 kHz de absolute tijd en het sectornummer gemoduleerd met behulp van FM. Inmiddels is hiervoor een data-onafhankelijke tijdcode ontwikkeld.



Figuur 14. Indeling van het programmagebied van de compact disc, gerekend in stappen van een halve millimeter vanuit het middelpunt van de schijf.



Figuur 15. De MO disc is qua afmetingen identiek aan de CD.



Figuur 16. Vergeleken met de indeling van de CD (boven) onderscheidt het datagebied van de magneto-optische disc zich door de toevoeging van een gebruikersaanhef.



Teneinde bij onbeschreven discs toch een kloksignaal te kunnen genereren, is voorgesteld om de media bij de fabricage van een tijdcodespiraal te voorzien.

Deel 2: consumenten MO-discrecorder voor audio, video (fotografie en film) ligt technisch binnen handbereik.

## Magneto-optische video-discrecorder is geen fictie meer



Thomson heeft op basis van magneto-optische media een digitale audiorecorder ontwikkeld.

Th. van Gelder

Vorig jaar presenteerden de ontwikkel-laboratoria van Thomson een prototype audio-discrecorder gebaseerd op het magneto-optische principe. Deze disc-recorder kan CD's weergeven en daarnaast digitaal geluid opnemen door MO-discs te wissen en te beschrijven. Op basis van de reeds voor de CD-speler ontwikkelde technologie komt het ontwikkelen van een video-discrecorder tot consumentenprodukt binnen de realiseerbare mogelijkheden.

### MO-discrecorder als consumentenprodukt

Het gerealiseerde audio-prototype van deze recorder haalt een signaal/ruis-verhouding van ruim 52 dB en komt daarmee een kleine 10 dB boven de kritieke grens die EFM-codering (zie hoofdstuk "Coding") aan de opname stelt. De overspraakdemping tussen tijdcode en datasignaal moet ongeveer 24 decibel bedragen terwijl dat bij de FM-gemoduleerde drager minimaal 24 dB moet zijn.

Deze waarden worden ruim genoeg gehaald om massaproductie van loopwerken mogelijk te maken en daarbij te voldoen aan de kritieke specificaties zonder dat dit extreem hoge eisen aan het fabricageproces stelt. Er zijn nog drie zaken die bijdragen aan de veronderstelling dat het haalbaar moet zijn om magneto-optische recorders voor consumententoepassingen te produceren.

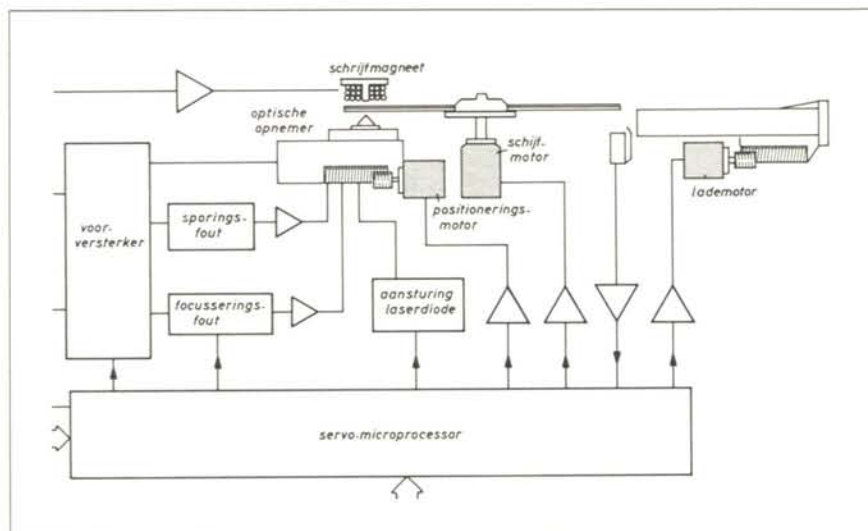
Ten eerste laten de magneto-optische discs zich op dit moment op gelijke schaal vervaardigen als CD's. Wel zijn de kwaliteitseisen ten opzichte van de CD op enkele punten hoger. Zo moet er

op worden gelet dat niet-constante dubbele breking in de polycarbonaat-drager kan leiden tot ongewenste polariteitsveranderingen in het gereflecteerde licht en daarmee tot leesfouten. Hoewel dit probleem in de CD-fabricage geen wezenlijke rol speelt, is bij dit proces wel de kennis opgedaan om een en ander op te lossen. Datzelfde geldt voor het aanbrengen van de RETM-laag, waarvoor goede sputtertechnieken bestaan, en voor de samenstelling van de beschermlak tegen oxydatie. De eigenschappen van deze laklaag zijn zeer kritisch omdat hij de Kerr-rotatiehoek beïn-



Een compressie/expansiemodule kan voorzien in de behoefte aan een hogere bemonsteringsresolutie bij professionele audiotoeepassingen.

## Magneto-optische video-discrecorder is geen fictie meer



Figuur 1. Blokdiagram van de elektronica in de MO-discrecorder.

vloedt en ook de signaal/ruisverhouding verkleint.

#### Toepassing van beproefde technieken

In de tweede plaats is de optische aftaster al ver geëvolueerd en dat is opnieuw in belangrijke mate te danken aan de stormachtige ontwikkeling die de CD-speler heeft doorgemaakt. De meeste benodigde onderdelen zijn inmiddels gewone, goedkope massaproducten geworden en dat geldt zowel voor de laserdiodetechnologie als voor de micro-optische onderdelen en servomechanismen. Zo kosten 30 mW laserdioden in het 780 nm bereik minder dan laag-vermogen dioden enkele jaren geleden. Ook zaken als asferische objectieflenzen met 1/20 golffrontabberatie in gespoten kunststof zijn nu gangbare producten. Ten derde heeft de voortgang in digitale signaalverwerking het mogelijk gemaakt om een MOD-recorder te realiseren. Vooral ten aanzien van de kanaalcodeering en de algoritmen voor foutcorrectie zijn de afgelopen jaren essentiële vorderingen gemaakt. Wederom is het succes van de CD de motor van de ontwikkelingen geweest, in het bijzonder waar het de implementatie van DSP-technieken in geïntegreerde schakelingen betreft. Deze zijn goeddeels ook geschikt voor MOD-apparatuur en dat helpt, opnieuw, om de produktiekosten laag te houden.

#### Recorder

Van het prototype van de magneto-optische recorder is het blokdiagram van het elektronische gedeelte weergegeven in figuur 1. Het signaaltraject begint links, waar een standaard zender/ontvanger-

bouwsteen de in- en uitvoer van digitale audio verzorgt. De interface is geschikt voor de gangbare bemonsteringsfrequenties (48, 44,1 en 32 kHz). Wanneer het afspelen start, wordt begonnen met het lezen van de identificatie van de disc — compact disc of magneto-optisch — en de instelling van de bijbehorende parameters. De decodering levert tevens de subcodes op, die ondersteuning bieden bij het besturen van de schijfmotor en de positioneringsservo. Het beheren en besturen van deze regelus, waarin uiteraard ook de signalen voor de springfout en de focuseringsfout zijn opgenomen, is de taak van een afzonderlijke 8-bit microcontroller. Een tweede processor regelt de overige systeemonderdelen en heeft als hoofdtak de interface met de gebruiker te onderhouden via toetsenbord, afstandsbediening, uitleesscherm en VU-meters.

#### Professionele geluidstoepassingen

De samen met de audioinformatie opgeslagen subcode speelt een rol in de besturing van het loopwerk en de elektronica. In principe kan een deel van de code, een 40 kbit/s gebruikerskanaal, vrij worden gebruikt voor andere doeleinden. Eén daarvan is het verbeteren van de resolutie van de opgeslagen monsters.

Hoewel een resolutie van 16 bit voor consumentengebruik beslist toereikend is, zou een recorder voor professioneel gebruik tot 20 bit moeten kunnen gaan. Rechtstreekse registratie van deze monsters vereist echter een volledig andere datastructuur op de schijf, inclusief de foutcorrectie en blokvolgorde-indeling.

Gezien de gewenste compatibiliteit met andere MO-discs en CD's lijkt dit niet de meest effectieve benadering.

Een veel eenvoudiger oplossing is het werken met een 20 naar 16 bit drijvende-komma compressie/expansie-eenheid. Deze zet de binnenkomende 20 bit monsters om in een mantisse van 16 bit en een 3 bit exponent. De mantisse kan worden behandeld als de standaard 16 bit informatiestroom en is gewoon op disc op te slaan. Het resterende deel met de bereik informatie komt daarbij in het gebruikerskanaal van de subcode te staan. De twee stereosignalen worden afzonderlijk van elkaar gecodeerd maar komen wel in hetzelfde tijdframe van de subcode te staan, waar ze samen een 6 bit woord vormen.

#### Langspeler

De compatibiliteit met CD's brengt wel de beperking met zich mee dat een continue opname niet langer kan duren dan zo'n 74 minuten. Dit is weliswaar beter dan de speelduur van compact cassettes en langspeelplaten maar voor sommige toepassingen, bijvoorbeeld concertopnamen en achtergrondmuziek, is het nog niet optimaal. In DAT-recorders is hierin al voorzien door een optie voor datareductie te bieden die, gecombineerd met een lagere bemonsteringsfrequentie, een speelduur van vier uur oplevert.

Inmiddels is uit onderzoek al gebleken dat het mogelijk is om de hoeveelheid data voor hifi-audio met minstens een factor vier terug te brengen zonder dat dit leidt tot kwaliteitsverlies. In principe kan in de MOD-recorder elk reductiealgoritme worden geïmplementeerd.

Verskillende ondernemingen hebben al bruikbare methoden ontwikkeld.

Bruikbaar zijn het MSC-algoritme (Multadaptive Spectral Audio Coding) van Thomson zelf maar ook Mascam van IRT en OFC van het Fraunhofergesellschaft. Ook Philips haalt met zijn PASC-techniek (Precision Adaptive Subband Coding) voor de DCC (Digital Compact Cassette) een reductie met een factor vier. Verder werkt de ISO/EC-werkgroep WG8 (MPEG-audiostandaardisatie) aan de normalisatie van het Aspec-algoritme (Adaptive Spectro-Perceptual Entropy Coding), dat de oorspronkelijke hoeveelheid data tot minder dan een vijfde terugbrengt.

Zou een dergelijke, kleine gegevensstroom rechtstreeks worden opgenomen dan zou dit resulteren in grote ongebruikte gebieden op de disc. Deze ruimte achteraf benutten is lastig, wellicht zelfs onmogelijk en in elk geval inefficiënt.

Een oplossing is om de hoeksnelheid van de disc evenredig met de reductiefactor te verkleinen. Met Aspec zou zo zelfs ruim zes uur continu muziek mogelijk zijn.

### Video

Met een totale opslagcapaciteit van 6 Gbit reiken de toepassingen van MOD verder dan alleen geluid. De lees/schrijf-mogelijkheid maakt het onder andere heel geschikt voor videofoto's, de zogenaamde 'still video'. De huidige generatie still video camera's slaat de beelden op een 2 inch diskette op en daar is ruimte voor twee tot drie foto's.

Inmiddels is een coderings- en decoderingseenheid voor still video ontwikkeld met een AES/EBU-compatibele digitale interface. Elk plaatje is equivalent met drie seconden muziek. Het is derhalve mogelijk om per MO-disc tot 1500 beelden op te slaan. Overigens zou hier ook een DAT-recorder uitstekend kunnen worden toegepast. MOD heeft echter als voordeel dat de afzonderlijke opnamen veel beter en sneller toegankelijk zijn voor lees-, schrijf- en wisacties.

### Schrijfdichtheid

Een stap verder is natuurlijk de registratie van bewegende beelden. Beschikbare beeldcompressietechnieken maken het mogelijk om uitstekende videobeelden te krijgen bij een netto doorvoersnelheid van 10 Mbit/s. Daarboven kan bij discs het voordeel van de snelle toegang wor-



Een veelbelovende applicatie voor MO-registratie is 'still video'-fotografie.

den benut door interframecodering toe te passen wat nog eens 40% winst oplevert.

Wat resteert is een gegevenssnelheid van 6 Mbit/s. Voor een MOD-recorder is dat zeer wel te verwerken maar hij kan dan niet meer dan een twaalf minuten opslaan. Om real-time video te kunnen realiseren is daarom een grotere data-dichtheid nodig.

De omvang van de putjes bepaalt de gegevensdichtheid en de minimumgrootte daarvan is op zijn beurt begrensd door de golflengte van het laserlicht. Momenteel wordt gewerkt met licht van 780 nm, op de grens van rood en infrarood. Een halvering van deze golflengte zou een verviervoudiging van de dichtheid betekenen. Met optische frequentieverdubbelers is het mogelijk om blauw laserlicht uit een diode te krijgen maar

hiervan is de intensiteit voornamelijk te laag. Op termijn zal met deze technieken echter zeker een opslagcapaciteit van 2,5 Gbit voor een magneto-optische disc kunnen worden bereikt.

### Referenties:

- [1] E.F. Schroeder, H. J. Platte, D. Krahé; 'MSC'; Stereo Audio Coding with CD Quality and 256 kbit/s; IEEE Transactions on Consumer Electronics, CE 33, 1987, pag. 512-519.
- [2] D. Uhde; Magneto optische Platten; lezing Thomson Consumer Electronics R & D Laboratories, 1989.
- [3] Ken C. Pohlmann; Digitale audio, principes, registratie en opslag; Kluwer Technische Boeken, 1988.
- [4] K. Brandenburg; High Quality Sound Coding at 2,5 bit/sample; 84 Convention of the Audio Engineering Society, Parijs, 1988, preprint nr. 2582.
- [5] G. Stoll, M. Link, G. Theile; Masking-Pattern Adapted Subband Coding: Use of the Dynamic Bit Rate Margin; 84 Convention of the Audio Engineering Society, Parijs, 1988, preprint nr. 2585.
- [6] E.F. Schroeder, D. Uhde; Extending the Performance of the Rewritable Magneto-Optical Disc; Thomson Consumer Electronics R & D Laboratories, 1990.

## Aktueel

### Themadag 'Industriële informatica'

22 mei 1991

World Trade Center, Rotterdam

Concepten voor papierloze communicatie in de industrie. 1991 zou wel eens een jaar van beslissingen kunnen zijn.

Computer-ondersteunde uitwisseling van informatie tussen opdrachthouders, fabrikanten en toeleveranciers heeft in vele industrietakken reeds vaste grond onder de voeten gekregen.

Verschillende systemen en normen zijn vastgelegd door industriële organisaties in Europa. Met name de automobiel- en de vliegtuigindustrie werken reeds volop met dergelijke systemen.

In Nederland is door het Ministerie van Economische Zaken een stuurgroep EDI (Electronic Data Interchange) ingesteld. Vertegenwoordigers van de Nederland-

se overheid en industrie hebben zitting in verschillende Europese organisaties. Voor betrokkenen is het van belang op de hoogte te blijven om tijdig van de nieuwe mogelijkheden gebruik te kunnen maken.

### Voor nadere informatie:

MCNL, telefoon: 040 - 432 503

### Technologie-dag Spuitgieten

donderdag 23 mei 1991

"Het Turfschip" te Breda

De grote ontwerp- en constructievrijheid bij gespuitsgiete kunststofproducten zijn er de oorzaak van dat kunststofproducten een steeds grotere plaats op de markt innemen. Het fabriceren van kunststofonderdelen vereist veel kennis en ervaring. Vooral de bundeling van

proces- en produktkennis draagt bij tot een nauwkeurig en kwalitatief hoogstaand produkt. Hierbij zijn de gebruikte materialen, spuitgiematrijzen en machines van grote invloed. De gestelde eisen op het gebied van energie en milieu zijn een nieuwe uitdaging voor de kunststofindustrie. Deze technologie is tot stand gekomen naar aanleiding van de eerste concrete resultaten van het Innovatiegerichte Onderzoekprogramma (IOP) op het gebied van polymeercomposieten en bijzondere polymeren. Deze bijeenkomst beoogt de kunststofbranche over resultaten en toepassingsmogelijkheden te informeren en hiermee de concurrentiepositie van het bedrijf te verbeteren. In dat kader komen op deze dag ook een aantal marktgerichte ontwikkelingen aan de orde.

### Voor nadere informatie:

MCNL, telefoon: 010 - 405 1280

## Hoogfrequent frezen

J. Verkerk

Het frezen met kleine frezen van fijnmechanische produkten in niet-ijzer-materialen duurt vaak onnodig lang, omdat als gevolg van de kleine gereedschapdiameter ver onder de gewenste snijsnelheid en verspaningscapaciteit gewerkt wordt. Door gebruik te maken van speciale freesspillen waarvan de motor met een frequentie-omvormer gevoed wordt, kunnen toerentallen tot 42.000 omw/min worden gerealiseerd, zodat een verhoging van de verspaningscapaciteit met een factor 10 niet denkbeeldig is. In makkelijk te verspanen materialen zoals aluminium, koperlegeringen en grafiet is slechts een gering vermogen nodig, waardoor hoogfrequent-spillen tegen betrekkelijk lage kosten op bestaande machines kunnen worden geïnstalleerd.

### Verspaningscapaciteit

In de FMT worden veel niet-ijzer materialen bewerkt, zoals kunststoffen, aluminium- en koperlegeringen, ten behoeve van elektronica, lucht- en ruimtevaarttechniek, en andere vakgebieden.

Fijnfrezen vindt ook plaats bij de vervaardiging van elektroden uit grafiet of koper voor het vonkverspanen van matrijzen die worden gebruikt voor het spuitgieten van kunststoffen. In al deze gevallen worden gewoonlijk kleine frezen en boren gebruikt. De produktiviteit van deze bewerkingen is vaak zeer gering, wat het beste aan de hand van een voorbeeld kan worden toegelicht:

Wanneer we in aluminium een 8 mm diepe gleuf frezen met een frees van 8 mm diameter (tweesnijder) dan is het verspaand volume  $6,4 \text{ mm}^3/\text{omw}$ . Bij een toerental van 3000 omw/min, wat voor veel machines het maximum is, wordt nog geen 500 Watt voor de verspaning gebruikt. Bij het nabewerken is de te verspanen laagdikte kleiner dan 1 mm, zodat het benodigde verspaningsvermogen zelfs kleiner is dan 60 Watt. Dit zijn zeer kleine waarden vergeleken bij de vele kilowatts aandrijfvermogen die gewoonlijk op een freesmachine beschikbaar zijn. Oorzaak van deze geringe produktiviteit is de lage snijsnelheid, die slechts een fractie is van wat hij mag zijn.

Zouden we de snijsnelheid verhogen

door het spiltoerental met een factor 10 te verhogen tot 30.000 omw/min, dan zou ook de verspaningssnelheid een factor 10 groter kunnen worden. Wil dit effect hebben, dan moet ook de voedingsnelheid met een factor 10 worden verhoogd. Bij conventionele machines is dit maar beperkt mogelijk, maar met CNC-freesmachines kunnen hoge voedingsnelheden worden gehaald, terwijl deze machines bovendien snel en accuraat de meest ingewikkelde gereedschapbanen kunnen afleggen. De maximum voedingsnelheid van de werkstudslede ligt voor deze machines tussen 2 à 10 m/min, zodat er nog een behoorlijke winst in verspaningscapaciteit te halen is.

### Profielfrezen

De foto in figuur 1 laat enkele werkstukken zien, waaronder een gekromd profiel. Het profiel is gefreesd met een bol-frees en om de gewenste vormnauwkeurigheid te bereiken worden de gereedschapbanen dicht naast elkaar gelegd. De af te nemen snededikte is klein als gevolg van de geringe onderlinge afstand van de bewerkingssporen, terwijl de bewerkingstijd groot is. Soortgelijke situaties komen voor bij het aanmaken van elektroden voor het vonkverspanen van

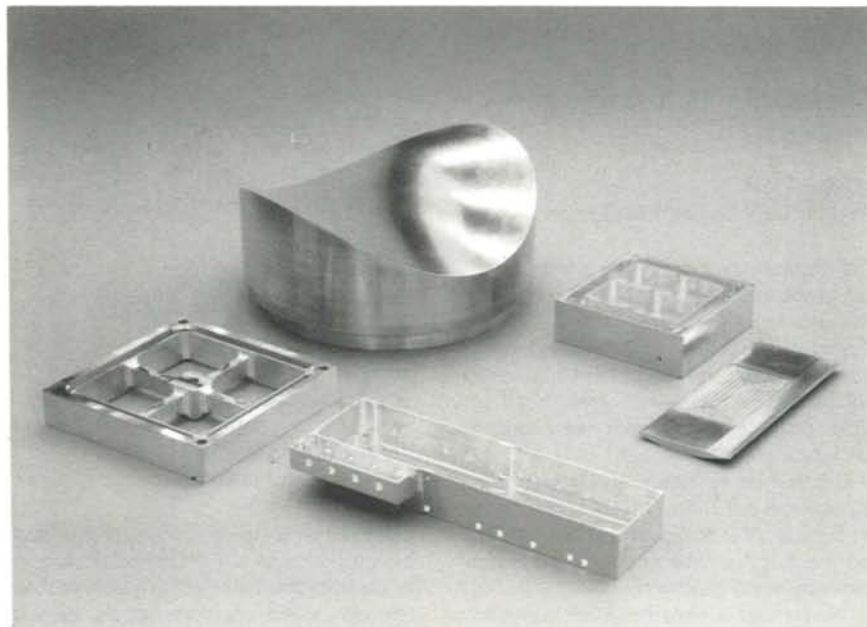
matrijzen, die o.a. voor het spuitgieten van kunststoffen worden aangemaakt. Ook hier heeft een hoog toerental en een hoge voedingsnelheid een gunstig effect op de bewerkingstijd.

### Dunwandige werkstukken

Vaak is maximaal volume verspanen niet het enige argument. Bij dunwandige werkstukken moeten de verspaningskrachten laag gehouden worden om uitbuigen van de te bewerken dunne wand zo klein mogelijk te houden. De verspaningskracht wordt bepaald door de spaandikte, zodat men in dit soort situaties voor nafreescondities kiest. Nu geldt eens te meer dat verhoging van het spil toerental gunstig is, want bij gelijke voedingsnelheid gaat de spaandoor-snededikte en daarmee de verspaningskracht omgekeerd evenredig met de verhoging van het spiltoerental naar beneden. Het voordeel is dat dunne wanden minder snel gesteund hoeven te worden, wat opzichzelf weer een besparing betekent.

### Hoogfrequent-spillen

Hoogfrequent-spillen zijn te koop in diverse uitvoeringen en grootten. Voor de fijne bewerkingen, met frezen van 8 mm en kleiner, zijn spillen met een vermogen tot 3 kW interessant. De meest eenvoudi-



Figuur 1. Diverse uit aluminium vervaardigde werkstukken die zich lenen voor hoogfrequent-frezen. Een verhoging van de verspaningscapaciteit met een factor 10, ten opzichte van conventioneel frezen, is niet denkbeeldig.



Precisie-spillen van

  
**FISCHER**

**Bijv:  
Hoogfrequent  
spillen  
type MFW**

Spillen met groot vermogen, toerentallen tot 75.000 omw/min. en automatische gereedschapswissel. Hoofdzakelijk ingezet voor HF-frezen. Grote maat- en vormnauwkeurigheid en eerste klas oppervlaktekwaliteit. Gereedschapopname volgens ISO.

**Bijv.:  
Luchtdruk  
spillen  
type JP/JS**

Spillen voor toerentallen van 50.000 tot 130.000 omw/min. Geschikt voor het slijpen van kleine boringen in serie- en enkelefabrikage. Grote maat- en vormnauwkeurigheid.



Slijpspinnenfabriek  
**E. Fischer AG**  
Zwitserland

**Leverancier:**  
Oude Reimer B.V.  
Postbus 430  
1200 AK Hilversum  
Tel. 035-854051

**Precisie uit traditie.  
Sinds 1939.**

## Hoogfrequent frezen

ge en compacte methode om een spil aan te drijven, is het toepassen van een driefasedraaistroommotor die direct aan de spil gekoppeld is. Bij hoge toerentalen is de balancering van belang, zodat motoras en spil als één geheel worden uitgevoerd. De assen van de spullen zijn voorzien van kogellagers, die zowel de axiale als de radiale verspaningskrachten moeten opnemen. De omloopsnelheid van de kogels wordt bepaald door de diameter van het lager en om die reden is het maximum toerental lager naarmate de diameter van de spil groter is. Bij het motorvermogen is het omgekeerde het geval, bij een grotere asdoorsnede past een groter motorvermogen. Aangezien er een frequentie-omvormer nodig is om het gewenste hoge toerental te bereiken, moet bij de keuze van het motorvermogen ook rekening gehouden worden met een passende frequentie-omvormer. Driefase frequentie-omvormers zijn dure apparaten, vooral als het gaat om regelingen met een bereik van 50 tot 600 Hz, moet men voor een vermogen tot 5 kW al gauw rekenen op f 15.000. Voor een vermogen tot 3 kW blijkt er echter ook

een goedkopere oplossing te bestaan gebaseerd op 220 V tweefase voedingspanning.

### Overwegingen bij de keuze van een spil

Wanneer een hoogfrequent-spil als een aanvulling van het gereedschap op een bestaande machine wordt aangeschaft, dan zijn er diverse factoren die een rol spelen:

- De kosten van de totale aanschaf. Doordat een goedkope frequentieomvormer niet meer dan 3 kW levert, geeft het voordelen om een spil te kiezen die niet meer dan 3 kW vermogen afneemt.
- De verspaningscapaciteit van de spil. Deze wordt bepaald door het vermogen en het toerental en de verspaningseigenschappen van het te verspanen materiaal.
- De maximale voedingsnelheid van de slede van de CNC-freesmachine.
- De mogelijkheid om meer dan één spil te monteren, waardoor gelijktijdig meer dan één werkstuk gemaakt kan worden.

De eenvoudigste keus is een hoogfrequent-spil met 3 kW vermogen. Daarmee heeft men beschikking over 27.000 toeren en 1,8 kW voor het frezen.

Als alternatief kan gekozen worden voor twee hoogfrequent-spillen die samen 3 kW opnemen. Daarmee heeft men beschikking over tweemaal 1 kW aan de frees bij een maximum toerental van 36.000. Welke van deze mogelijkheden de beste is hangt af van de freesdiameter en de specifieke snijkraft van het te verspanen materiaal, omdat het vermogen in geen geval te klein mag zijn. Dit keuzeprobleem kan grafisch worden zichtbaar gemaakt door het benodigde vermogen voor de verschillende aanzetten uit te zetten tegen het toerental. Ook dit kan het eenvoudigst aan de hand van een voorbeeld worden toegelicht.

### Controle van het benodigde vermogen

Als we een keuze voor materiaal dat we willen bewerken en een keuze voor de grootste toe te passen freesdiameter hebben gemaakt, dan gaan we als volgt te werk.

We gaan bijvoorbeeld uit van aluminium. Bij dit materiaal kunnen we de volgende verspaningsgegevens vinden:  
Snijsnelheid: 1000 m/min  
Spaandikte per snijkant:  
0,04 mm/tand bij fijnverspanen,  
0,1 mm/tand bij voorbewerken

### Specifieke snijkraft:

1 kN/mm<sup>2</sup>, een waarde die is gebaseerd op een voeding van 0,1 mm/omw en een freesdiepte die gelijk is aan de halve freesdiameter. De specifieke snijkraft daalt naar 0,30 kN/mm<sup>2</sup> bij een voeding van 1,6 mm/omw.[1]. We kiezen een frees van 8 mm diameter (tweesnijder).

- Om 1000 m/min snijsnelheid te realiseren zou de frees 40.000 omw/min moeten draaien, zodat er inderdaad een hoogfrequent-spil nodig is om dit toerental te realiseren.
- Bereken het verspaande volume per freesomwenteling voor verschillende spaandikten bij het frezen van een sleuf over de volle breedte van de frees. Bij een tweesnijder is dit:

$$V_{\text{per omw}} = 2 \cdot \text{spaandikte} \cdot \frac{1}{2} d_{\text{frees}} \cdot d_{\text{frees}}$$

- Deze waarden worden gebruikt bij het maken van een diagram waarin het spilttoerental op de horizontale en de verspaande hoeveelheid per seconde

Figuur 2. Smalle sleuven en dunne wanden laten zich goed bewerken met hoogfrequent-frezen omdat de verspaningskrachten gering zijn als gevolg van het hoge spilttoerental.



op de verticale as worden uitgezet voor verschillende aanzetten per tand  $f$ , zie figuur 3.

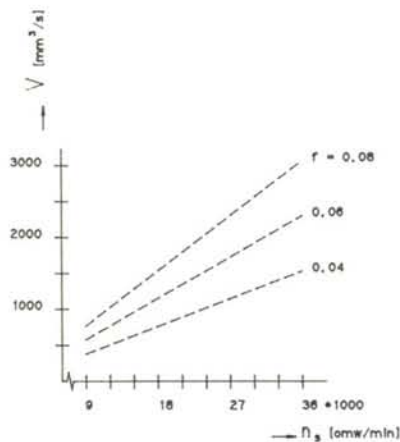
- Het benodigde vermogen wordt berekend door de verspaande hoeveelheid te vermenigvuldigen met de specifieke snijkraft. Voor aluminium ligt deze bij circa  $1 \text{ kN/mm}^2$ .
- Langs de verticale as wordt nu ook het benodigde vermogen tegen het toerental uitgezet, zodat nu voor elke situatie zichtbaar is hoe groot het benodigde vermogen is.
- Van de spil uit tabel 1, die in aanmerking komt zetten we het nettovermogen (het vermogen dat aan de spil wordt afgegeven) uit tegen het toerental, zie figuur 4.
- Vervolgens combineren we beide figuren. Bij een gelijk gekozen schaal voor het vermogen kunnen ze over elkaar heen gelegd worden, zie figuur 5.
- Nu gaan we na in hoeverre de vermogenslijnen van de spullen passen bij de voor het verspanen benodigde vermogen.

### Veiligheid en betrouwbaarheid

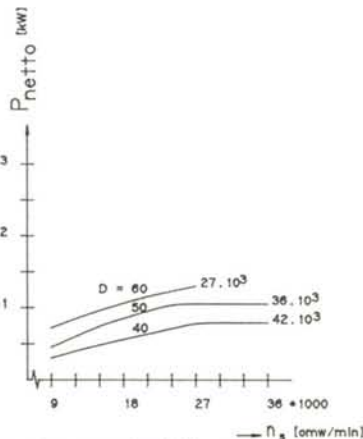
Op elk moment zullen we voldoende vermogen moeten hebben, omdat anders de spil tot stilstand komt. In elk geval moeten we tegen de gevolgen van overbelasting beveiligen, omdat de frees meteen breekt wanneer de voedingsbeweging niet op tijd stopt. Er moet minimaal een toerendetectie zijn die heel snel de noodstop van de machine inschakelt wanneer het toerental van de spil te ver achter blijft bij het gewenste toerental. Deze functie is vaak optioneel, maar is beslist noodzakelijk. Het verbinden met het noodstopcircuit is bij de meeste machines vrij eenvoudig te realiseren. Daarnaast is het zaak om steeds in de grafiek in de gaten te houden bij de keuze van verspaningscondities en toerental, zodat steeds voldoende vermogen beschikbaar is. Als gevolg van de frequentieregeling neemt het beschikbare vermogen toe met het toerental totdat een maximumwaarde bereikt wordt. Voor kleine frezen en makkelijk te verspanen materiaal is praktisch altijd voldoende vermogen beschikbaar, maar zodra de frees te groot, het toerental te laag of het materiaal moeilijker te verspanen is er een vermogenstekort. Een eenvoudige methode om te voorkomen dat een te grote frees wordt toegepast, is het aanschaffen van spantangen voor alleen de kleine freesdiameters.

### Aanbouwen van de spullen

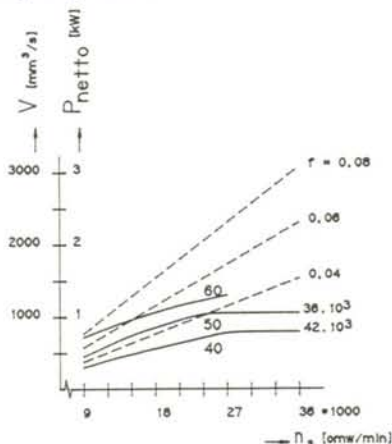
De meest praktische plaats voor het aan



Figuur 3. Verspaningscapaciteit in relatie tot het toerental voor een frees (tweesnijder) van 8 mm diameter, die een spiebaan van 4 mm diepte freest voor diverse aanzetten  $f$  per tand.



Figuur 4. Het netto beschikbare vermogen in relatie tot het toerental van hoogfrequent-spullen bij diverse spildoorsneden. Het maximum toerental is eveneens afhankelijk van de spildoorsnede doordat de omloopsnelheid van de kogels in de lagers begrensd is.



Figuur 5. Voor aluminium is de specifieke snijkraft  $1 \text{ kN/mm}^2$ , zodat ook het benodigde vermogen voor fig. 3 eenvoudig te berekenen is door vermenigvuldiging van de verspaningscapaciteit met de specifieke snijkraft. Combinatie van de grafieken 3 en 4 laat zien dat met de spilkeuze de maximaal toepasbare aanzet per tand van de frees afhankelijk van de vraag of er voldoende vermogen beschikbaar is.

In het algemeen blijkt echter niet het beschikbare vermogen, maar de maximum voedingsnelheid van de freesmachine de beperkende factor.

bouwen van de spullen bij universele freesmachines is door middel van een hulpplaat ter plaatse van de machine spil, zie foto. Er zijn klemstukken te koop met flenzen aan de zijkant van de spil. Wanneer echter gekozen wordt voor het gelijktijdig met meer dan één spil werken, dan moet ook een keus gemaakt worden voor de onderlinge afstand tussen de spullen. Het is dan vaak praktischer om heel compact te bouwen en zelf klemstukken te ontwerpen, waarbij de bevestiging bijvoorbeeld achter in plaats van naast de spil valt.

Wanneer met meer dan een spil tegelijk wordt gewerkt, is het op gelijke diepte instellen van de frezen enigszins bewerkelijk. Het zou makkelijker zijn wanneer de spullen binnen een bereik van 0,5 mm zouden kunnen worden nagesteld. Misschien is er bij de lezers van de Mikroniek wel een constructeur die daar een eenvoudige en toch voldoende stabiele oplossing voor weet.

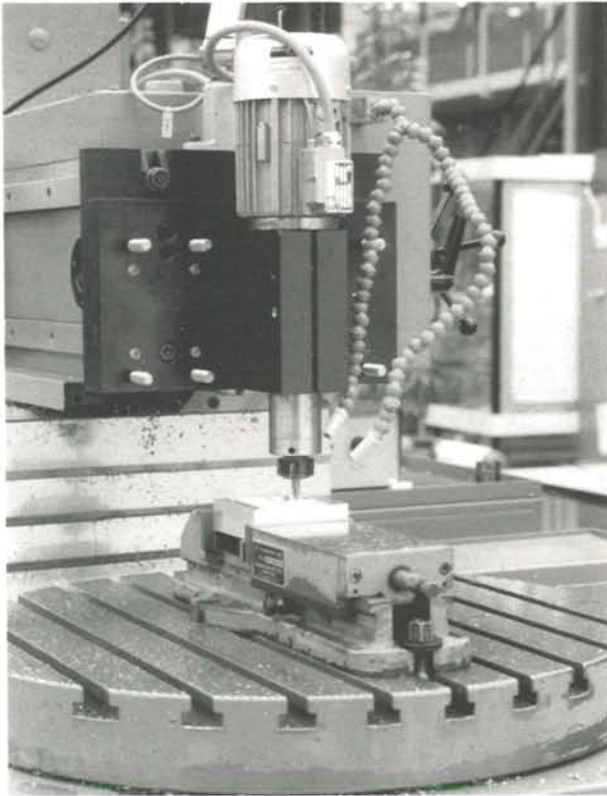
### Gebruikservaring

Het frezen met de hoogfrequent-spil gaat snel en levert ook de verwachte tijds-winst. Er is echter één hinderlijke bijkomstigheid. Kleine dunne frezen trillen als gevolg van hun geringe buigstijfheid en veroorzaken daardoor een nare janktoon, die in een rustige werkplaatsomgeving als zeer hinderlijk wordt ervaren. Het toepassen van hardmetaalfrezen geeft verbetering evenals het beperken van de uitsteeklengte van de frees. Ook met het variëren van toerental en verspaningscondities kan enige verbetering bereikt worden. Het meeste 'gejank' ontstaat bij het voorfrezen.

Bij het frezen van 3D-modellen in lichte kunststof was er nauwelijks enig lawaai en kon de maximale voedingsnelheid van de machine gelopen worden. Daarbij ontmoetten we een ander probleem dat samenhangt met de snelheid van dataverwerking door de besturing. Voor de verwerking van NC-instructies is enige tijd nodig. Bij normale voedingsnelheid en een afstand van een aantal millimeters tussen de opeenvolgende datapunten is er niets aan de hand. Wanneer de afstand tussen de punten naar 2 mm werd teruggebracht, om een meer getrouwe contour te verkrijgen, dan begon de sledebeweging te stoten wanneer we een zekere voedingsnelheid overschreden. Dit verschijnsel is echter zeer machine-afhankelijk en van te voren gemakkelijk uit te testen met de eigen machine voor de eigen werksituatie. Bij het frezen van aluminium voldoet de normale vloeistofkoeling, wan-

## Hoogfrequent frezen

Figuur 6. De hoogfrequent-spil op de machine. Tevens zijn er bevestigingsmogelijkheden voor extra spullen aangebracht. Hoogfrequent frezen



neer er maar voor gezorgd wordt dat de koelvloeistof overvloedig bij de snijkant aanwezig is.

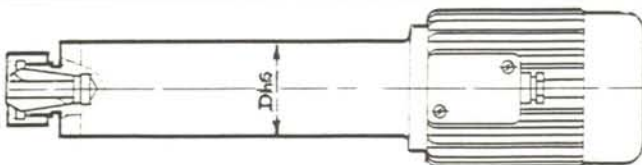
**Computer programma**

Ook is het mogelijk het gebruik van de grafieken te vervangen door een computerprogramma, waarin de gegevens van de spil zijn ingevoerd. Een voorbeeld is het onderstaande programma dat in Quick Basic geschreven is. Bij elke keuze wordt steeds weer gekeken of het gevonden toerental ook mogelijk is, zoniet, dan wordt de maximum of minimum waarde uit tabel 1 gebruikt. Het benodigde vermogen wordt vergeleken met het beschikbare. Door interpolatie tussen de waarden in de DATA-tabel kan voor elk toerental het beschikbare vermogen gevonden worden.

Het zal blijken dat de voedingssnelheid van de machine in de meeste gevallen de beperkende factor is.

Voor degenen die GW-Basic gebruiken kan worden volstaan met elke regel door een nummer vooraf te laten gaan. De LABELs vervallen dan en de GOTO verwijst dan naar het regelnummer.

Spil D mm	Frequentie f (Hz)											Toerenbereik n (min <sup>-1</sup> )	Literatuur
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600		
	Toerental n (min <sup>-1</sup> )												
	3000	6000	9000	12000	15000	18000	21000	24000	27000	30000	36000		
32	35	65	95	130	160	190	220	235	250	265	265	3000-48000	Dr. ir. J. Verkerk is directeur van de Werkplaats Fysica van de Rijksuniversiteit te Utrecht. In deze werkplaats worden fijnmechanische apparaten ontwikkeld en gebouwd ten behoeve van wetenschappelijk experimenteel onderzoek van de RUU.
	110	140	200	260	310	350	390	410	430	450	450		
40	100	200	300	400	480	560	630	710	790	790	790	3000-42000	Documentatie E. Fischer AG Präzisions-Elektrospindeln Importeur Oude Reimer BV, Hilversum.
	270	420	540	660	780	840	910	1000	1100	1100	1100		
50	150	300	450	600	750	850	950	1050	1050	1050	1050	3000-36000	
	400	580	800	1000	1200	1300	1400	1500	1500	1500	1500		
60	370	550	720	850	960	1060	1160	1230	1300			3000-27000	
	890	1320	1730	2040	2300	2540	2800	2950	3150				
70	550	950	1250	1540	1820	1910	2000					3000-21000	
	1200	2100	2750	3400	4000	4200	4400						
80	1100	1850	2400	2700	3000	Bovenste waarden afgegeven vermogen					3000-15000		
	2300	3700	4800	5400	6000	Onderste waarden opgenomen vermogen							



Tabel 1. Netto en bruto vermogen in relatie tot het toerental voor diverse hoogfrequentiespillen. Er zit een knik in de vermogenstoename met het toerental, waarboven het vermogen niet meer toeneemt. Het maximum toerental is hoger naarmate de spildoorsnede kleiner is. De netto-vermogenslijn voor een spil van 50 mm doorsnede is uitgezet in fig. 4.

```

REM *** Berekening instelgrootheden bij hoogfrequent-frezen
REM *** rekeninghoudend met het beschikbare vermogen.
REM * Vul de data met de volgende gegevens:
REM * type spil, aantal waarden, netto vermogen, toerental, ...
DATA "HEN 50 1,5 kW", 10
DATA 150,3000,300,6000,450,9000,600,12000,750,15000,850,18000
DATA 950,21000,1050,24000,1050,30000,1050,36000
PI=4*ATN(1)
RESET: READ A$: READ N
FOR I=0 TO N-1: READ P(I):READ NS (I): NEXT I
REM *** Zoek de knik in de vermogenslijn
L=N
LABL: L=L-1: IF P(L)>=P(N-1) THEN GOTO LABL
L=L+1
REM *** Invoer van waarden
PRINT "Berekening van het benodigde vermogen voor spil ";A$
PRINT
INPUT "Specifieke Snijkraacht [kN/mm2] ";KS
INPUT "Max. voedingsnelheid machine [mm/min] ";VM
LABX: PRINT "Het maximaal te verspanen volume is ";P(L)/KS*.001;" mm3/s"
INPUT "Freesdiameter D [mm]";DF
INPUT "Aantal tanden frees Z ";NF
INPUT "Freesdiepte T [mm]";T
INPUT "Verspaningsbreedte B [mm]";B
PRINT
H=INT(1000*P(L)*60/KS*NS(L)*B*T*NF)*.001
PRINT "Maximale aanzet per tand";H;"mm bij";NS(L);"omw/min."
VS%=H*NF*NS(L): SS%=DF*PI*NS(L)*.001
PRINT "Voedingsnelheid";VS%;"mm/min Snijsnelheid";SS%;"m/min."
PRINT
GOTO LABH: REM Sprong voorbij invoer
LABS: PRINT: REM Sprong vanaf einde programma voor nieuwe keuze
INPUT "Aanzet per tand h [mm]";H$: H$=H$+"~"
IF ASC(H$)>122 OR ASC(H$)<44 THEN GOTO LABEND: REM Sprong naar einde programma
IF ASC(H$)>57 THEN GOTO LABX
H=VAL(H$)
LABH: NSM=VM/(H*NF)
IF NSM<NS(0) THEN PRINT:PRINT "Minimum toerental is";NS(0);"omw/min.":NSM=NS(0)
L=-1: REM Zoeken van passend toerental en netto vermogen
LABL2: L=L+1: IF NSM>=NS(L) AND L<N-1 THEN GOTO LABL2
IF NSM> NS(N-1) THEN NSM=NS(N-1)
PS=(P(L)-(P(L)-P(L-1))*(NS(L)-NSM)/(NS(L)-NS(L-1))): REM voorkomt delen door nul
HMAX=INT(1000*PS*60/(KS*NSM*B*T*NF)+.5)*.001
LABE: PRINT
PRINT "Voedingsnelheid";int(H*NF*NSM);"mm/min Toerental";
PRINT int(NSM);"omw/min Snijsnelheid";int(NSM*PI*DF*.001);"m/min."
PRINT "h=";H;"mm hmax=";HMAX;"mm";
IF HMAX<=H THEN PRINT "beschikbaar vermogen is";INT(100*HMAX/H)*.01;"TE KLEIN!": PRINT:GOTO LABX
PRINT "Beschikbaar vermogen is";INT(100*HMAX/H)*.01;"zo groot. P=";INT(PS+.5);"W":
GOTO LABS: REM Terugspringen naar invoer
LABEND:END

```

## Mechanismen ontwerpen met de computer II

### Demo-software speciaal voor NVFT-leden.

Het ontwerpen van een stangenmechanisme voor het realiseren van een bepaalde beweging is vaak een zeer tijdrovende aangelegenheid. Als hulp zijn er in het verleden zeer gedetailleerde atlanten gemaakt en tegenwoordig zijn er rekenprogramma's die poolkrommen van het te ontwerpen mechanisme berekenen.

Een eenvoudig en goedkoop rekenprogramma is SAM (Simulation and Analysis of Mechanisms) dat op de markt wordt gebracht door ARTAS Technical Application Software te Nunen. ARTAS heeft demo-software en een beknopte engelstalige handleiding beschikbaar gesteld waarmee u een indruk krijgt van de mogelijkheden.

Minimaal is een IBM-XT-compatible PC vereist met DOS 2.x of hoger. Een hardeschijf is gewenst, maar niet beslist noodzakelijk. Een 80-koloms monitor met een van de gangbare grafische mogelijkheden als Hercules, CGA, EGA, VGA etc., is noodzakelijk voor de grafische weergave.

### Gebruik van het programma

De gebruiker moet in een tekstverwerker de structuur van het mechanisme aangeven door het invoeren van een lijst met commando's, zie voorbeeld. Vervolgens kan een schematisch beeld van het mechanisme opgeroepen worden waarin tevens de nummering van de staven en scharnierpunten en de drijvende as wordt aangegeven.

Vervolgens kan men kiezen uit de hieronder genoemde mogelijkheden:

- Een animatie van het mechanisme bekijken, waarbij de snelheid kan worden gevarieerd; daarbij men kan kiezen of de animatie automatisch moet verlopen of dat per stap gewerkt wordt.
- Van één of meer (knoop-)punten in het mechanisme de baan bekijken.
- Van één of meer (knoop-)punten de baan in x, y-coördinaten uit laten zetten (op het scherm of op papier).
- Van één of meer (knoop-)punten een grafiek in beeld krijgen waarin de snelheid en/of plaats van dat punt tegen de tijd wordt uitgezet. Ook is het mogelijk de snelheid als functie van de plaats in de grafiek uit te zetten. In alle

gevallen geldt dat er meerdere grafieken tegelijk in beeld gebracht kunnen worden.

De opties zijn eenvoudig te kiezen door de eerste letter van de optie in te typen. Eveneens kunnen ook de cursor besturings-toetsen en/of een muis gebruikt worden.

Een klein nadeel van deze demo is dat men na beëindiging van het programma de cursor kwijt is.

Path of node 8 crank rocker mechanism

## TU-Twente stelt Nederlands-talige handleiding voor DE/Mec beschikbaar.

In Mikroniek 1/91 werd de DE/Mec-demo voor het grafisch interactief samenstellen van stangen- en nok-mechanismen vermeld. De Vakgroep Ontwerpleer van de Technische Universiteit Twente heeft voor dit pakket een Nederlandstalige handleiding voor studenten gemaakt. Daarin wordt stap voor stap de handelingen beschreven om tot de opbouw van een mechanisme te komen.

Van de Vakgroep Ontwerpleer hebben wij toestemming om deze handleiding onder de leden te verspreiden, zodat u deze ook bij de DE/Mec-demo zult aantreffen.

De DE/Mec-demo-software met handleidingen kan worden verkregen door overmaking van f 65 aan de penningmeester van de NVFT, postgiro 19.66.459 of bankrekening 22.53.39.730 onder vermelding van DE/Mec-demo en de naam en het adres waarheen wij moeten verzenden.

### Voorbeeld van de invoer van een kruk-drijfslag-mechanisme

```
TITLE Crank Slider Mechanism
NODE 1 0.0 0.0 * Pivot Point of Crank
NODE 2 0.1 0.2 * Joint
NODE 3 0.7 0.1 * Slider
ANGLE 4 * Crank Angle at node 1
ANGLE 5 * Crank Angle at node 2
BEAM 11 4 2 5 * Crank is Modelled as Beam Element
TRUSS 22 3 * Truss wil do - no angles required
FIX 1 1 * Fix node 1 in direction 1 (=x)
FIX 1 2 * Fix node 1 in direction 2 (=y)
FIX 3 2 * Fix node 3 in direction 2 (=y)
XINPUT 4 1 * Crank Angle No. 4 will be driven
LINEAR 6.283 0.4 60 * Lin. motion (=const. velocity) of 2*pi
[rad]
ENDBLOC * in 0.4 seconds divided into 60 equal
intervals
FILE * Store the following results for post
processing
X 3 1 * - position of node 3 in direction 1
U 3 1 * - displacement of node 3 in direction 1
V 3 1 * - velocity of node 3 in direction 1
A 3 1 * - acceleration of node 3 in direction 1
ENDBLOC
```

De SAM-demo-software met handleiding kan worden verkregen door overmaking van f 15 aan de penningmeester van de NVFT, postgiro 19.66.459 of bankrekening 22.53.39.730 onder vermelding van SAM-demo en de naam en het adres waarheen wij moeten verzenden.

## Produkt info

### Geavanceerd precisiedraaien van gehard stalen onderdelen

Een recent door Hembrug afgesloten onderzoeksprogramma heeft aangetoond, dat de Super-Mikroturn CNC zeer geschikt is voor het bewerken van gehard stalen draaidelen met slijpnauwkeurigheid. Deze zeer nauwkeurige precisiedraaimachine is een zeer goede hulp bij harddraaibewerkingen, waarbij de cyclustijd ten opzichte van het dure en minder flexibele slijpen vaak met meer dan 80 procent wordt ingekort.

Zeer hoge vorm- en maatnauwkeurigheden (of zeer lage ruwheidswaarden) kunnen door de Super-Mikroturn CNC door middel van het gebruik van diamant, CBN (kubisch boriumnitride) keramiek en hardmetaal gereedschappen worden bereikt in ferro en nonferro metalen. De Super-Mikroturn CNC is de eerste draaimachine waarbij ultraprecisie en grote draaiseries kunnen worden gecombineerd.

De Super-Mikroturn CNC is verkrijgbaar als stand alone machine met handmatige of automatische laad- en losinrichtingen maar kan daarentegen ook in een FMS worden geïntegreerd. Daar een zeer nauwkeurige instelling van het snijgereedschap van het allergrootste belang is, heeft Hembrug een hoogprecies beitelinstelsysteem bestaande uit microscoop, video camera en monitor ontwikkeld.

Voor nadere informatie:  
B.V. Gereedschapswerktuigindustrie  
Hembrug  
Hendrik Figeeweg 1, 2031 BJ Haarlem.  
Telefoon: 023 - 158 415

### Weegapparatuur met hoge resolutie

Op het terrein van industriële weegapparatuur brengt het Franse bedrijf PRECIA een reeks apparaten onder de naam EMERAUDE op de markt. Deze reeks omvat weegtoestellen met een hoge precisie: 6000 graden van 6 tot 3000 kg. De typen 3 en 19 zijn in Frankrijk goed-



gekeurd voor alle commerciële transacties. Een opmerkelijke uit deze reeks is de EMERAUDE 20, die de kenmerken heeft van type 19 met een hoge resolutie als extra. Door een druk op de HR-toets wordt de afleesnauwkeurigheid met vijf vermenigvuldigd, dit betekent 30000 graden. Een bereik van 3000 kg heeft een afleesnauwkeurigheid van 100 gram.

Met behulp van het toetsenbord kunnen tien bekende tarra's in het geheugen worden opgeslagen en kan het netto gewicht op elk moment worden opgevraagd.

Op een printer aangesloten is alle informatie zoals: datum, tijd, totalen etc. direct beschikbaar.

De kenmerken van de EMERAUDE 20 zijn:

- bereik/afleesbaarheid: van 6 kg/-,2 gram tot 3000 kg/100 gram;
- meetsnelheid: 12 metingen/seconde
- bescherming: IP 54
- LED-display: hoogte 14 mm
- meldingen: "Bruto, Netto, Berekend netto, Tarra"

Toepassingsgebieden: elektronica, mechanica, chemie, farmaceutische industrie, etc.

Dit Franse bedrijf zoekt nog een distributeur voor de Nederlandse markt, maar levert ook direct.

Voor nadere informatie:  
Stichting Frantech  
Bureau Franse Technologie  
Keizersgracht 276, 1016 EW,  
Amsterdam  
Telefoon: 020 - 254 736.

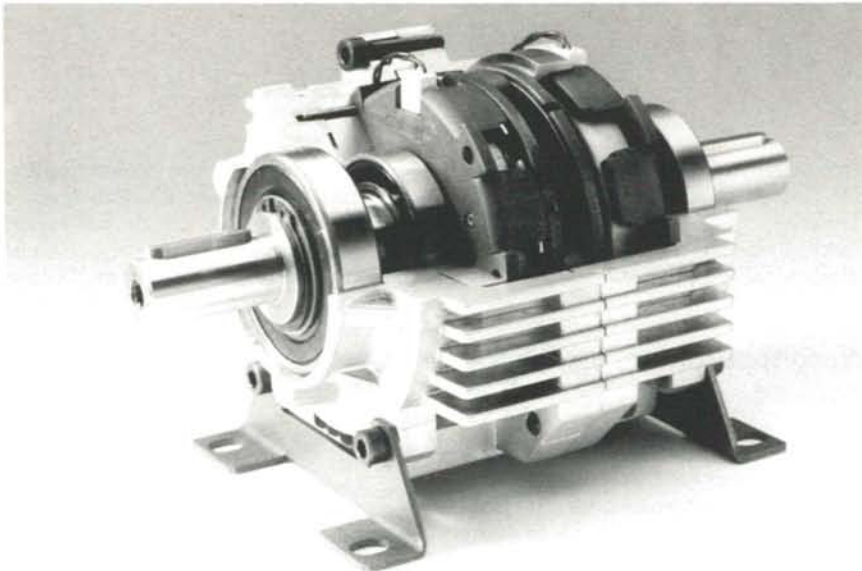
### Koppeling/rem-combinaties

Voor nauwkeurige positioneringen bij roterende en lineaire bewegingen was men tot voor kort voornamelijk aangewezen op remmotoren en servo-aandrijvingen.

Het Westduitse bedrijf Mayr introduceerde onlangs een aantrekkelijk alternatief onder de naam Roba-takt 670.

De basis van deze nieuwe koppeling/rem-combinaties is een verbeterde elektromagnetische koppeling, die Mayr speciaal voor dit doel ontwikkelde. Opmerkelijk bij de Roba-takt is de toe-





passing van gedeelde segmenten. Het effect hiervan is een geringere magnetische strooïing en een kleinere reductie van de aantrekkingskracht bij vergroting van de luchtspleet. Het gevolg is gelijkmatiger positioneren met grotere nauwkeurigheid. Volgens de fabrikant zijn 600 schakelingen per minuut mogelijk.

Belangrijk voor de betrouwbare werking op lange termijn is de automatische correctie van de luchtspleet, zodat slijtage geen invloed heeft op het functioneren van de koppeling/rem-combinatie. De opbouw van de Roba-takt is vrij simpel. De bouwmaat wordt afgestemd op de toe te passen AC- of DC-aandrijving; omdat er voldaan wordt aan de IEC-normen, kan de Roba-takt met uiteenlopende motoren gecombineerd worden. Complete levering met bijpassende elektromotor is mogelijk.

De koppeling/rem-combinaties zijn vooral toepasbaar in situaties waar een remmotor te onnauwkeurig is en waarbij de nauwkeurigheid van een servo-gestuurde aandrijving niet vereist en onnodig te duur is.

Als opmerkelijke voordelen van deze combinatie worden de precisie - in combinatie met wormwielkast met overbrenging 1:40 een max. afwijking van 1 à 1,5° en hoge taktfrequentie genoemd.

Voor nadere informatie:  
Groneman b.v.  
Postbus 24, 7550 AA Hengelo.  
Telefoon: 074 - 434 545.

### 'Buizen' gripper

Sinds kort is door het Westduitse bedrijf Sommer Automatic een nieuwe robot-

gripper geïntroduceerd. Bij de naam "buizen" moet men hier niet denken aan alleen ronde voorwerpen. Deze gripper kan allerlei vreemdsoortig gevormde producten hanteren, waarbij de doorsnede rond, ovaal of hoekig gevormd mag zijn.

De gripper werkt geheel pneumatisch. Door middel van een cilindrisch lamellenmembraan, dat zich als gevolg van de persdruk aanpast aan elke vorm, wordt het produkt omklemd. Afhankelijk van de ingestelde Druk is het mogelijk zware- of kwetsbare producten op te nemen en te verplaatsen.

De volgende twee uitvoeringen zijn leverbaar:

Voor nadere informatie:  
Technische Bureau Meiniger B.V.  
Postbus 743, 2280 AS, Rijswijk.  
Telefoon: 070 - 340 1780



	Type RG0-30	Type RG10-60
Buitendiameter	56 mm	108 mm
Hoogte	50 mm	96 mm
Gewicht	450 gram	840 gram
Diameter produkt	0 - 30 mm	min. 10 mm
Druk	3 bar (0,3 MPa)	3 bar (0,3 MPa)

Het huis is van geëloxeerd aluminium.

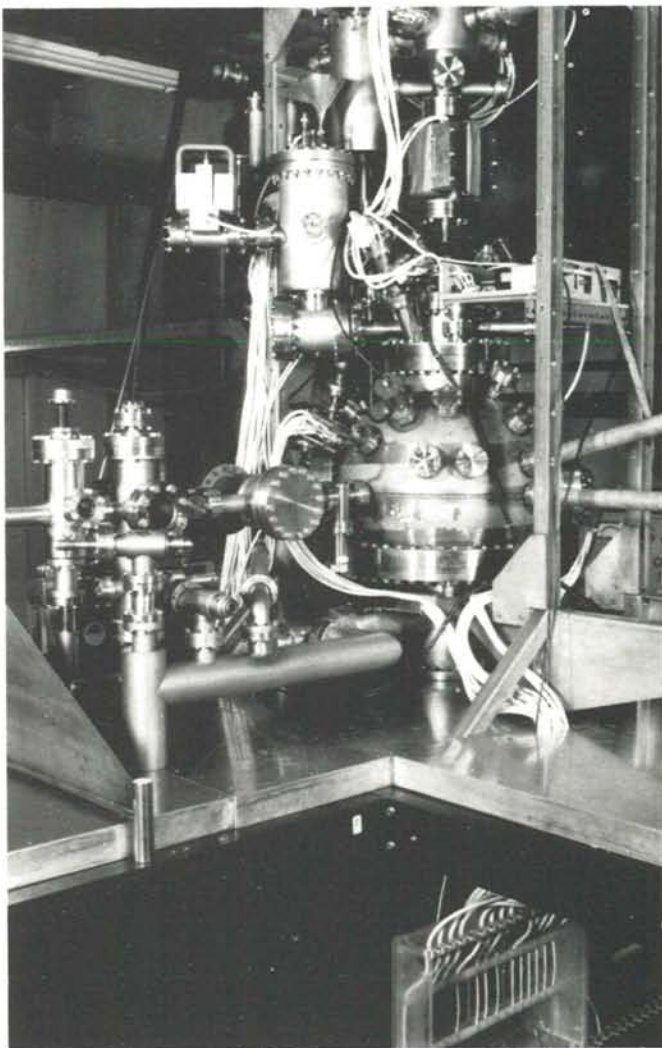




## ***Nieuwe, moderne technieken en nieuwe materialen bieden mogelijkheden om effectief in te spelen op de eisen van de markt.***

De CTD heeft een jarenlange ervaring met het toepassen van nieuwe technieken en materialen. Ervaring die is opgebouwd doordat het wetenschappelijk onderzoek steeds opnieuw eisen stelt en vraagt om niet-conventionele oplossingen bij het bouwen van speciale apparatuur en systemen. Deze kennis en ervaring staan ook ter beschikking aan het bedrijfsleven. Vooral in de experimentele fase van de produktontwikkeling kan het interessant zijn de faciliteiten van de CTD te benutten. De CTD beweegt zich op de vakgebieden: fijnmechanische techniek, apparatenbouw; elektronica en elektrotechniek; fysische techniek en glastechniek; reproductie en fotografie; kalibratie, certificatie en reparatie van instrumenten.

De CTD werkt projectmatig waarbij het project in fasen wordt gerealiseerd. Voor elke fase worden kosten en lever tijden vooraf opgegeven.



*Voor toezending van de CTD-infobrochure of voor het maken van een afspraak kunt U bellen naar het Secretariaat CTD, tel. 040-473659.*

Precisie-spillen van

  
**FISCHER**



**Bijv.:**

**Hoogfrequent spillen type MFN/V/Z**

Spillen met groot vermogen en toerentallen tot 150.000 omw/min. Toepassing vooral bij binnenslijpen.

Maximaal vermogen bij eerste klas oppervlaktekwaliteit. Grote maat- en vormnauwkeurigheid.

Slijpspillenfabriek  
**E. Fischer AG**  
Zwitserland

**Leverancier:**  
Oude Reimer B.V.  
Postbus 430  
1200 AK Hilversum  
Tel. 035-854051

**Precisie uit traditie.  
Sinds 1939.**

**LECUREUX**



Elektronische schroevendraaiers en schroefautomaten voor kleine schroeven van M0,35 tot M3.

micro  montage

Postbus 3108  
Tel. 02155-26400

3760 DC Soest  
Fax 27200

**De Universiteit Utrecht** ☆ in het hart van Nederland ☆ in drie en een halve eeuw uitgegroeid tot een veelzijdige, internationale onderwijs- en wetenschapsinstelling ☆ veertien faculteiten, vijftig studierichtingen en een snel groeiend aantal gespecialiseerde onderzoeksinstituten ☆ de spil van het Kenniscentrum Utrecht ☆ samenwerkend met meer dan vijftien hoogwaardige kennisinstellingen in de regio Utrecht ☆ een veelzijdig contactenpatroon, ook met universiteiten en grote onderzoeksinstituten in de rest van Nederland, van Europa en de wereld ☆ 23.000 studenten ☆ 8.000 medewerkers ☆ jaaromzet van 600 miljoen gulden ☆ één van de grootste werkgevers in de provincie ☆ De Universiteit Utrecht ☆ boeiend ☆ met oog voor kwaliteit.

# UNIVERSITEIT UTRECHT

*Bij de faculteit Natuur- en Sterrenkunde is in de Werkplaats Fysica plaats voor een*

## Constructeur (HTS-fmt of wtb)

[10/10 vacature nr. 530/63049]

De Werkplaats Fysica vervaardigt eenmalige mechanische apparatuur ten behoeve van onderzoek aan deze universiteit. Voorbeelden zijn: precisie mechanismen voor telescopen, manipulatoren in ultrahog vacuüm, apparatuur voor het op schuifspanning belasten van bloedcellen, mechanisatie van dateringsonderzoek, quark-detectoren voor kernfysisch onderzoek, trillingsbronnen voor seismisch onderzoek, etc.

**U gaat werken** bij de afdeling Ontwerp- en Ontwikkeling van de Werkplaats Fysica, waar een diversiteit van nauwkeurige fijnmechanische apparaten wordt ontwikkeld en gemaakt t.b.v. wetenschappelijk onderzoek. De afdeling omvat 7 ontwerpers en een technisch rekenaar. De werkzaamheden bestaan o.a. uit het ontwerpen van manipulatoren en

detectoren in vacuümsystemen, seismische bronnen, optomechanische systemen voor telescopen, test- en beproevingsapparatuur.

**Uw taken zijn** het samen met de opdrachtgever formuleren van een eisenpakket, het ontwerpen en uittekenen van de gewenste apparatuur en het uitvoeren van de daarvoor benodigde berekeningen, het formuleren van test- en beproevingsmethoden voor het eindproduct, het onderhouden van contacten met andere afdelingen en leveranciers, het overleg met de instrumentmakerij tijdens de fabricage.

**Wij vragen** iemand met een HTS-opleiding fmt of wtb, met goede sociale en contactuele eigenschappen en goede mondelinge en schriftelijke uitdrukkingsvaardigheid, die

ervaring heeft in de fijnmechanische apparatenbouw met projectmatig werken en die daarbij een goed gebruik weet te maken van CAD en andere ondersteunende computer-software als FEM e.d.

**Wij bieden** een aanstelling voor de duur van twee jaar met uitzicht op vaste dienst. Uw salaris bedraagt maximaal f 4258,- (schaal 8 BBRA).

**Heeft u belangstelling?** Nadere inlichtingen kunt u verkrijgen bij de chef van de Ontwikkel- en Ontwerpafdeling de heer A.J. Schimmel, telefoon 030 - 5341 01. Uw schriftelijke sollicitatie kunt u richten aan de Personeelsafdeling van de faculteit Natuur- en Sterrenkunde ☆ t.a.v. de heer W.C.J.M. Verhoeven ☆ Princetonplein 5 ☆ Postbus 80.000 ☆ 3508 TA Utrecht.

### ALGEMENE INFORMATIE

- ☆ Uw sollicitatie binnen veertien dagen (tenzij anders vermeld) richten aan de in de advertentie genoemde personeelsdienst. Vergeet niet het vacaturenummer te vermelden. ☆
- ☆ De Universiteit Utrecht streeft ernaar dat vrouwen, evenals mannen, op alle functieniveaus even vanzelfsprekend vertegenwoordigd zijn. ☆ Bij voltijdse functies is invulling in deeltijd in veel gevallen bespreekbaar. ☆ Er is een regeling voor flexibel zwangerschaps- en ouderschapsverlof; er zijn ca. 85 plaatsen voor kinderopvang. ☆



# GROOT IN HET KLEINE

- semi-automatische assemblage van fijnmechanische componenten, zoals actuators, sensoren en nozzles
- integratie met optica en micro-electronica
- indien gewenst in een stofarme omgeving
- kwaliteitsprocedures geënt op ISO 9002
- eigen Zwitserse en Zuid-Duitse gespecialiseerde toeleveranciers voor apparatuur, gereedschappen en onderdelen

...en alles in één hand!

micro  montage

Postbus 3108 - 3760 DC Soest  
Telefoon 02155-26400 - Fax 27200