

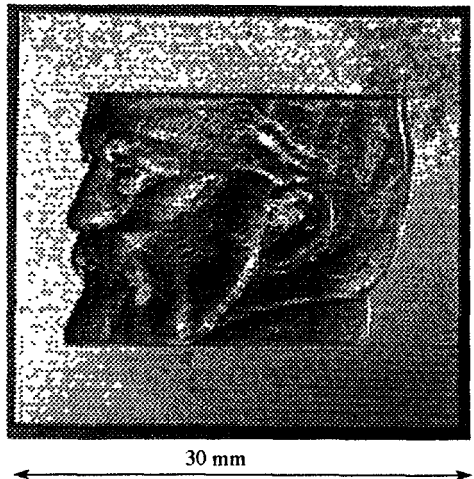
De techniek van het laser markeren in vogelvlucht

Guus Taminau, Lasertec B.V. te Barendrecht

Lasertec B.V. is een nog jong bedrijf dat zich toelegt op fijnmechanische bewerking van materialen m.b.v. laserlicht. Naast de eigen produktie (het markeren en graveren van produkten volgens klantspecificatie, waaronder bijvoorbeeld matrijzen) ontwikkelt zij voor dit soort toepassingen lasersystemen voor de industrie.

Met de komst van hoogvermogenlasers ontstond al gauw als toepassing het bewerken van materialen. De meest bekende en oudste toepassingen zijn bewerkingen zoals snijden en lassen met behulp van de CO₂-laser. Door zijn relatief grote golflengte van 10,6 μm in het infrarode deel van het spectrum eigenlijk niet meer dan een zeer geconcentreerde kaarsvlam, waarmee door een hoofdzakelijk thermisch proces het materiaal zeer plaatselijk tot smelten gebracht kan worden. De meer fijnmechanische bewerkingen, zoals het markeren en graveren van materialen werd pas interessant dankzij de komst van hoogvermogen lasers met een kortere golflengte. Heeft de CO₂-laser zijn sporen verdiend in het zware werk, de Nd:YAG-laser met als meest bekende golflengte $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$ verdient zeker deze eer als het gaat om fijnmechanische bewerkingen, zoals graven, markeren en het boren van gaatjes in het micron-gebied. De eerste ND:YAG-lasers die voor het markeren en graveren van produkten de afgelopen 5 à 10 jaar vooral gebruikt werden zijn de welbekende lampgepompte systemen. Ook binnen Lasertec nog steeds in gebruik voor het "vlakke" produktiewerk, zoals het grave-

ren van logo's en andere kenmerken tot en met het meer geavanceerde 3D-graveren in matrijzen. Een voorbeeld hiervan is te zien in afbeelding 1. Het betreft hier een diepte gravure in gehard staal (diepte ca. 1,5 mm) voor de fabricage van chocolaatjes. Het geavanceerde van dit soort toepassingen schuilt naast de kennis van de laser vooral in de software, waarmee de vertaalslag gemaakt moet worden van een 3D-tekening naar de parameters, waarmee de laser aangestuurd moet worden. Doordat een dergelijke bewerking van een matrijs meestal een eindbewerking betreft, is het materiaal over het algemeen reeds gehard en is er haast geboden wat betreft de levertijd. In vergelijking met conventio-



Figuur 1:
Voorbeeld van een 3D-gravure

nele bewerkingen zoals mechanisch gra-
veren, vonkverspanen of ets-technieken
heeft de lasertechniek een belangrijke toe-
gevoegde waarde wat betreft flexibiliteit,
snelheid van fabricage en mate van detail-
lering.

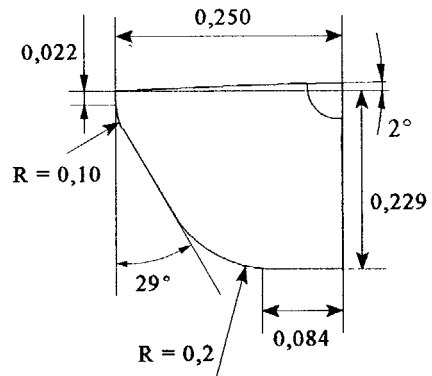
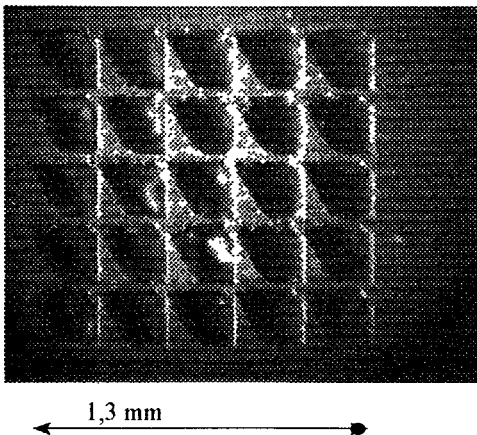
Klein, kleiner, kleinst.....

Zoals zo vaak kan een al dan niet gecreëer-
de maatschappelijke behoefte, een enorme
inslag hebben op de technologie
ontwikkeling, waarbij grote fabrikanten
meestal in een evenzo enorme concurren-
tie-slag belanden om hun deel van de
markt mee te pikken. Het meest recente
voorbeeld is de GSM-telefoon als trekker
voor de ontwikkeling van de digitale draad-
loze communicatie. Deze explosief groei-
ende markt drijft momenteel de technolo-
gie van het "kleine" voorwaarts. Steeds
meer functies worden geïntegreerd in de
GSM, waarbij tegelijkertijd de afmetingen
van de behuizing bij voorkeur nog compac-
ter moet worden en de grens van de maak-
baarheid telkens verlegd wordt door het
toepassen van nieuwe fabricagetechnie-
ken. Vooral in de halfgeleiderindustrie
wordt de steeds verdergaande integratie
gekenmerkt door een eenvoudige groot-
heid, namelijk de minimale spoorbreedte

van een elektrische geleider, welke uiter-
aard rechtstreeks gekoppeld is aan de ge-
bruikte golflengte van het licht waarmee
het masker tijdens het lithografische pro-
ces afgebeeld wordt. Met de komst van de
krachtige Excimer-laser bevindt deze
spoorbreedte zich al in het sub-micron ge-
bied. De huidige stand van de techniek zijn
spoorbreedtes van ca. 100 nm bij een golf-
lengte van $\lambda = 193$ nm. Voor wat de toe-
komst betreft komt men via het Extreem
Ultra Violet tot langzamerhand in het Rô-
gebied, waarbij de voorspelling is dat men
spoorbreedtes zal kunnen halen van 15 nm
en met nauwkeurigheden in het nm-bereik.

Gelukkig valt ook dit golflengtegebied nog
steeds binnen de doelstelling van het
NVvF, zodat ook in de toekomst het tijd-
schrift voor Fotonica verzekerd blijft van in-
teressante artikelen

De ontwikkeling van de halfgeleidertechno-
logie trekt de gehele technologie om din-
gen kleiner en nauwkeuriger te maken
achter zich aan. Het vakgebied wordt aan-
geduid met de voor de hand liggende
naam Precisietechnologie en is steeds
meer een voorwaarde om producten en
componenten te kunnen fabriceren met
een hoge toegevoegde waarde, zoals in



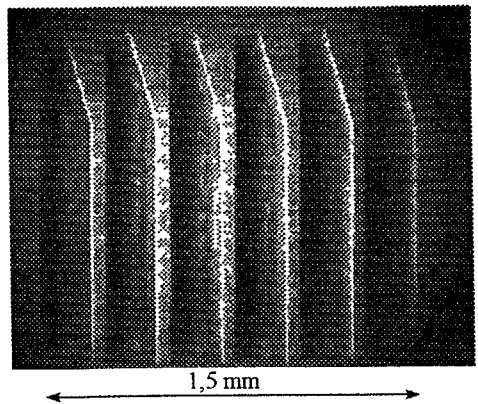
Figuur 2:
Voorbeeld van een patroon in een precisie-matrijs

ons voorbeeld de GSM-telefoon. Voor de Nederlandse industrie is deze technologie van grote economische betekenis. Om producten met nauwkeurigheden in het nabereik te kunnen voortbrengen, moet worden gebruik gemaakt van nieuwe bewerkingstechnieken, waaronder naast de traditionele verspaningstechnieken ook het laser snijden, het laser lassen en het laser graveren vallen. Op het gebied van laser graveren heeft Lasertec de afgelopen jaren een redelijke know-how opgebouwd.

Vooral vanuit de gereedschapsmakerijen (vervaardiging van precisie-matrijzen en speciaal onderdelen) ervaart zij de vraag naar steeds fijnere structuren richting het micron-gebied (10 tot 1000 μm). In onderstaande figuur 2 is een voorbeeld gegeven van een dergelijke structuur.

Het betreft hier een onderdeel van een spuitgietmatrijs voor kunststof voor de vervaardiging van miniatur connectoren, welke gebruikt worden in een GSM-telefoon. De getoonde holtes hebben een afmeting van ca. 0,25 mm en een diepte van ca. 0,4 mm. Hoewel niet aangegeven in de tekening heeft de bodem van de holte ook een bepaalde vorm. De traditionele techniek, die hiervoor veel gebruikt wordt is het zogenaamde vonkverspanen of vonkeroderen. Met deze techniek bleek het niet meer mogelijk om op deze schaal met voldoende nauwkeurigheid een dergelijk patroon te maken. Ook chemische etstechnieken bieden geen oplossing, omdat hiermee de vorm van de bodem niet in de hand te houden is en bovendien door de breedte/diepte-verhouding er al gauw sprake is van onderetsing. In afbeelding 3 is nog een voorbeeld gegeven van een dergelijk patroon. Ook dit patroon is een onderdeel van dezelfde matrijs. Aan de bovenzijde van de sleufjes (taps toelopend) is te zien dat de bodem met een talud oploopt naar het oppervlak. De sleufjes zelf hebben een breedte van 0,2 mm.

De beide patroontjes zijn gemaakt met behulp van een "tripled" ND:YAG-laser met een golflengte van $\lambda = 355 \text{ nm}$ (UV) en een



Figuur 3:
Sleufjes met diepteprofiel in een matrijs

gemiddeld uitgangsvermogen van ca. 2 Watt.

Ook hier geldt dat een dergelijk fijne structuur slechts gehaald kan worden dankzij het gebruik van licht met een kortere golflengte. Met het al wat oudere broertje, de Nd:YAG-laser met een golflengte van $\lambda = 1064 \text{ nm}$ is een dergelijke structuur al niet meer te maken.

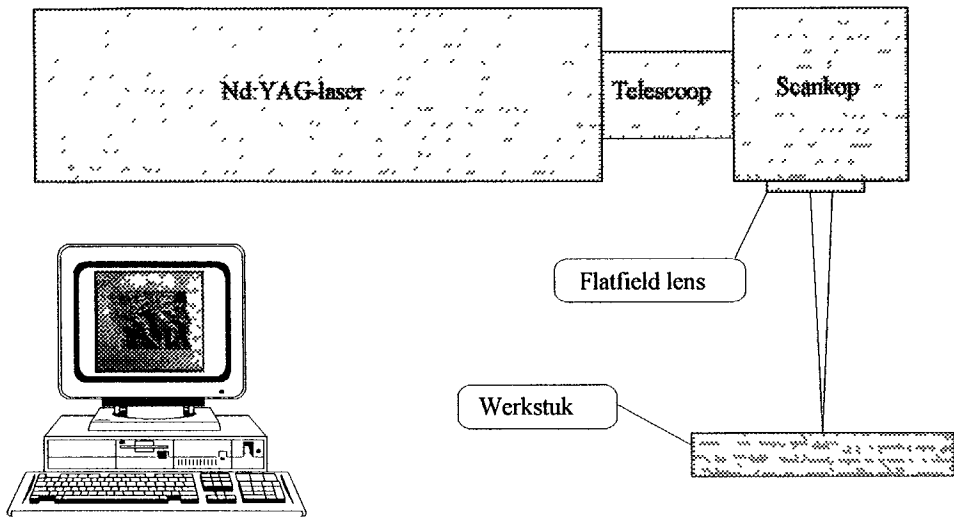
De technologie voor het laser graveren

In afbeelding 4 zijn de belangrijkste onderdelen van een lasermarker aangegeven. Achtereenvolgens zullen deze verschillende onderdelen nader besproken worden.

Het lasersysteem:

Zoals al eerder aangegeven was de lampgepompte Nd:YAG-laser het eerste systeem dat voor laser markeren als eerste toegepast werd. Nu is zeker voor veel industriële toepassingen de trend naar diodelaser gepompte systemen. Het lampgepompte systeem kent namelijk nog al wat nadelen:

- Het elektrisch/optische rendement van een lampgepompt systeem is nogal laag. Een elektrisch vermogen van 10 kW is meestal nodig om gemiddeld een optisch vermogen van 10 W te halen. De meeste energie verdwijnt via het koelwater in een afvoertuigje.



Figuur 4:
De belangrijkste onderdelen van een lasermarker

- Aansluiting op een 3-fase net en op de waterleiding is noodzakelijk. In een industriële omgeving zijn dit met het oog op inbouwen in een produktiestraat extra complicaties.
- De afmetingen van een lampgepompt systeem zijn relatief groot, zodat ook dit de beperking is bij integratie in een industriële productie-lijn.
- De flitslamp in lampgepompte systemen gaat slechts 600 uur mee.

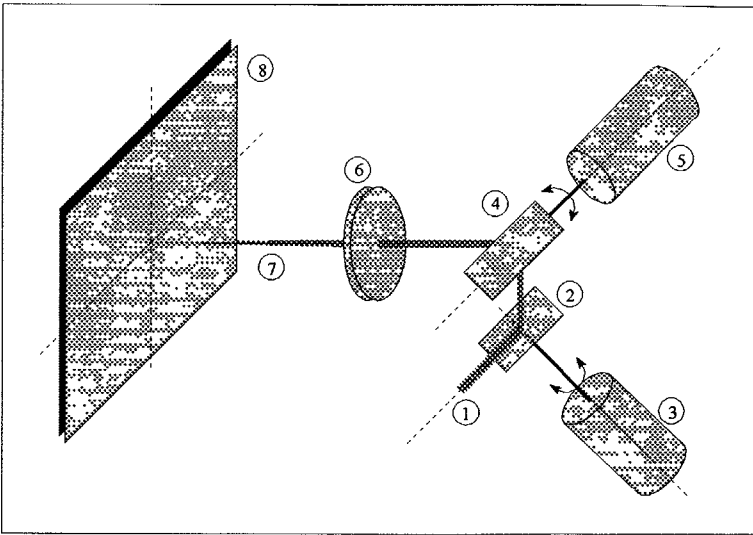
Op dit moment is het nog wel zo dat voor deze toepassing het gemiddelde vermogen voor lampgepompte systemen hoger ligt dan voor diode gepompte systemen en daardoor het werkpaard onder de Nd:YAG-lasers als het gaat om snijden, lassen, boren- en graveren tot resoluties van zo'n 50 μm . Is echter het vermogen niet de doorslaggevende factor en kan men volstaan met een gemiddeld vermogen tot ca. 5 W dan biedt de diode gepompte Nd:YAG-laser met dezelfde golflengte belangrijke voordelen:

- Het elektrisch/optische rendement is minstens een factor 10 beter. Een gewoon stopcontact is reeds voldoende.

- Er is geen waterkoeling meer nodig.
- De afmetingen van de laser zijn veel kleiner mede doordat de laserdiode in de voeding is ondergebracht en het pomplicht via een glasvezelkabel naar de laserkop getransporteerd wordt.
- De laserdiode gaat gemiddeld zo'n 8000 uur mee.

De scankop met de zogenaamde "flatfield" of F- θ lens:

Minstens zo geavanceerd als de ontwikkeling op lasergebied, is de ontwikkeling van de scansystemen, waarmee de laserbundel over een werkvlak bewogen kan worden. Het principe is eigenlijk heel eenvoudig. In afbeelding 5 is het principe getekend. Met de twee spiegels (2 en 4) kan de laserbundel (1) over het te bewerken oppervlak in x,y-richting bewogen worden. De spiegels worden aangedreven met zogenaamde galvano-scanners (3 en 5). Een galvanoscanner is wat constructie betreft te vergelijken met een draaispoelmeter. Om echter een hoge nauwkeurigheid te bereiken wordt er terugkoppeling toegepast door de verdraaiingshoek van de spiegel te meten. De nauwkeurigheid van de scanner



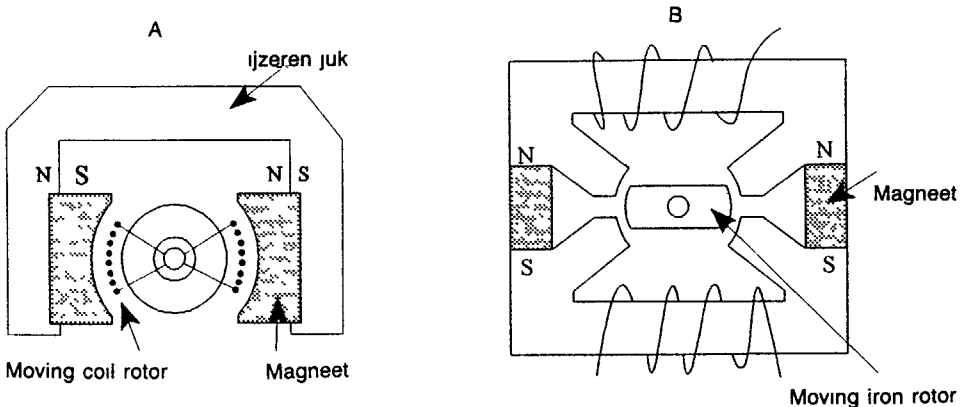
Figuur 5:
Principe-schets van de x,y-scankop

wordt in dit geval geheel bepaald door de nauwkeurigheid waarmee deze verdraaiingshoek gemeten kan worden. Naast de nauwkeurigheid van deze verdraaiingshoek is uiteraard ook de snelheid en met name de volgsnelheid op een veranderend ingangssignaal van belang. En zoals zo vaak bij het ontwerpen van dergelijke instrumenten blijkt er een inverse relatie tus-

sen enerzijds nauwkeurigheid in positie en anderzijds in snelheid. Naar principe van aandrijving zijn er twee uitvoeringen te onderscheiden, namelijk:

- De "moving coil" galvanoscanner volgens afbeelding 6a;
- De "moving iron" galvanoscanner volgens afbeelding 6b;

De scanner met de "moving iron" rotor is



Figuur 6:
Twee principes van de galvanoscanner

de oudste van de twee. Wanneer de beide spoelen niet bekrachtigd worden, wordt de rotor door het permanente magneetveld in de aangegeven positie gehouden. Door nu de spoelen te bekrachtigen, wordt er een magnetische onbalans gecreëerd, waardoor de rotor zal gaan draaien totdat de as van de rotor weer uitgelijnd is met de richting van het resulterende magneetveld. De draairichting wordt uiteraard bepaald door de richting van de stroom in de spoelen. Belangrijk voordeel van dit type scanner is de solide constructie en de relatief hoge verhouding tussen het geleverde koppel en het massastraagheidsmoment van de rotor. Groot nadeel van dit type scanner is de hoge inductie van de spoelen. Immers de spoelen zijn bevestigd rond een gesloten ijzeren kern met een hoge μ_r . Deze hoge inductie legt de grens voor wat betreft de snelheid waarmee de stroom in de spoel kan veranderen en dus ook de snelheid waarmee het koppel kan veranderen. Tezamen met de elektrische weerstand R_s van beide spoelen vormt dit de elektrische tijdconstante τ_e welke gelijk is aan

$$\tau_e = \frac{L_s}{R_s}$$

Voor een goede geoptimaliseerde scanner heeft deze tijdconstante een waarde van 1 ms $< \tau_e < 3$ ms en is hiermee uiteindelijk bepalend voor de maximale scansnelheid. In de nieuwere scanners waar naast een nauwkeurige positie ook een hoge scansnelheid vereist is maakt men hoe langer

hoe meer gebruik van het principe volgens de "moving coil". Met nieuwe ijzerloze magnetische materialen kan men het nadeel van de relatief lagere magnetische veldsterkte in de luchtspleet ondervangen. En ook al blijft het geleverde koppel aan de lagere kant, de verhouding tussen het geleverde koppel en het massastraagheidsmoment van de rotor is hoog doordat het massastraagheidsmoment van de rotor relatief laag is. Men tracht dit massastraagheidsmoment nog verder omlaag te brengen door bijvoorbeeld voor de spoel aluminium wikkeldraad te gebruiken in plaats van het klassieke koperdraad (factor 3 in soortelijke massa). Weliswaar is de weerstand van het A1-draad hoger, echter dit weegt niet op tegen de veel lagere inductie L_s van de luchtspoel. De elektrische tijdconstante wordt hierdoor met een factor 10 tot 30 maal gereduceerd tot $\tau_e \sim 0,1$ ms met als voordeel een veel hogere scansnelheid.

Naast de aandrijving bepaalt met name de manier waarop de hoekverdraaiing gemeten wordt de nauwkeurigheid en de resolutie van de scanner. Er worden verschillende methodes toegepast, waarbij de afweging gemaakt dient te worden tussen enerzijds de nauwkeurigheid en anderzijds de prijs, zoals blijkt uit onderstaande tabel. Het zou voor dit artikel te ver voeren om dieper in te gaan op de verschillende principes. Wel is het zo dat de uiteindelijke nauwkeurigheid van de scanner bepalend is voor de nauwkeurigheid waarmee de

Type	Onnauwkeurigheid	Massastraagheid	Prijs
Capacitief	50 μ rad	laag	laag
Potentiometer	1000 μ rad	laag	laag
Diff. Transformer	100 μ rad	gemiddeld	gemiddeld
Optical Encoder	20 μ rad	hoog	hoog
Interferometrisch	10 μ rad	laag	hoog

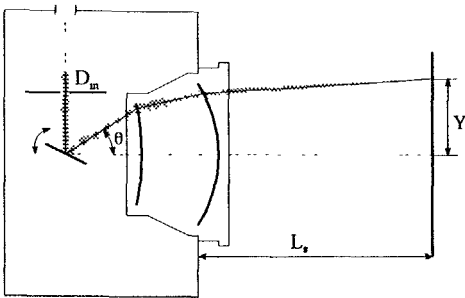
Tabel 1: Overzicht van de verschillende typen hoekverdraaiingstransducenten

Laser type	Nd:YAG		
	1064 nm	1064 nm	1064 nm
Golflengte	1064 nm	1064 nm	1064 nm
Objectieflens F (mm)	f = 100	f = 163	f = 254
Veldgrootte (mm ²)	73 x 73	120 x 120	185 x 185
Spotgrootte TEM ₀₀ (μm)	~ 16	~ 22	~ 33
Werkafstand (mm)	117	210	348
Onnauwkeurigheid (μm)	< 4	< 6	< 9,5
Markeersnelheid (m/s)	> 1,5	> 2,5	> 3,8
Aperture (mm)	15	15	15
Scanhoek 2θ	40°	40°	40°

Tabel 2: Gegevens van een aantal gangbare scanlenzen in combinatie met een scankop

lichtbundel over het te bewerken oppervlak bewegen kan worden. Op dit moment is het type met capacitieve positieterugkoppeling de meest gangbare gezien de gunstige prijs/prestatie-verhouding.

Na dit hoogstandje van servo-besturing is het de beurt aan de optica. De laserbundel wordt met behulp van een zogenaamde flat field lens of F-Theta lens gefocuseerd op het werkvlak (zie afbeelding 7). Belangrijk-



Figuur 7: De F-Theta lens

ste eis bij deze toepassing is dat de brandpuntsafstand F onafhankelijk is van de hoek waarmee de intredende bundel de

lens raakt en dat bij een zo groot mogelijk werkveld in afbeelding 7 is een vereenvoudigde constructie van de lens weergegeven. Ook is er slechts één scanspiegel getekend.

Voor een F- θ lens gelden twee belangrijke kenmerken:

- Het brandpunt van de objectieflens moet altijd in het werkvlak liggen.
- De verplaatsing y over het werkvlak moet evenredig zijn met de hoekverdraaiing θ .

Uit deze twee eigenschappen is de naam van dit type lens afgeleid

Een speciale variant op deze lens is de zogenaamde telecentrische lens. Bij dit type lens geldt naast de bovengenoemde eigenschappen, dat de centraal uitredende lichtbundel ook nog eens bij iedere waarde van θ loodrecht op het werkvlak invalt. Bij bijvoorbeeld het boren van een gaatjespatroon is deze eigenschap van belang. Immers de verder naar buiten gelegen gaatjes zouden een hoek kunnen gaan maken.

De maximale scanhoek van de spiegel bedraagt 2θ . In onderstaande tabel zijn voor een aantal gangbare lenzen de eigenschappen weergegeven.

In bovenstaande tabel staat de reproduceerbaarheid van positie gegeven in μm . Tussen deze grootte en de grootte zoals in tabel 1 staat gegeven geldt bij benadering:

$$dy = f d\theta$$

Met dy is de onnauwkeurigheid van de positie in het werkvlak, $d\theta$ de onnauwkeurigheid van de scanner en f de brandpuntsafstand van de F- θ lens. Voor een lens met $f = 100$ mm levert een waarde van 40μ rad inderdaad een onnauwkeurigheid in positie op van $dy = 4 \mu\text{m}$. Naarmate de brandpuntsafstand toeneemt neemt de onnauwkeurigheid in positie toe. Daarentegen neemt bij toenemende brandpuntsafstand het beschikbare werkveld toe en ook de spotdiameter. Het hangt sterk van de bewerking af welke lens gekozen moet worden

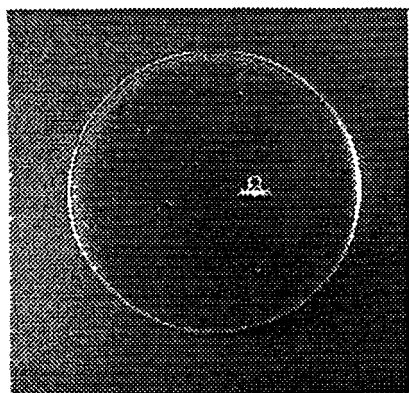
De telescoop:

Bij de gegeven spotdiameter wordt ervan uitgegaan dat de intree-pupil of apertuur van 15 mm optimaal benut wordt. Voor een gauss-vormige lichtbundel geldt immers dat hoe groter de diameter van de intreden-

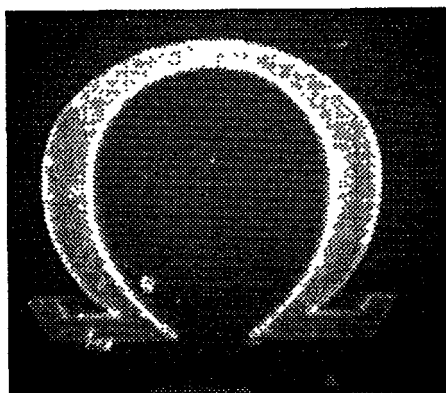
de bundel op de lens des te kleiner de focusspot zal zijn. De Nd:YAG-laser levert een bundel met een diameter van ca. 0,5 tot 1 mm. Dit is de reden waarom er tussen de laser en de scankop meestal een telescoop aanwezig is om de diameter van de bundel aan te passen aan de intree-pupil van de scankop. Bovendien geeft een instelbare telescoop het voordeel dat de focusspot op het werkvlak nauwkeurig ingesteld kan worden

Samenvatting en conclusie

Door de steeds verder gaande miniaturisering groeit de vraag naar nieuwe fabricagemethoden. Vooral in het gebied tussen $10 \mu\text{m}$ en $1000 \mu\text{m}$ geeft het laser graveren als bewerkingsmethode nieuwe mogelijkheden daar waar bestaande bewerkingsmethoden zoals vonkverspanen het laten afweten. Met de komst van de "tripled" Nd:YAG-laser met een golflengte van $\lambda = 355$ nm en voldoende uitgangsvermogen kunnen met de reeds bestaande flatfield-lenzen zelfs details gemaakt worden beneden de $10 \mu\text{m}$. Bij deze golflengte is een spotgrootte van enkele microns al mogelijk. De ontwikkeling van de scankoppen houdt hiermee gelijke tred.



Horlogeglas



Uitvergroot

Figuur 8:

Gekken en dwazen schrijven hun namen op deuren en glazen!

De compacte opbouw en de hoge bedrijfszekerheid maakt de Nd:YAG-laser zowel de 1064 versie en recentelijk ook de "tripled" 355 versie zeer geschikt voor industriële toepassingen, zowel als "stand alone" of als geïntegreerd systeem in een produktielijn.

In dit artikel is eigenlijk slechts een toepassing van laser graveren aan de orde gekomen. De diversiteit van te bewerken materialen en hun toepassing is zo groot dat het bijna ondoenlijk is om hiervan een overzicht te geven. Vandaar tot slot een voorbeeld van een heel andere toepassing, die hopelijk zonder verder commentaar tot de verbeelding spreekt.