

# Laserconfiguratie en

*Veelzijdige laserbronnen van verschillende soort en sterkte spelen in toenemende mate een belangrijke rol in de hedendaagse industrie. Lasers zijn immers essentiële, hoogst flexibele gereedschappen die gemakkelijk te integreren zijn in productieopstellingen. Zeer uiteenlopende, schijnbaar onmaakbare zaken zijn contactloos te realiseren middels dergelijke geconcentreerde lichtbundels met hoge vermogensdichtheid. Er komt dan ook geen eind aan de stroom innovaties in de vorm van bruikbare laservarianten en economisch-technisch aantrekkelijke toepassingen, gericht op zowel metalen, kunststoffen, hybride materialen en laminaten, als technische keramieken.*

• Ing. Jan L.C. Wijers

**D**uidelijk is dat in de 21<sup>e</sup> eeuw licht op vele gebieden de gangmaker wordt voor een keur van innovaties. Deskundigen schatten realistisch in dat 30% van de elektronische technologieën nu door optische vervangen zal worden. Los van de wankelende telecommunicatiesector volgen hier enkele aansprekende voorbeelden van wat fotonen gaan brengen. Om de volgende stap te realiseren in de microminaturisering van de komende generatie nog krachtigere en snellere chips zoekt men de grenzen van optische belichting op, met extreem ultraviolet straling tussen 11-14 nanometer (Fraunhofer Instituut Laser Techniek). Opereren met licht gaat sterk toenemen. In de auto zullen meer functies per glasvezel verlopen en wordt 'intelligent licht' geïntroduceerd, dat zich aan telkens veranderende omgevingsituaties zal aanpassen. Dit gaat bijvoorbeeld via adaptieve en draaibare koplampen, mede dankzij programmering van geavanceerde elektronica. Lasers passen naadloos tussen al die vernieuwingen gebaseerd op licht.

## Laser dringt door in het leven van alledag

Al lange tijd is de mens flink op gang met vernieuwingen die gebaseerd zijn op licht. Einstein werkte anno 1917 al aan 'gestimuleerde emissie' plus theorie, Gould introduceerde het begrip 'laser' anno 1957, terwijl Maiman op 16 mei 1960 de eerste laser daadwerkelijk op gang kreeg en de eerste CO<sub>2</sub>- en Nd:Yag-lasers in 1964 uitkwamen, gevolgd door de excimeerlaser in 1980. De meesten van ons beseffen dat nog niet zo duidelijk, maar denk ondermeer eens aan de laserpointer in plaats van de aanwijzestok, de glasvezel met fiberlasers voor snelle en storingsvrije lokale en intercontinentale telecommunicatie (zelfs op de oceanbodem), de barcodelezer bij winkelaankopen, gelascerde perforatiepatronen in het nieuwe paspoort, de laserprinter en cd-recorder thuis, met als laatste de 'rewritable DVD' (Digital Versatile Disc) voor dataopslag. En vergeten we niet de diverse bewakingsfuncties, zoals de beveiliging in de werkplaats rondom kantbanken en persen.

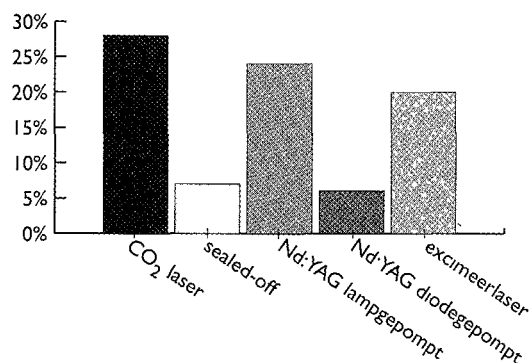
# technologie gaan om

Contactloos verloopende laserbewerkingen als snijden en lassen vormen in onze maatschappij een drijvende kracht gekoppeld aan hoogstaande technische innovaties, zoals de lineaire motoren en dito geleidingen, naast hun rechtstreekse bijdrage aan de versterkte toepassing van aluminium in de auto-industrie. Als gevolg van deze 'Enabling Technology' (zie figuur 1) zijn al duidelijk verschuivingen in applicatiegebied te bespeuren. Lasers vervangen traditionele technieken in de metaalsector en/of vullen deze aan (zie figuur 2). Het afgelopen decennium groeide het gebruik van lasers in de metaalindustrie substantieel, vooral het aandeel van CO<sub>2</sub>-lasers (tabel 1).

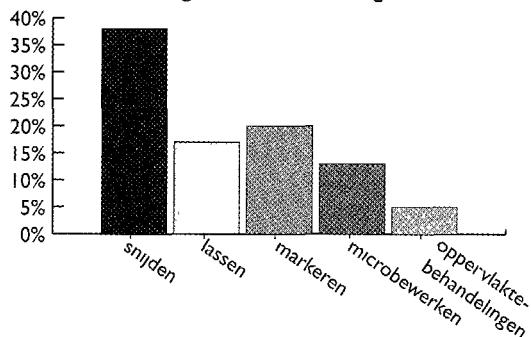
## Tabel 1 (cijfers Frost & Sullivan)

25% van alle materiaalbewerkingen verloopt via gebruikmaking van lasers

De ingeschatte verdeling over de verschillende lasertypes ligt als volgt:

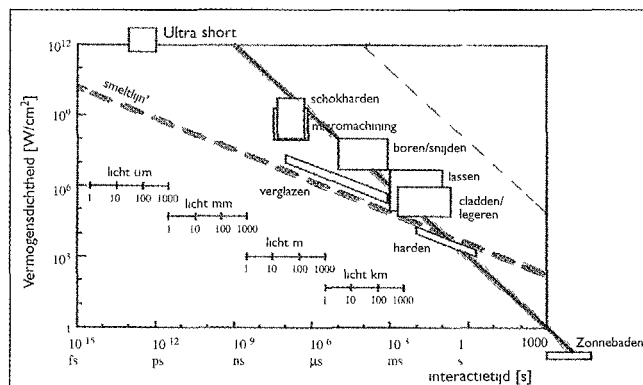


60% van de genoemde lasers vindt toepassing in materiaalbewerking, naar de verhouding:

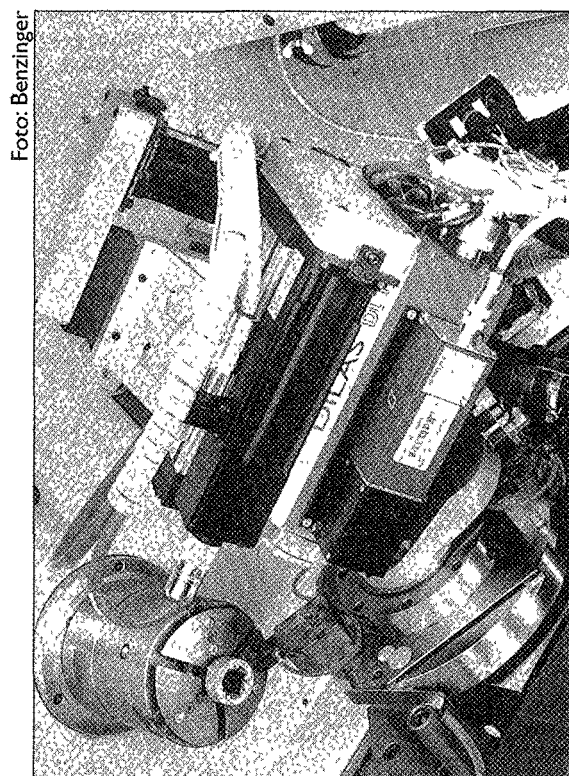


## Essentiële achtergronden

Momenteel is sprake van een stille strijd tussen vastestoflaser en gaslaser, en wel zodanig dat in het algemeen de concurrentiepositie van genoemde kooldioxydelaser



Figuur 1. Overzicht van lasertoepassingen naar vermogensdichtheid en (interactie)tijd. Buiten de gangbare lasertoepassingen die tot voorkort eindigden bij 10<sup>-8</sup> s, liggen de potentiële mogelijkheden van de Femtosecondenlaser. De doorgetrokken lijn in het midden is de lijn van 1 kJ/cm<sup>2</sup> constante energiedichtheid.



Figuur 2. Door de uitermate compacte vorm van hoogvermogen diodelasers, past zo'n HVLD boven de revolver van een precisiedraaibank. Door opwarmen van het werkstuk is keramiek op 0,3 μm Ra te draaien.

in gevaar komt. Bij metalen geeft de golflengte van de YAG-laser een betere absorptie van het geconcentreerde licht aan het oppervlak, zodat met lager vermogen hetzelfde resultaat wordt bereikt. In de praktijk verschilt bovendien de bruikbare wijze van straalgeleiding sterk per lasersoort, opnieuw ten gunste van de vastestof-laser dankzij de flexibele glasvezelsystemen (CO<sub>2</sub> via dure en relatief zware, al of niet gekoelde GaAs- of Ge-spiegels). Daarnaast komen er alternatieve configuraties en bewerkingsmachines uit, berustend op zowel industrieel bewezen CO<sub>2</sub>-lasers (hetzij als *fast/slow axial flow*, *sealed off*,

*TEA* of *cross flow* en *wave guide* uitvoering) als op Nd:YAG-versies. Tot voor kort vormden buisvormige versies van de CO<sub>2</sub>- en de Nd:YAG-laser de standaarduitvoering, wat gaat veranderen. Enkele vooraanstaande lasergebruikers in de auto-industrie hebben intussen ook al eerste modellen hoogvermogen halfgeleiderlasers opgesteld in de productielijnen. Binnen alle toepassingen vormt CAD/CAM de sleutel tot hoge laserproductiviteit. Een gegeven blijft dat, om er maximaal profijt uit te trekken, men moet construeren op de bijzondere eigenschappen van lasers (separate afdichting vervalt bijvoorbeeld door de lasnaad van een braamloos lasergesneden halfproduct hermetisch gesloten door te trekken, bijvoorbeeld in pacemakers). Verbetering via systeemintegratie brengt nog grotere winst in eigentijdse laserinstallaties. Zo zorgt lasersnijden en -lassen van buisvormige producten voor een opmerkelijke stroomlijning van het huidige productieproces. Dankzij de enorme hoeveelheid kennis die intussen systematisch is opgebouwd gaan lasersystemen zichzelf in de toekomst monitoren en adaptief kritische procesgrootheden bijregelen, zoals vermogen, focuspositie en bewegingssnelheid, via gesloten regelkringen. Ook lost geïntegreerde on-line vermogensmeting een sluipend verloopende degradatie over de tijd op. In principe zijn de hier beschreven evoluties meestal het resultaat van gericht onderzoek om bepaalde minpunten weg te nemen (zie tabel 2).

Als voorbeeld: bij zogenaamde vlakbed snijmachines met een werkbereik van gemiddeld 4x6m gaf de tijdens bedrijf variabele bundellengte aanleiding tot ongelijke condities, resulterend in wisselende productkwaliteit. Door integratie van een speciale installatie die automatisch de optische weg constant houdt komt dat verschijnsel niet meer voor op moderne lasermachines (figuur 3). Het dure imago van lasers gaat men beantwoorden met acties die de bedrijfskosten omlaag brengen, de installatie bedrijfszekerder en onderhoudsruimer maken en die een verbeterde straalkwaliteit opleveren, zelfs bij hoger vermogen. Stijgende kwaliteit betekent een op een: betere focusseerbaarheid, groter mogelijke werkafstand en betere efficiëntie, wat rechtstreeks hogere processnelheid of diepere penetratie oplevert of lager benodigd vermogen. Tot zo'n 500W gemiddeld vermogen ligt de beste straalkwaliteit momenteel aan de kant van de HVDL-gepompte vastestoflaser; daarboven excelleren CO<sub>2</sub>-lasers. Vroegere CO<sub>2</sub>-lasers werden overwegend continu gebruikt met een DC-voeding en clektroden in het laser-gas. Overgang op hoogfrequente excitatie levert, naast gestegen vermogensdichtheid, verbeterde pulsatie en modulatie en minder behoefte aan onderhoud op (figuur 4). Doordat de elektroden buitenom de laserbuis zitten

Tabel 2 Plus- en minpunten van de inzet van lasers

Plus:	Min:
-Contactloze actie	-Hoge initiële investering
-Meestal geen (slijtend) gereedschap nodig	-Hoog energiegebruik
-Supersnelle interactie	-Laag tot zeer laag rendement
-Hoge energiedichtheid	-Over het algemeen dikte-gelimiteerd
-Hoge bewerkingsnelheid	-Hoogwaardig vormgeven: nauwe toleranties
-Effectief onafhankelijk van materiaalhardheid	-Exacte geometrie en spleet bij lassen vraagt aandacht
-Zeer goed stuur-, regel-, doseer- en focusseerbaar (minimale vervorming)	-Dampvorming als gevolg van bewerking
-Laserstraal op te splitsen meestal nogal complex van aard	-Lasergesteunde processen
-Uitermate reproduceerbaar	-Prijs en levensduur van de pomplampen (bij conventionele YAG-laser)
-Minieme warmte-beïnvloede zone	-Optisch (ander) karakter van de laser(technologie): speciale opleiding
-Grote vrijheid in positie spot en geometrie	-Beperkte beschikbaarheid bruikbare lasertechnologie
-Hoge flexibiliteit (uiteenlopende processen, materialen, diversiteit aan toepassingen)	-Routineonderhoud
-Lassen zonder toevoegmateriaal	
-Minimale nabewerking vereist (hoge zuiverheid + bijvoorbeeld braamloos snijden)	-Veiligheidsaspecten (straling, hoogspanning, damp)
-Hoge nauwkeurigheid te behalen	
-Processen uitstekend te automatiseren	

en inkoppeling capaciteef gebeurt, worden lasergas en resonator niet meer verontreinigd en ontstaat een meer uniforme ontlading. Voortaan levert daarom marktleider Trumpf de serie HQ TLF-turbo CO<sub>2</sub>-lasers met HF-pompbron met een ongekend hoge k-factor van 0,9 (dicht tegen de fysisch haalbare grenswaarde) en met onderhoudsvrije magneet-gelagerde turbo-radiaalpompen. Eveneens komen de excimeerlaser, koperdamlaser (golflengte 578nm) en ultrakort pulserende femtosecondenlasers opzetten. Deze types zullen zich vooral manifesteren in het microbewerken, wel de snelst groeiende toekomstmarkt genoemd. Daarnaast is al lange tijd de vrije-elektronenlaser en (voor militaire doeleinden) de chemische laser (golflengte 1-3µm, MW-vermogen bereik) onderwerp van wetenschappelijk onderzoek. Beide zijn nauwelijks van belang voor metaalbewerking, hoewel er ongetwijfeld een zekere spin-off zal volgen.

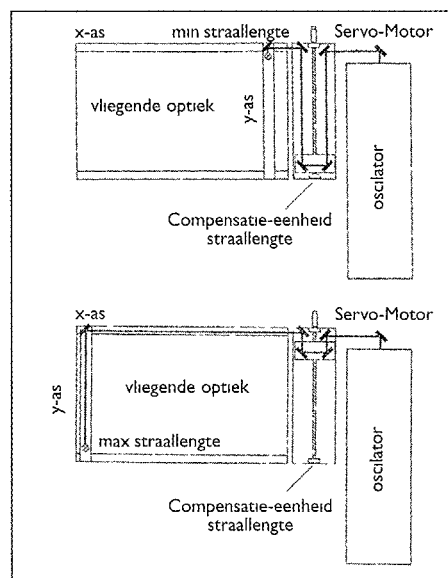
### Laser: principe en eigenschappen

Het principe van de laser is een lichtversterker die ingaande elektrische energie omzet in straling, volgens de begrippen die staan voor het acronym LASER:

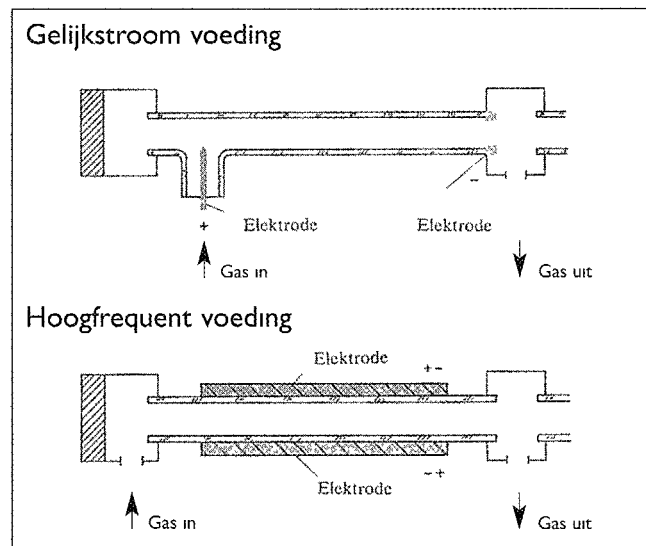
Light		licht
Amplification by		licht versterkt door
Stimulated	ofwel:	gestimuleerde
Emission of		emissie van
Radiation		straling

In de praktijk beschouwt men een laser veelal als een blackbox. In de configuratie (figuur 1/1) is echter minimaal een drietal basiselementen te onderscheiden, namelijk het actieve medium dat de laserende actie mogelijk maakt (via spontane en gestimuleerde emissie), een pompbron voor de daarbij benodigde energietoever in optische, elektrische of chemische vorm en een resonator (of caviteit of trillholte, tussen een 100% reflecterende eind- en een gedeeltelijk doorlatende uitkoppelspiegel met identieke optische as) waarbinnen de heen en weer gaande laserbundel wordt opgewekt en versterkt.

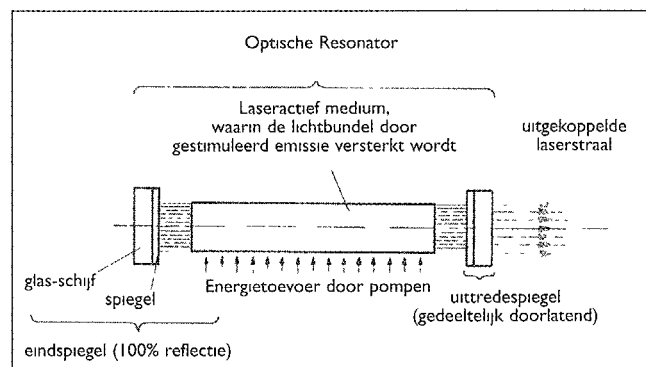
Het doorgelaten gedeelte van de straling vormt het uitgangsvermogen van de betreffende laser. Opmerking: veelal is door het in het algemeen lage laserrendement een fors gedimensioneerde koeling voor de afvoer van de restenergie noodzakelijk. Ten opzichte van de lichtemissie van andere thermische lichtbronnen als de zon en gloeilampen onderscheidt deze jonge, universeel bruikbare lichtbron zich door een aantal typerende eigenschappen. Het gegenereerde laserlicht wordt slechts in



Figuur 3. De nu bij veel lasersnijmachines voor plaatwerk voorkomende oplossing om de straallengte voor- en achteraan op grote plaatlengtes constant te houden (en daarmee de slijcondities en kwaliteit).



Figuur 4. Twee voorkomende principes van ontladingsystemen bij CO<sub>2</sub> lasers. Boven een hoogspanning DC-uitvoering; beide elektroden in rondstromend lasergas. Onder de fraaiere hf-constructie met gedeelde metalen mantelelektrode buiten om de glazen laserbuis.



Figuur 1/1. De drie basiselementen van elke laser: het laserende materiaal, de pompbron en de trillholte.

Tabel 3 Overzicht gangbare lasertypen

	CO <sub>2</sub> (kooldioxyde)	Nd:YAG	Excimeer		
Aggregatietoestand	gas	vaste stof	XeF	KrF	ArF
Actief lasermedium	CO <sub>2</sub>	Nd <sup>+++</sup>	gas	gas	gas
Golflengte (nm)	10.600 (Infra-Rood)	1.064 (IR)	XeF	KrF	ArF
Bundelkwaliteit	0,9 (3kW HQ Trumpf)	0,02 (100-400W)	350(UV)	248(UV)	193(UV)
Pompbron	Elektrisch: HF/DC	Optisch (lamp/diode)	Elektrisch		
Maximumvermogen	25 kW	4,5-5 kW (CW)	1 kW		
Piekvermogen	40kW-20MW	± 20 kW (Q-sw 500kW)	50 MW		
Rendement	≥10%	ca. 3%	≤ 2%	< 2%	2%
Mode	CW/Puls	CW/Puls (evt. Q-sw)	Puls	Puls	Puls
Pulsfrequentie	100 Hz - 100 kHz	1 kHz	<1000 Hz		
Bundeldiam. (mm)	0,2-0,4	0,04 - 0,6			
Straalgeleiding	optieken (flying optics/ robot; niet met glas- vezel aangezien CO <sub>2</sub> inkoppelt op glas)	optische vezels	fiberbundel		
opmerking	hoog vermogen hoog rendement	precisie-lassen/ -snijden/-boren	UV-lasers met hoge energie en grote spot		

één richting uitgestraald, waarbij de stralen in hoge mate parallel blijven, ofwel de stralenbundel divergeert minimaal. Daarmee gaat in de praktijk een uitstekende focusseerbaarheid gepaard. Standaard wordt slechts straling met een eigen specifieke golflengte uitgestraald, wat wil zeggen dat de laserbundel monochromatisch is. Naast de golflengte zijn ook richting en fase gelijk, met andere woorden: de spectraal gezien elektromagnetische golven zijn coherent. Dit alles resulteert erin dat een krachtige straal ontstaat met een hoge vermogensdichtheid op een klein vlak, zeker als die geconcentreerd wordt in het brandpunt. Voor laserbewerken is het vermogen dat nodig is, de focusseerbaarheid en de straalkwaliteit van de uit-tredende bundel van het grootste belang. Bij de wisselwerking van de intensieve lichtbundel met het materiaaloppervlak brengen thermische processen een materiaalverwijdering (door smelten, verbranden of sublimeren) of een structuurverandering tot stand. Van invloed op de kwaliteit zijn verder de golflengte, de mode waarin wordt gelaserd en CW (continu) of gepulst bedrijf. Er bestaan nogal wat verschillende configuraties van lasers, waarvan momenteel de meest gebruikte zijn: de CO<sub>2</sub> ('gaslaser' genoemd, immers met een gasvormig actief medium), Nd:YAG (medium vaste stof) en excimeerlaser (gaslaser) waarvan tabel 3 de belangrijkste specificaties geeft.

Spreeken over 'de laser' toont dan ook weinig begrip over dit zeer verscheiden gebied. Figuur I/2 geeft de verdeling van de verschillende lasertypes over het golflengtespectrum. Verschillen in de absorptie karakteristiek van CO<sub>2</sub>, YAG en excimeerlaser worden zichtbaar in figuur I/3. Hieruit blijkt duidelijk dat, afhankelijk van onder andere de golflengte, oppervlaktestructuur, ruwheid, oxydehuid wel of niet, coating, invalshoek en temperatuur, per laser een onderling afwijkend percentage van de uit-tredende stralingsenergie wordt geabsorbeerd door het materiaaloppervlak. Nd:YAG-straling koppelt daarbij bijvoorbeeld aanzienlijk beter in op de meeste metalen dan licht van de CO<sub>2</sub>-concurrent.

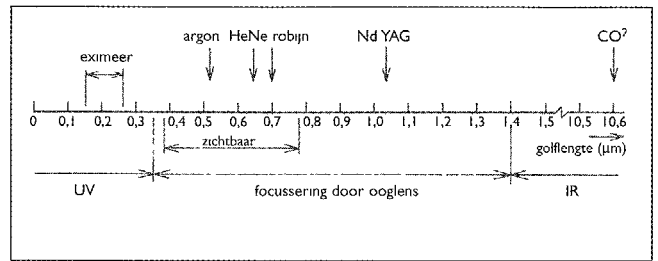
### Remote laserwelding

Recent zijn enige veelbelovende nieuwe ontwikkelingen naar buiten gekomen die het laserlassen sterk kunnen promoten. Beide ontwikkelingen komen rechtstreeks tegemoet aan een tweetal klassieke minpunten van het laseren. Zo moest tot voor kort vlak boven de werkzone nog scherpgesteld worden met een focusseerkop om het focus al naar gelang de gebruikte technologie-instellingen op, in of onder het werkstukoppervlak te leggen. Extra maatregelen moeten dan getroffen worden ter

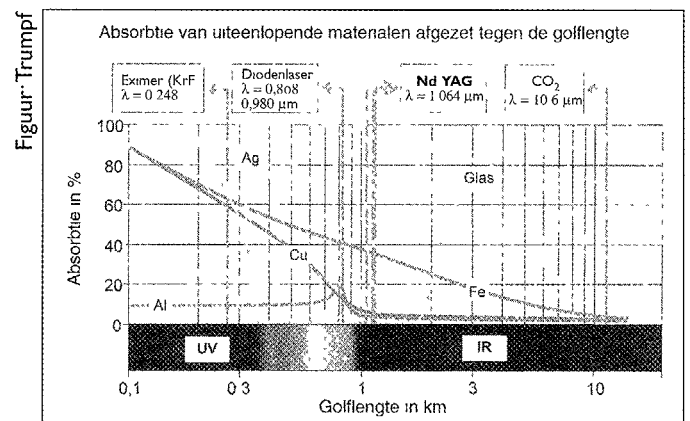
bescherming van de dure optiek om een bedrijfszeker verloop te garanderen in de tijd (tegen te hoge lichtintensiteit (ook vanuit het plasma), hoge temperatuur, rondvliegende metaalspetters en metaaldamp). Ondermeer past men daarvoor gasbescherming om de lens toe, alsmede een snel wisselbaar schermglaasje bij uittrede van de straal. Binnenkort lost *Remote Laserwelding* dit probleem, voor 2D-, 2½D- en 3D-toepassingen, direct op door letterlijk met de laserbron afstand te nemen van het werkstuk. Door middel van een nieuw, zeer dynamisch scannend systeem, met een zeer lange brandpuntsafstand en hoog liggende, bewegende spiegels op razendsnel reagerende galvanometerspiegels ontstaan geheel nieuwe

**Tabel 4: Industriële, wetenschappelijke en medische laserapplicaties in metaal, kunststof en overige technische materialen**

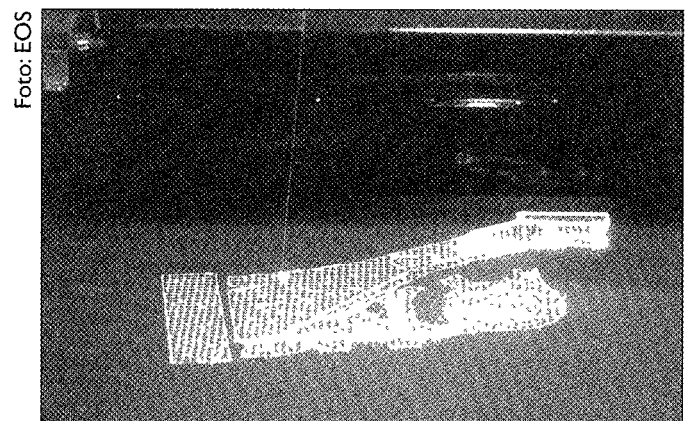
- (direct of ondersteund door een laser).
- LASER-snijden
  - -verbinden (lassen en solderen van metalen en kunststoffen)
  - -markeren en -graveren
  - -boren
  - -perforeren
  - -trimmen
  - -frezen (*lascaving*)
  - -ritsen (*scriben*)
  - -balanceren
  - -(draad)strippen
  - -materiaaldepositie/opgroeien (zie figuur 1/4)
  - -microbewerken
  - -microstructureren
  - -microlithografie
  - -warmtebehandelingen ((transformatie)-harden, gloeien et cetera)
  - -oppervlakteveredeling (legeren, dispergeren, cladden cq bekleden)
  - -justeren
  - -reinigen (matrijzen, restauratie kunstwerken, steriliseren)
  - -ablatie
  - -dressen (slijpschijven)
  - -scannen
  - -meten (geometrie, afstand, aantal deeltjes, debiet, gasanalyse, machineafname cq uitrichten met behulp van een laserinterferometer)
  - -buigen/ 3D omvormen van plaat
  - -holografie
  - -chirurgie (contactloos: schoonheidscorrectie waaronder liposuctie en oogheelkundige correcties)
  - lasergesteund (hard)draaien (keramiek), frezen en etsen.



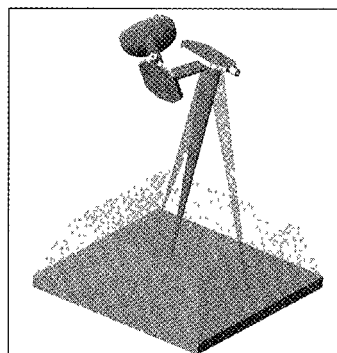
Figuur 1/2 Typerende lasergolflengten van de meest toegepaste lasertypes in relatie met het oog.



Figuur 1/3 Absorptie van uiteenlopende materialen afgezet tegen de golflengte.



Figuur 1/4 RP geeft door middel van een scannende laserstraal, laag voor laag uithardend, een CAD-model.



Figuur 5. Het ruimtelijke scansysteem zoals markt-leider Trumpf dat recent presenteerde ter versnelling van lasbewerking (naad-, punt- en 'step'las) en vergroting van het applicatiebereik.

mogelijkheden, met grotere vrijheid in opspannen en las-techniek (figuur 5). Tevens vergroot, bij de op de jongste EMO getoonde CO<sub>2</sub>-machines met de zeer snelle ruimtelijke positionering (neventijden drastisch omlaag) van de spot op de hoogte van het stilliggende product, het werkveld enorm tot typisch 1000x1000mm. Door het 'ongedwongen' karakter verloopt het scannend naad-/puntlasproces aanzienlijk sneller (50%) dan traditioneel, met speciale optieken of met een karthesisch systeem, die beide de toegankelijkheid tot nu toe bepalen. Demonstraties met onderbroken naadlassen (*step welding*) leverden ook nog eens een sterk verminderd uitvalspercentage, doordat de meest ideale lasvolgorde ter voorkoming van ongewenste vormverandering te volgen is.

### Dubbelfocus of Twin spot

Wil men lassen leggen van hoge kwaliteit dan vraagt dat door de kleine laserspot (0,1-1mm diameter) een meer dan normale afwerking van de te verbinden delen, alsmede een passende naadconfiguratie. De combinatie met lasersnijden levert daarvoor in de praktijk vaak een adequate oplossing: complexe geometrieën zijn exact passend, braamloos en met minimale oxydatie op de snijkant te snijden. Gewoonlijk vereist de nauwe lassespleet bij laseren dat er met behulp van relatief dure mallen wordt aangedrukt en geklemd. Uiteraard zijn slimme oplossingen ook in de constructie te vinden: bijvoorbeeld simpelweg daar waar mogelijk een stompnaad, die gevoelig is voor processtoringsen, vervangen door een (over)lapnaad. Een andere, enigszins complexe mogelijkheid is de laserstraal als het ware 'pendelend' over de naad te bewegen. Met behulp van een simpelere, zogenaamde dubbelfocus uitvoering, met een spot links en rechts van de naad, verbetert de situatie aanzienlijk (figuur 6a). Realisatie van een *twin spot* is eenvoudig uitvoerbaar via het opsplitsen van een laserbron met een prisma of een afbuigspiegel met twee ten opzichte van elkaar onder een kleine hoek staande vlakken. Drie mogelijkheden bieden zich daarmee aan, namelijk gesuperponeerd op elkaar, in tandem of parallelbedrijf (figuur 6b). De afstand tussen beide focussen is in-proces te sturen, terwijl indien gewenst het laservermogen per spot ruimtelijk en in de tijd apart is te regelen. Intussen heeft een project bewezen dat twin spots beter voldoen dan één brandvlek: het smelt materiaal aan beide kanten af (zonder optreden van insnoering of explosieve uitworp van materiaal), er gaat geen energie door de spleet verloren en het lasproces verloopt aantoonbaar rustiger. Dat het uitgangsvermogen verhoogd moet worden spreekt voor zich.

### Vaste stof: staaf, buis, slab en/of schijf

YAG-lasers boden vanaf het begin interessante mogelijkheden, die bij andere laservarianten ontbraken. Het succes baseert zich vooral op de superieure inkoppeling op metaal en de grote vrijheid in manipuleren van de lichtbundel die geleiding middels glasfibers geeft, al of niet met een meervoudig gesplitste straal of getakt aanstralen. Daarnaast biedt frequentieverdubbeling (532 nm) en verviervoudiging (266nm) weinig problemen, waardoor laservarianten ontstaan met kenmerkend andere eigenschappen, ideaal voor fijnsnijden, microboren en graveren. Ook Q-switching is mogelijk, waarbij een optische schakelaar periodiek de uitredende bundel blokkeert. In die pauzes wordt de toegevoerde energie tijdelijk opgeslagen en vervolgens doorgelaten in effectief versterkte pulsen (vermogen 0-150W, pulstijd 100ns). De potentie van dit gerijpte type vastestoflaser neemt nog steeds toe, vooral nu multi-kW-versies te koop zijn. Een beperking lag in de pompbron die tot nu toe berustte op krachtige Xe of Kr flitslampen met een vrij beperkte levensduur (circa 500 uur), waarvan verwisselen bovendien tijdrovend is en geregeld storingsen oplevert. Die vorm van energie-inbreng neemt de diodelaser (met 10.000 bedrijfsuren gegarandeerd; wel tegen een hoger prijskaartje!) meer en meer over. Het laseractief medium in een vastestoflaser bestaat nu nog meestal uit een kristal (Y3Al5O12 Yttrium Aluminium Granaat met ca. 1% Neodymium dope) in de vorm van oorspronkelijk een staafje (typisch Ø 6-8mm bij 100-150mm lengte). De slanke ronde vorm van het lasermedium komt voort uit de fabricagewijze, waarbij uit een opgetrokken kristal door middel van een kernboor meerdere volkomen identieke staafjes te halen zijn. Veelbelovende ontwikkelingen doen zich nu voor in de richting van een rechthoekige staaf (slab) of een buisvorm (figuur 7) en kort geleden als schijf. Natuurlijk gegeven is namelijk dat als gevolg van aanzienlijke verschillen in temperatuur tussen kern en buitenwand door warmte die het laserproces genereert de brekingsindex verandert. Het overtollige deel van de energie (zuiver verlies) moet worden weggekoeld, wat alleen aan de omtrek mogelijk is. In de praktijk werkt dat bij een cilinder uit in de vorm van een zekere lenswerking (toepasselijk met *thermal lensing* aangeduid). De sinds een tiental jaren bekende rechthoekige slabuitvoering kent een zigzagvormige stralengang (figuur 8). De platte brede begrenzingsvlakken met afgeschuinde eindvlakken (onder Brewster-hoek) warmen gelijkmatig op door volledige aanstraling door de pompbron, reflecteren inwendig 100% (maar niet asparallel) en bieden bovendien een zeer groot koelend oppervlak. Inwendig ontstaat ook hier een verandering in breking. Over de totale lengte

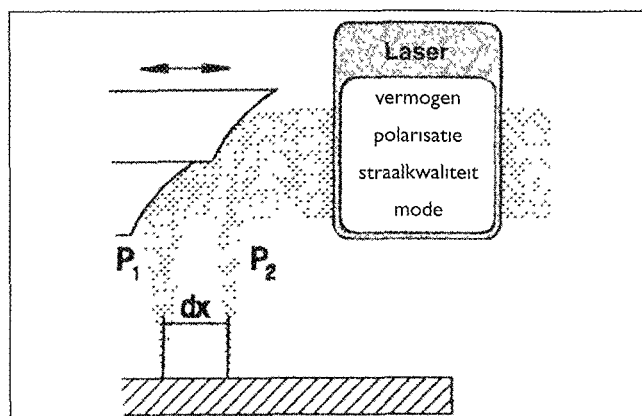
resulteert echter een vrijwel constante gemiddelde brekingsindex die onafhankelijk is van het vermogen. Met andere woorden: de slab is thermisch stabiel, wat kwaliteit betreft minstens 2 maal beter dan de conventionele staaf en hij levert een grotere indringdiepte op. Ook de CO<sub>2</sub>-laser is nu als slabtype op de markt gebracht

### Innovatieve varianten

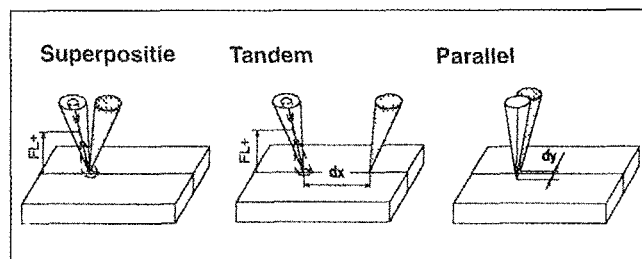
Enige tijd geleden zagen Zwitserse technici van Synova en de ETH Lausanne kans een nieuwe veelbelovende laser-variant voor precisiesnijden, boren en ablatie te ontwikkelen, door een YAG-laserstraal van hoge kwaliteit (gemiddeld vermogen 150-500 W, spotgrootte 50-150µm, puls-frequentie tot 4kHz) in het binnenste van een flinterdunne laminaire waterstraal van 100 µm (gefilterd op 0,2µm, bij 20-500bar druk en circa 20l/min debiet) in te voeren en te geleiden over een lengte van meerdere centimeters. Zodoende kan, door de totale reflectie van het omhullende scheidingsvlak tussen water en lucht, het focus als het ware 'opgerekt' worden tot een lengte tussen 30 en 100mm, afhankelijk van waterdruk en diameter van de waterstraal. Zonder hoogteverstelling is nu snijden mogelijk van teruggelegde of gewelfde vlakken. Na zo'n vier jaar ontwikkeling is een gepatenteerde, industriële Laserjet machine uitgebracht, die heet en koud in een straal verenigt (figuur 9). Specifieke voordelen van samsmelting van de twee concurrerende straaltechnieken voor de micro-elektronica, sensortechnologie, medische, lucht- en ruimtevaart applicaties noemt men:

het koud bewerken dankzij een zeer efficiënte koeling door de 'lichtgeleidende' waterstraal (absoluut geen thermische beschadiging in bijvoorbeeld silicium, geheugenmateriaal, composieten, keramiek, verdere halfgeleiders als GaAs (-wafers), maar ook niet in RVS of Inconel, of in het algemeen in hoogreflecterende en transparante materialen) een zuiver parallelle, dunnere laserstraal als gevolg van geleiding door de waterstraal en de zuivere en spanningsvrije producten.

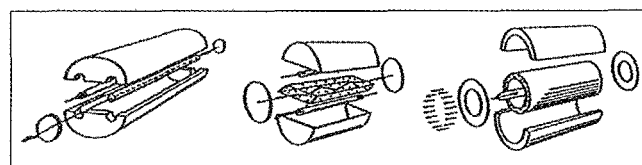
Veel wordt voor de toekomst (zeg vijf jaar) eveneens verwacht van de schijflaser (figuur 10). Deze werkt alleen dankzij koppeling aan diodelasers. Praktijkproeven van de eerste fabrikant Haas-Laser bewijzen dat op dit moment een dun schijfje uit Yb-YAG kristal van 0,3 mm dikte en 7 mm in diameter, frontaal gepompt, typisch al 1,3 kW maximaal vermogen levert. Een probleem vormt daarbij nog de koeling, alhoewel die makkelijker is aan te brengen op een platte schijf dan op een dun staafje. Bekend is intussen wel dat zich praktisch geen *thermal lensing* voordoet. De kwaliteit van de straal is met een zeer hoge M<sup>2</sup>-factor = 1,1 vrijwel optimaal en nagenoeg



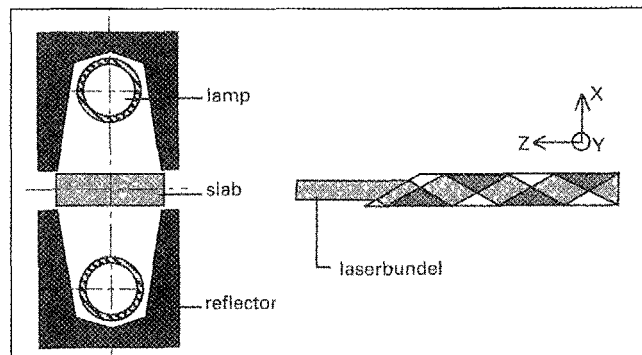
Figuur 6a. Het opsplitsen van één laserbundel met behulp van een prisma of een speciaal gevormde afbuigspiegel opent door de gescheiden energie-inbreng om de lasplaats nieuwe mogelijkheden.



Figuur 6b. Drie toepassingen met duofocus, laatste (parallel) voor lassen.



Figuur 7. Drie verschillende uitvoeringen van een lampgepompte vastestoflaser: staaf, slab en buis



Figuur 8. Kenmerkende opbouw en stralengang van de slablaser met een rechthoekig kristal.



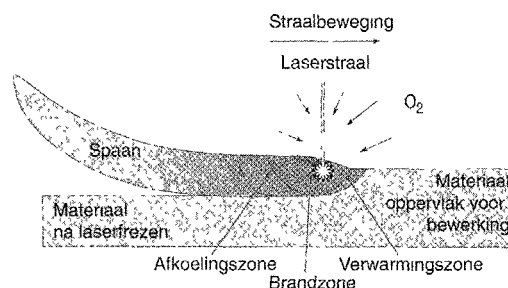
onafhankelijk van het laservermogen. Inkoppeling van de lichtenergie in een glasfiber verloopt goed, aangezien de golflengte vrijwel dezelfde is als die van een Nd:YAG-laser. Ongekend hoog voor welke laser dan ook is het rendement dat kan oplopen tot 50% (bij koeltemperatuur tussen 0-20°C, bij -74°C 64%). Ondermeer de hoge kostprijs zal ervoor zorgen dat de applicaties in eerste instantie voornamelijk in nichemarkten zullen liggen, gebaseerd op de excellente straalkwaliteit. Deskundigen zien een sterke evolutie, hoewel de industrie zelfs met factoren opgeschaalde schijfslasers op zich eerder een extra mogelijkheid in handen krijgt dan een vervanger voor de standaard Nd:YAG laser.

### Hoogvermogen diodelaser (HVDL)

In 1975 bracht de IC-industrie diodelasers van betrekkelijk laag vermogen op de markt. Piepjonge halfgeleiderlasers (golflengte 670-950 nm in het nabije IR, uit GaAlAs-/GaInP materiaal) maken de laatste jaren een ongekend snelle opmars van minuscule lichtbron van milliwatts tot hoogvermogen kilowattversies (figuur 11) en zijn zich vandaag de dag aan het bewijzen. Het eerste voordeel van een dergelijke HVDL ligt in de enorme ruimtewinst. Een traditionele laser neemt met voeding veel plaats in. Zo'n moderne hoogvermogen diodelaser van acceptabel vermogen bestaande uit een compacte stapeling van diodes, vult daarentegen amper een fatsoenlijke schoendoos. Ten opzichte van de CO<sub>2</sub> met 5-10%, lampgepompte 2-5% en diodegepompte Nd:YAG 10-15% heeft de HVDL een enorm hoog energetisch rendement van 30-50% bij een duidelijk lager energieverbruik en hoge absorptie. Ook de levensduur is hoog, >10 000 bedrijfsuren, wat tot uiting komt in lage bedrijfskosten. Op vermogensdichtheid schiet de vrij dure diodelaser echter te kort ( $10^4$ - $10^5$  W/cm<sup>2</sup>), terwijl ook de straalkwaliteit nog onder de maat blijft die industrieel als gangbaar wordt geaccepteerd. Tegenover normaal één bundel met het hele vermogen, bestaat een sterke diodestraal uit een groot aantal afzonderlijke, sterk divergente lichtbundels van maximaal ongeveer 100mW, die ook nog eens asymmetrisch zijn (haaks en evenwijdig met de staaf verschillende karakteristiek). De achtergrond vormt de karakteristieke HVDL-opbouw: afzonderlijke laseremitters (p-n overgang) voegt men op een heatsink samen tot een staafvormig geheel (afmetingen 10.000 x 600 x 115 µm), vervolgens meervoudig gestapeld tot stacks (gelamineerde blok), al naar gelang de uitvoering gecombineerd met microlenzen of direct gekoppeld aan fibers tot een laserkop. Fijn focuseren van de van nature rechthoekige brandvlek van vrij forse afmeting (0,6x0,8mm) verloopt relatief moeilijk. Er wordt gewerkt met een zeer korte

### Laserfrezes terug van weggeweest

Bij laserfrezes (vroeger ook wel *lascaving* genoemd) gaat het erom rechtstreeks een vormholte met een geconcentreerde laserbundel de gevraagde maat, vorm en oppervlakte-gesteldheid te geven, zonder tussenkomst van bijvoorbeeld slijtende elektrodes. Drie verschillende principes zijn mogelijk, namelijk: smelten en wegblazen, verdampen en oxyderen/verbranden. Laserfrezes is bedoeld als stap om afwerken en nabewerken (nu deels nog handmatig) van vormgevend gereedschap automatisch te laten verlopen met alle voordelen van dien. Pers-, smeed-, (spuit- en druk-)gietmatrijzen vormen het einde van de gereedschappfabricage en tegelijk het begin van de productiefase van het product. Dat gebeurt tegenwoordig door met een gepulste energiebron plaatselijk gerichte oxydatie in te leiden (figuur 12). Zijn de vele onderling nauw verweven parameters zoals het ingekoppelde vermogen, de gastoevoer en de bewegingssnelheid correct op elkaar afgesteld, dan zorgen ontstane spanningen in het metaal ervoor dat zich een soort spaantjes vormt. Die spaantjes springen weg en leggen het onderliggende onveranderde metallische oppervlak vrij. De dikte van de laag is typisch circa 0,1mm, de breedte 0,3mm. Essentieel voor de nauwkeurigheid is het juist genereren van laserfreesbanen op basis van CAD (STL-formaat) en het exact aanhouden van de geometrie via een sensorgestuurde, in-proces teruggekoppelde diepteregeling. Voor de fabricage van prototypes is dit nu al een economisch alternatief voor meer gangbare methodes, met afhankelijk van de materiaalsoort een verspaningscapaciteit tot 25mm<sup>2</sup>/min, zoals bewezen door WTCM Verspaning (in Diepenbeek bij Hasselt, België).



Figuur 12. Spaanvorming tijdens laserfrezes door sterke verwarming in het focus (onder metaaloppervlak), de gerichte gastoevoer en de verplaatsing van de laserbundel.

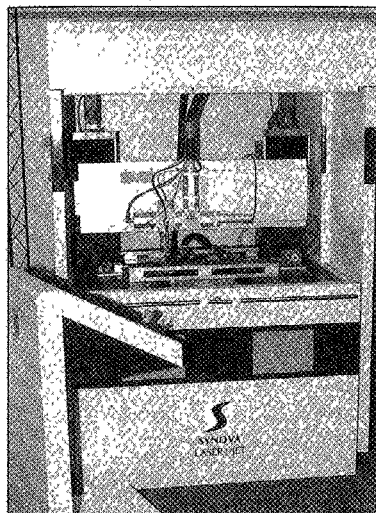
werkafstand (ca 35mm). Diodelasers zijn te koppelen aan fibers, zij het van grotere afmetingen (300-1500µm). Op verbetering van de negatieve aspecten zijn internationale, maar vooral in Duitsland lopende ontwikkelingsprojecten gericht. Het grootste probleem, namelijk het koppelen van

de afzonderlijke diodes tot een array en een stack, is intussen opgelost. Ook voor de noodzakelijke gedwongen koeling (voor de overtollige helft van de toegevoerde energie) zijn praktische oplossingen voorhanden, zoals bijvoorbeeld microkanaal water-luchtkoeling. Op het ogenblik is de toepassing nog beperkt tot de zijdelingse pompfunctie bij YAG-lasers en in direct gebruik tot die sectoren waar de nog geringe straalqualiteit en -intensiteit voldoen, dat wil zeggen in het harden, cladden, lassen van kunststof en in het solderen. Ondertussen past men al 3-6kW-uitvoeringen toe in productielijnen voor oppervlakteharden. Met een iets hogere intensiteit dan nu normaal is komt zelfs dieplassen binnen bereik.

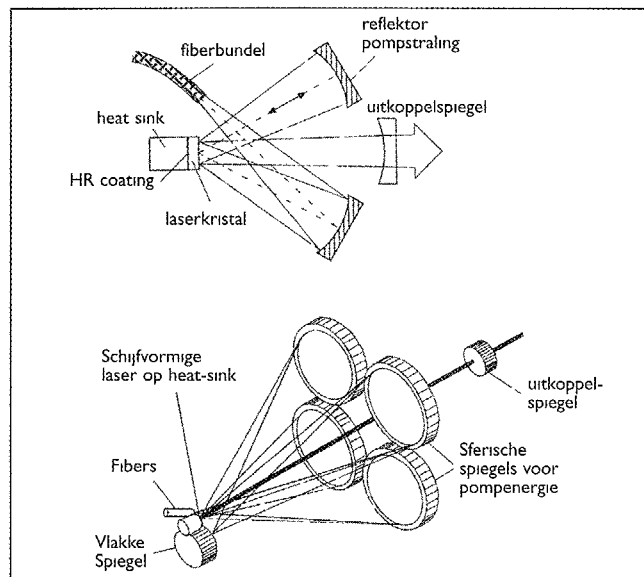
### Excimeerlasers

De naam excimeerlaser is ontstaan uit de verkorte samenvoeging van de woorden EXCIted diMER. Lasermedium zijn edelgashalogenen als ArF met een kortste golflengte van 193nm, XeCl (308), KrF (248) of XeF (351), met andere woorden 3 tot 6 maal kleiner dan een Nd:YAG. Pompenergie is uitsluitend elektrisch van aard. Het totale rendement is heel laag, Bijzonderheid is dat deze hoogrendements uv-laser uitsluitend wordt gebruikt met gepulst uitgangsvermogen (0-1000W, energiedichtheid  $>10^8 \text{W/cm}^2$ ), en wel met zeer korte pulstijden tot 20 ns, tot een piekvermogen in het MW-bereik. Een rechthoekige straal treedt uit met afmetingen in centimeters, met een uniforme intensiteitsverdeling, waarbinnen naar behoefte speciale maskers worden geplaatst. De meeste materialen kennen een sterke absorptie voor dergelijke UV-straling. Excimeerlasers hebben intussen hun industriële geschiktheid bewezen voor speciale oppervlaktebehandelingen op (sub)micronschaal; zij het vlak of 3D, onder andere fijn en nauwkeurig structureren, ablatie, markeren (*on the fly*, zelfs in transparante stoffen), boren diamant (ook mogelijk met Q-switched YAG) en microperforeren in uiteenlopende materialen als keramiek en glas alsmede polymeren. Vooral worden succesvolle toepassingen gemeld op stoffen die uiterst gevoelig zijn voor temperatuurverhoging of slecht tegen snelle thermische effecten kunnen. Voor bewerking van metalen is de excimeerlaser momenteel niet zo geschikt. Het oplossend vermogen van dergelijke bewerkingen is zeer groot, op micrometers. Fotochemische omzetting is eveneens mogelijk. Nog maar kort geleden maakte een Frans consortium bestaande uit Onectra (nucleaire installaties), CNRS (Centre National de Recherche Scientifique) en de bekende laserfabrikant Cilas (Compagnie Industriel des Lasers) het door specialisten onmogelijk geachte bekend. Men is er namelijk met behulp van een unieke experimentele opstelling in geslaagd de lichtbundel van een excimeerlaser met

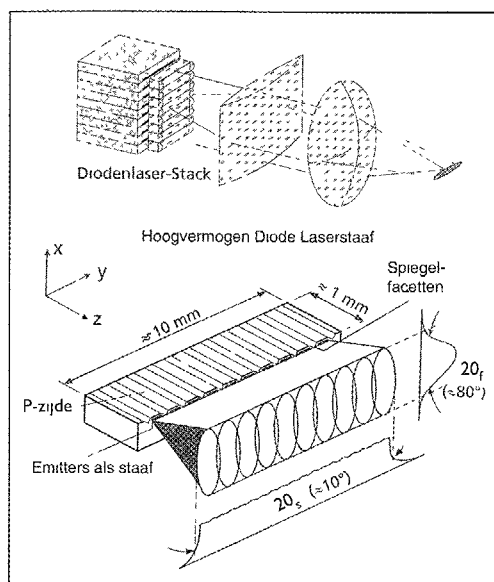
Foto: Wise 2000



Figuur 9. Laserjet. Op zich valt nauwelijks op dat in de professioneel gebouwde laserjetmachine zowel een waterstraal als een laserstraal gecombineerd voorkomen.

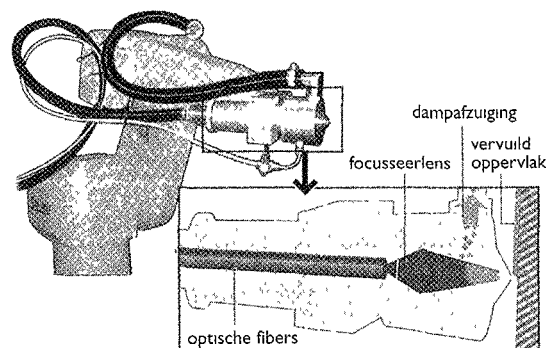


Figuur 10. Principe (boven) en gerealiseerde opbouw van de eerste Haas schijfvlaser.



Figuur 11. Boven: complete diodenlaser-stack met focusoptiek. Onder: enkelvoudige staaf.

flink vermogen te geleiden door optische vezels. Het ging daarbij om een met 500 Hertz gepulste 500 Watt Cilaslaser met een samengestelde bundel van 90 glasfibers. Het werkbereik vergroot aanzienlijk door de mogelijkheid om een industrieel gestuurde robot te gebruiken. De robotopstelling met directe afzuiging, via een aangepaste conus met doorlaat voor de laserbundel (zie figuur 13), test men uit voor gedefinieerde ablatie van atomaire laagjes op radioactief vervuilde metalen vlakken.



Figuur 13. Franse opstelling die voor het eerst lichtgeleiding met glasfibers in de praktijk mogelijk maakte voor een excimeerlaser.

### Ultrakorte pulslasers

De femtosecondenlaser is op dit moment typisch een oplossing die vraagt om een passend probleem. Toch bieden puntvormige gefocuseerde fs-pulsen met hoog vermogen optimale condities voor (sub)micronbewerken met ongekende precisie. Immers, hoe korter de golflengte hoe beter absorptie en resolutie. Bovendien geldt: hoe korter de pulstijd, des te beter de kwaliteit. Wel is een enorm hoge vermogensdichtheid vereist. De puls frequentie is nu gelimiteerd tot 5kHz waardoor de haalbare 'verspaningscapaciteit' nog laag is. Industrieel gebruik van de hoogvermogen ultrakorte pulslasers, aangeboden door Spectra-Physics, Clark MXR en Thomson, blijft tot nu toe beperkt tot haalbaarheidsstudies en uitzonderlijke applicaties (als reparatie en reiniging van IC-maskers) in wetenschappelijke en industriële laboratoria. Dit is mede te wijten aan de hoge initiële investering. Stabiliteit en focusseerbaarheid van de niet-homogene straal vormen eveneens een drempel. Verder is het werkgebied vrij klein. De medische wereld (stents) en de auto-industrie (injectieboringen) verwacht er veel van. Dergelijke supersnelle pulsen in het nabije IR met een pulsduur in femtoseconden ( $10^{-15}$ s) openen een nieuwe wereld doordat ze voldoende kort zijn om de intermoleculaire binding te verbreken, analoog aan excimeerlasers. Opbouw en overdracht van hitte komen niet voor, dus er bestaan geen warmtebeïnvloede zone, thermoshock of smeltverschijnselen. Ablatie van diameters  $<100 \mu\text{m}$  blijkt haalbaar zonder inwendige degradatie van de oppervlaktestructuur. Een nadeel is dat onder bepaalde omstandigheden materiaal op het substraat terug kan slaan. FS-lasers bieden unieke mogelijkheden; door exact focuseren zijn bijvoorbeeld bewerkingen uitvoerbaar direct onder een glasoppervlak.

### Referenties

Fraunhofer ILT Instituut, Aken, dr. P. Loosen;  
Universiteit Twente, Enschede, prof. J. Meijer;  
Katholieke Universiteit Leuven (B), prof. J.P. Kruth /  
prof B. Lauwers;  
Laser Centrum VITO, dr J. Gedopt, Mol (B)

### Laser in der Metallbearbeitung

In dit leerboek, op basis van het dictaat van professor Förster, Hogeschool Keulen, afdeling Constructietechniek, staat een beschrijving van de fysische kenmerken en eigenschappen van het tegenwoordig overal in ons leef- en werkdomein voorkomende begrip laser, de verschillende laserbronnen en bijbehorende componenten. Het grootste deel van de tekst concentreert zich op de verschillende laserbewerkingsmethoden in de metaalindustrie. Daarbinnen laat de eigenlijke doorbraak nog altijd op zich wachten. Vervolgens krijgen in het boek daadwerkelijk gebouwde lasermachines een korte behandeling alvorens af te sluiten met veiligheidsaanbevelingen. Bij dit multimediale boek, dat een bruikbare verzameling bijde tijdse basiskennis presenteert, verduidelijkt met vele afbeeldingen zonder zware natuurkundige en mathematische theorie, wordt een cd-rom geleverd die het daadwerkelijk gebruik van lasers in alle bereiken van de machinebouw laat zien met behulp van audiovisuele middelen als foto's, video's en animaties.

Auteurs: Dieter Förster en Wolfgang Müller, uitgeverij Fachbuchverlag Leipzig (Hanser Verlag), 2001, ISBN 3-446-21672-3, A5-formaat, 122 blz, 110 afbeeldingen, prijs: € 20,35.

### Literatuur

'Licht Werk', inaugurele rede 2000 prof. J. Meijer, UT VM-80 'Laserbewerkingen' FME, Zoetermeer  
Workshop 'Anwendung von HLDL'  
Fraunhofer Institut Werkstoff- & Strahltechnik, Dresden  
Proc 5<sup>e</sup> Int. Laser Marketplace/Laser 2001, München  
Bedrijfsdocumentatie Haas-Laser, Alphen a/d Rijn  
Trumpf machines Möller Metaal, Hengelo  
'Laserlexikon', Fraunhofer IWS  
'Lasersicherheit', cd-rom, Fraunhofer IWS  
*Eurolaser*, internationaal vakblad over lasers, Grütter Verlag, Augsburg