

Rapport nummer 97-37

VEILIGHEIDS- EN GEZONDHEIDSASPECTEN VAN HET WERKEN MET HOOG-VERMOGENLASERS

Nederlandse bijdrage Eureka project EU 643

MHL Leumens^{1,2,3}, JCM Mossink⁴, J Meijer² en RFM Herber¹

1 Coronel Instituut
Academisch Medisch Centrum
Universiteit van Amsterdam
Meibergdreef 15
1105 AZ Amsterdam

2 Werktuigbouwkundige
Automatisering
Universiteit Twente
Postbus 217
7500 AE Enschede

3 Huidig adres: Arbodienst Haarlem
Postbus 791
2003 RT Haarlem

4 NIA-TNO
Postbus 75665
1070 AR Amsterdam

NIA TNO, BIDOC
Postbus 75665
1070 AR AMSTERDAM
Tel. 020 - 549 84 68

NR. 42792
plaats 57-253

Inhoudsopgave

Voorwoord	4
Samenvatting	5
Conclusies en aanbevelingen	7
1 Inleiding	9
1.1 Inhoud	9
1.2 Doelgroep	9
1.3 Reikwijdte van het onderzoek	9
1.4 Opbouw	10
1.5 Wettelijke bepalingen en normen	10
2 Lasers en belastende factoren	12
2.1 Lasertypes	12
2.2 Laserbewerkingen	13
2.3 Belastende factoren	13
3 Gezondheidseffecten	15
3.1 Vrijkomende stoffen	15
3.2 Straling	18
4 Gezondheidsrisico's bij verschillende laserprocessen en materialen	21
4.1 Snijden van metalen	21
4.2 Lassen van metalen	22
4.3 Snijden van polymethylmethacrylaat en polystyreen	24
4.4 Oppervlaktebehandelingen van metalen	24
4.4.1 Graveren	24
4.4.2 Frezen	25
4.4.3 Harden	25
4.4.4 Cladden	25
5 Maatregelen ter voorkoming van blootstelling	25
5.1 Veilige werkafstanden	25
5.2 Werkplekinrichting	26
5.3 Afzuiging en omkasting van apparatuur	31
6 Lasers en risico	32

Bijlagen

I	Europese stralingsnormen volgens NEN-EN 60825	34
II	ACGIH-normen voor UV- en blauw licht	37
III	Formules en berekening veilige werkafstanden	40
IV	Literatuur	44

Voorwoord

Voorliggende handleiding is het resultaat van een verkennend onderzoek naar de gezondheidsrisico's van het werken met hoog-vermogen lasers in de arbeidssituaties. Deze studie is uitgevoerd in het kader van het Europese EUREKA EU 643 project "Eurolaser: Safety in the Industrial Application of Lasers", voor het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en het Ministerie van Economische Zaken. Het onderzoek is uitgevoerd door het Coronel Laboratorium (nu Coronel Instituut), Academisch Medisch Centrum, Universiteit van Amsterdam, de vakgroep Werktuigbouwkundige Automatisering van de Universiteit Twente, de divisie Arbeid en Gezondheid van TNO-PG te Leiden (nu NIATNO te Amsterdam), ILT b.v. te Enschede en DEMAR b.v. te Hengelo.

Deze handleiding dient gezien te worden als een eerste, voorlopige verkenning van de gezondheidsrisico's voor laserbewerkingen. De intentie was niet om te komen tot een complete opsomming van deze risico's. De in deze handleiding gepresenteerde conclusies en aanbevelingen zijn dan ook alleen van toepassing op de expliciet in dit rapport vermelde lasertoepassingen en materialen.

Een woord van dank is wel het minste dat aan de vele medewerkenden neergeschreven kan worden. In de eerste plaats aan de beleidsmedewerkers van SZW, de heer C Vlaskamp en mevr drs LCMP Hontelez; dan de medewerkers van het Coronel Instituut, de heren drs J Straub, H du Jour, HJ Pieters en mw K van Asten; de medewerkers van Werktuigbouwkundige Automatisering de heren ir F Wisselink, F Tijman en J Vet.

Oktober 1997

Samenvatting

In het kader van het Europese EUREKA EU 643 project heeft een verkennend onderzoek plaatsgevonden naar de gezondheidsrisico's voor laserbewerkingen met industriële en research-lasers. In deze handleiding is een opsomming gegeven van de tot nu toe bekende risico's met betrekking tot gevaarlijke stoffen, straling en elektrische hoogspanning. Daarnaast komen de maatregelen aan de orde die genomen kunnen worden om deze risico's te minimaliseren.

Het onderzoek heeft zich toegespitst op de risico's bij bewerkingen met metalen en kunststoffen. De risico's van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen wordt geheel bepaald door de samenstelling van het produkt. De risico's voor het vrijkomen van straling wordt onder meer bepaald door reflectie en de aard van het proces, maar bestaat uitsluitend uit risico's voor de huid en de ogen omdat de geëmitteerde straling niet ioniserende straling is (UV, zichtbaar of IR).

Het *snijden van metalen* is een van de meest toegepaste bewerkingen in de industrie (onlegeerd en roestvrij staal). Uit emissiemetingen is gebleken dat er een potentieel risico bestaat als gevolg van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (bv. chroom en nikkel bij RVS). Onder "gestandaardiseerde" arbeidsomstandigheden (goede afzuiging, geen zuurstof als hulpgas) komen slechts zeer geringe hoeveelheden gevaarlijke stoffen vrij. Kankerverwekkende stoffen kunnen bij dit proces vrijkomen (bv. Cr(VI) bij RVS). Dit houdt een verplichting in voor de werkgever om de blootstelling te minimaliseren. De stralingsrisico's bij het snijden zijn kleiner als bij andere bewerkingen (bv. lassen) omdat er geen pluimstraling optreedt.

Het *lassen van metalen* geeft een emissie aan gevaarlijke stoffen die tien maal lager is dan bij het snijden. Omdat ook hier kankerverwekkende stoffen kunnen vrijkomen gelden dezelfde maatregelen als bij het snijden. Een extra risico wordt gevormd door het precisielassen, omdat de werknemer hierbij zeer dicht bij de bron zit.

Bij het lassen van metalen komen hoge stralingsniveaus vrij als gevolg van de pluimstraling. Met name bij de CO₂-laser komt veel UV en blauw licht vrij. Maximale verblijftijden zijn berekend van enkele seconden tot maximaal 2 minuten. Aangeraden wordt om zoveel mogelijk laswerkzaamheden uit te voeren met een Nd:YAG-laser.

Het *snijden van polymethylmethacrylaat en polystyreen* is een bewerking waarbij een groot aantal stoffen vrijkomen. Daarnaast speelt ook de stofontwikkeling een rol bij de belasting van de werknemers. Indien de bedrijven beschikken over een goede bronafzuiging is de blootstelling van werknemers minimaal. Blootstelling aan kankerverwekkende stoffen kan echter vóórkomen (bv. benzeen). De stralingsrisico's zijn minimaal.

Om blootstelling van medewerkers te voorkomen zijn verschillende maatregelen denkbaar. Een van deze maatregelen is het, aan de hand van een aantal procesparameters berekenen van

de veilige werkafstand. Op een bepaalde afstand (per laser en bewerking verschillend) zal de irradiantie gelijk zijn aan de maximaal toegestane blootstelling. Deze afstand noemt men de NOHD (Nominal Ocular Hazard Distance). Voor niet-gefocusseerde straling kan de veilige werkafstand honderden meters bedragen, voor gefocusseerde straling maximaal enkele meters en voor diffuse straling meestal minder dan één meter.

Naar aanleiding van diverse werkplekbeoordelingen zijn aanbevelingen opgesteld om tot beheersing van de stralingsrisico's te komen. Bij normale bewerkingen is dit gebeurd door controlelijsten op te stellen voor: het bad van de laserbundel, de gefocusseerde bundel, de diffuus gereflecteerde straling en de pluimstraling. Voor de werkvoorbereiding en het onderhoud worden aanbevelingen gegeven ten aanzien van: de keuze van de instellingen, het testen van de programma-afloop, het uitlijnen, het instellen van de focus, het reinigen en vervangen van spiegels en lenzen, het instellen van de bundelkwaliteit en het verhelpen van storingen en onderhoud.

Uitgaande van het bovenstaande lijken technische veiligheidsvoorzieningen bij normale operaties een goede mogelijkheid de risico's te reduceren. In niet-normale situaties kunnen deze echter ontoereikend zijn. Voorschriften en procedures kunnen in die gevallen de veiligheid verhogen. Voor enkele activiteiten (bijvoorbeeld instellen uitkoppelspiegels) kunnen eenvoudige technische aanpassingen de veiligheid verhogen.

Conclusies en aanbevelingen

Algemeen

- * Een gepulste laser zal minder vrijkomende stoffen in de omgevingslucht produceren dan een continue laser.
- * Indien er bij bewerkingen pluimstraling optreedt (bv lassen met CO₂-laser) dan overschrijdt deze in een groot aantal gevallen de norm voor 8-uur durende blootstelling aan UV- en blauw licht straling aanzienlijk. Beschermende maatregelen zijn bij deze processen noodzakelijk.
- * Hoewel de kans op gezondheidkundige effecten van diffuus reflecterende straling onder normale omstandigheden blijkt mee te vallen, wordt toch aangeraden om bij open opstellingen altijd een veiligheidsbril te dragen (dit geldt ook voor personen die niet met de laser werken, maar wel in de nabijheid zijn). Dit om de ogen te beschermen tegen mogelijk spiegelende reflecties als gevolg van fouten of verstoringen in het proces.
- * Een verhoogde kans op acute stralingseffecten treedt op tijdens onderhoud, reparatie en uittesten van instellingen. Met name tijdens deze activiteiten is het belangrijk om persoonlijke beschermingsmiddelen te dragen en de veiligheidsvoorschriften nauwgezet op te volgen.
- * De mate van diffuse reflectie van laserstraling wordt mede bepaald door de vorm van het materiaal. In de meeste onderzoeken zijn alleen vlakke voorwerpen onderzocht (met uitzondering van het harden). Dit kan inhouden dat er een verhoging van de hier gepresenteerde kans op negatieve gezondheidseffecten mogelijk is bij drie-dimensionale produkten en bewerkingen.
- * Uit de bedrijfsonderzoeken blijkt dat de bewerkingen met de laser per dag sterk kunnen verschillen. Hiermee dient bij de werkplek inrichting rekening mee te worden gehouden. Ook de afzuiging zal op deze verschillende activiteiten berekend moeten zijn.

Snijden metalen

- * Onder worst case condities (snijden van RVS met O₂ en zonder afzuiging) blijven de vrijkomende stoffen in de ademhalingslucht beneden de MAC-waarden en wettelijke grenswaarden.
- * Snijden van metalen zonder O₂ als hulpgas, maar met een afzuiging geeft een aanzienlijke verlaging van de blootstelling ten op zichte van de worst case.
- * Voor alle bewerkingen met RVS (en andere metalen die chroom of nikkel bevatten) wordt een goede afzuiging aanbevolen gezien het feit dat kankerverwekkende stoffen vrijkomen (alle technisch mogelijke maatregelen om de blootstelling te minimaliseren moeten getroffen worden).
- * Bij het snijden is geen pluimstraling gemeten. Er kan diffuse reflectie optreden afhankelijk van het materiaal. Hiervoor kunnen veilige werkafstanden berekend worden.

Lassen metalen

- * Er komen lagere concentraties vrijkomende stoffen vrij dan bij het snijden.
- * UV- en blauw licht straling in de pluim vormen het grootste gezondheidsrisico. Voor UV straling bedraagt t_{\max} 9 seconden; voor blauw licht is dit 10 min (worst case condities). Maximaal is dit 50 min respectievelijk 33 uur.

Snijden polymethylmethacrylaat (plexiglas) en polystyreen (PS)

- * Bij bewerking van kunststoffen komen onder andere pyrolyseproducten vrij. Bij blootstelling aan deze producten kunnen nadelige gezondheidseffecten optreden wanneer de MAC-waarde of wettelijke grenswaarde wordt overschreden. Dit temeer daar er niet geïdentificeerde stoffen vrijkomen. Eveneens kunnen er carcinogene stoffen vrij komen. Een goede afzuiging is strikt noodzakelijk.
- * Met afzuiging blijft de concentratie van de vrijkomende stoffen zo laag dat ze geen risico vormen voor de gezondheid. Gezien het mogelijk vrijkomen van deze stoffen zullen toch alle maatregelen moeten worden getroffen die technisch uitvoerbaar zijn.
- * Om de gezondheidsrisico's zoveel mogelijk te verkleinen wordt aangeraden naast een gesloten omkasting voorzien van afzuiging te installeren.
- * Pluimstraling komt bij het snijden van kunststoffen niet voor.

Oppervlaktebehandelingen

- * Bij het cladden is er een kans op niet diffuus gereflecteerde straling.
- * Bij geen van de onderzochte oppervlakte behandelingen werd de MAC-waarde of wettelijke grenswaarde overschreden. Dit betekent dat voor zover de huidige kennis strekt, geen nadelige effecten voor de gezondheid verwacht worden.

1. Inleiding

1.1. Inhoud

In deze handleiding wordt een overzicht gegeven van de tot op heden bekende en onderzochte gezondheidsrisico's van bewerkingen met behulp van hoog-vermogenlasers. De aandacht gaat hierbij met name uit naar industriële- en researchlasers. De onderzochte gezondheidsrisico's betreffen vrijkomende stoffen, straling en in mindere mate elektrische hoogspanning.

Een deel van de handleiding wordt besteed aan de voorwaarden waaraan lasers moeten voldoen om de veiligheids- en gezondheidsrisico's voor werknemers (maar ook voor derden zoals voorbijgangers en onderhoudsmonteurs) zo laag mogelijk te houden. Hierbij worden eveneens adviezen gegeven om zo veilig mogelijk met reeds bestaande opstellingen te werken.

1.2. Doelgroep

Deze handleiding is bedoeld voor bedrijven (werkgevers en/of werknemers) die enerzijds reeds hoog-vermogenlasers gebruiken voor industriële of research doeleinden, en anderzijds voor bedrijven die overwegen een laser te gaan gebruiken. Voor dit laatste punt geldt dat in deze handleiding geen afweging zal worden gemaakt tussen het gebruik van lasers en andere produktietechnieken binnen een produktieproces (zoals bijvoorbeeld het plasmasnijden van metalen). De handleiding richt zich uitsluitend op de veiligheids- en gezondheidsrisico's van lasers, voor een afweging van andere produktietechnieken wordt geadviseerd de hierover beschikbare literatuur te raadplegen (een overzicht van te raadplegen literatuur wordt in bijlage IV gegeven). Bij lasers wordt een klasse-indeling gemaakt die berust op het maximaal uit te zenden vermogen en de golflengte. Volgens de Europese norm NEN-EN 60825 kunnen vier klassen onderscheiden worden. Deze handleiding is bedoeld voor klasse 4 lasers. De lasers in deze klasse kunnen ook via diffuse reflectie schade veroorzaken.

1.3. Reikwijdte van het onderzoek

Zoals ook al in de inleiding wordt vermeld geeft deze Handleiding een beschrijving van een verkennend onderzoek naar de veiligheids- en gezondheidsrisico's van industriële en research lasers. Dit houdt in dat slechts een beperkt deel van het geheel aan laserprocessen onderzocht is. Gezien de grote diversiteit aan risico's bij de diverse bewerkingen kan geen algemene formulering opgesteld worden. De conclusies in dit rapport gelden alleen voor de expliciet in deze handleiding genoemde bewerkingen en materialen.

Om binnen dit onderzoek een zo groot mogelijk deel van de gezondheidsrisico's bij

verschillende bewerkingen te onderzoeken is gekozen voor een tweetal verschillende opzetten. In eerste instantie is uitgegaan van een "worst case" benadering, dit houdt in dat die situatie wordt onderzocht waarbij de grootste gezondheidsrisico's zullen optreden. Daarnaast zijn alleen die bewerkingen en materialen in deze handleiding opgenomen waarvan bij aanvang van het onderzoek bekend was dat ze veelvuldig in de industrie werden toegepast. Aan het einde van deze handleiding zal een opsomming worden gegeven van die gebieden binnen de laser materiaalbewerking waar de vraag naar informatie betreffende de veiligheids- en gezondheidsrisico's nog onvoldoende beantwoord is.

1.4. Opbouw

Allereerst zal worden ingegaan op de (wettelijke) bepalingen en normen die ten grondslag liggen aan deze handleiding. In hoofdstuk twee zal een overzicht worden gegeven van de diverse lasers en laserprocessen en hun belastende factoren. In hoofdstuk drie zal worden ingegaan op de mogelijke gezondheidseffecten die het werken met hoog-vermogenlasers kan hebben. In hoofdstuk vier vervolgens zal aandacht worden besteed aan de daadwerkelijke gezondheidsrisico's van de diverse laserbewerkingen voor wat betreft vrijkomende stoffen en straling. In hoofdstuk vijf zal uitvoerig worden ingegaan op de mogelijkheden om blootstelling op de werkplek te minimaliseren. Hoofdstuk vijf bestaat uit: werkplekinrichting, bronafscherming, afzuigingen en persoonlijke beschermingsmiddelen. In hoofdstuk 6 tenslotte zal een opsomming worden gegeven van de bewerkingen waarbij sprake is van een verhoogd risico voor de gezondheid van de werknemers.

1.5. Wettelijke bepalingen en normen

Ter bescherming van werknemers tegen de negatieve effecten van vrijkomende stoffen zijn er nationale richtlijnen opgesteld, waarin blootstellingslimieten (Maximaal Aanvaarde Concentratie, MAC-waarden) gegeven worden. Deze limieten zijn gebaseerd op de schadegrenzen van de betreffende stof op het meest kwetsbare orgaan in het menselijk lichaam. De normen worden meestal gegeven als 8-uurs tijdgewogen gemiddelde. Waarbij ervan wordt uitgegaan dat blootstelling aan deze norm gedurende 8 uur per dag, vijf dagen per week, een heel werklevens lang geen schade zal veroorzaken. Dit houdt in dat de blootstelling gemiddeld over 8 uur, niet hoger mag zijn dan de in de lijst genoemde waarde, kortdurende overschrijding van deze normen zijn dus toegestaan. De blootstellingslimieten staan vermeld in de MAC-lijst (P-145); de daarin genoemde MAC-waarden en wettelijke

grenswaarden¹ zullen als uitgangspunt dienen, evenals de lijst kankerverwekkende stoffen (S-174). Gezien de grote diversiteit in stoffen die vrij kunnen komen bij materiaal bewerkingen wordt voor een overzicht van de normen voor de diverse stoffen verwezen naar deze MAC-lijst.

Voor kankerverwekkende stoffen geldt dat er, gezien het specifieke werkingsmechanisme², geen schadegrens opgesteld kan worden, waar beneden geen schade zal optreden. Vanwege dit verschil met andere chemische stoffen en vanwege de ernst van de mogelijke schade is door de overheid een aparte richtlijn voor het werken met kankerverwekkende stoffen opgesteld (P-blad “Werken met kankerverwekkende stoffen en processen, P-187).

Regelmatig verschijnen in de Staatscourant aanvullingen op deze lijst. Teneinde aan deze centrale verplichting te voldoen moet de werkgever alle maatregelen treffen die technisch uitvoerbaar zijn om de blootstelling te minimaliseren.

Ter bescherming van werknemers tegen de negatieve effecten van niet-ioniserende straling in het algemeen en laserstraling in het bijzonder zijn Europese richtlijnen opgesteld waarin blootstellingslimieten worden gegeven. Deze blootstellingslimieten (Maximum Permissible Exposure; MPE) zijn gebaseerd op de schadegrenzen voor huid en oog. Bij deze blootstellingslimieten wordt rekening gehouden met de aard van de straling (bv. gepulste of continue blootstelling). De Europese richtlijnen ter bescherming tegen straling zijn weergegeven in NEN-EN-60825. Een overzicht van deze huidige Europese normen wordt in bijlage I gegeven. Voor die stralingsgroepen waarvoor geen Europese richtlijnen voorhanden zijn (bv. UV- en blauw-licht) zullen de Amerikaanse ACGIH-normen als uitgangspunt dienen (ACGIH, TLV's; dus geen officiële Nederlandse norm). Omdat het hierbij gaat om straling met diverse golflengten zal voor iedere situatie een berekening van het risico moeten worden uitgevoerd. Een overzicht hiervan evenals enkele voorbeelden wordt in bijlage II gegeven. Omdat de bepaling van de maximale blootstellingslimieten bij straling gecompliceerd is zal in deze handleiding ook aangegeven worden hoe met behulp van enkele procesparameters een veilige werkafstand voor werknemers berekend kan worden. Hierdoor hoeft de straling niet per situatie afzonderlijk gemeten te worden en aldus worden ingewikkelde berekeningen vermeden. Deze veilige werkafstanden zijn een uitstekend uitgangspunt om veiligheidsmaatregelen binnen een werkplek op te baseren.

Internationale veiligheidsaanbevelingen voor lasers zijn met name gericht op het volledig afschermen van de laserbundel. Onder normale, ongestoorde productieomstandigheden is het

¹ Voor zowel de wettelijke grenswaarde als de MAC-waarde geldt de volgende definitie:

De maximale aanvaarde concentratie van een gas, damp, nevel of van een stofvormig agens in de lucht op de werkplek. Bij de vaststelling ervan wordt zoveel mogelijk als uitgangspunt gehanteerd dat die concentratie bij herhaalde expositie ook gedurende een langere tot zelfs een arbeidsleven omvattende periode in het algemeen de gezondheid van de werknemers en zijn nageslacht niet benadeelt. Uitgaande van deze definitie komt de wettelijke grenswaarde tot stand via een drietrapsprocedure, waarbij een gezondheidkundig onderbouwde advieswaarde getoetst wordt op de sociaal-economische aspecten en/of technische haalbaarheid. Bij de MAC-waarden gaat het om een bestuurlijk vastgestelde norm, wat er op neerkomt dat deze normen meestal zijn overgenomen van in het buitenland gebruikte normen (P-blad 145).

² Bij kankerverwekkende stoffen wordt een onderscheid gemaakt tussen genotoxische en niet-genotoxische (epigenetische) stoffen. Bij blootstelling aan genotoxische stoffen bestaat het gevaar voor beschadiging van het erfelijk materiaal. Aangenomen wordt, dat iedere mate van blootstelling aan deze stoffen tot kanker kan leiden. Dit houdt in, dat maatregelen moeten worden getroffen teneinde de blootstelling aan deze stoffen zoveel mogelijk te voorkómen.

doorgaans goed mogelijk met een volledige afscherming te werken. In de praktijk blijken niet alle bewerkingsstations voorzien te zijn van een volledige afscherming.

Bij verschillende activiteiten (zoals uitlijnen, focuseren, afregelen en verhelpen van storingen in de produktie-afloop) is het nodig de afscherming (geheel of gedeeltelijk) te verwijderen. De normering biedt door slechts te verwijzen naar procedures voor deze gevallen echter te weinig houvast. Uit de case-studies blijkt dat technische voorzieningen de veiligheid bij deze activiteiten kunnen verhogen.

Materiaalbewerking met lasers is een nieuwe technologie. Voor tal van bewerkingen zijn de beste instellingen niet algemeen bekend. Dit leidt er toe dat de optimale instellingen van de laser door bedrijven experimenteel bepaald moeten worden. Door de aard van dit werk zijn de veiligheidsrisico's relatief hoog.

Geconcludeerd kan worden dat de NEN-EN 60825 (identiek aan IEC 825) normen niet voldoende zijn voor alle gebruikssituaties. Voor praktische toepassing is een aanvulling nodig die met name gericht is op:

- specifieke gezondheidsrisico's van de bewerkingen;
- voorzieningen en werkmethoden methoden voor het veilig uitlijnen, focuseren en instellen van de uitkoppelspiegels.

Voor wat betreft de werkplek gelden staande normen en richtlijnen voor veilige inrichting van werkplekken, hanteren van gassen onder druk en het werken met hoogspanning.

2. Lasers en belastende factoren

2.1. Lasertypes

Sinds de uitvinding van de laser in 1960 zijn er talloze typen lasers ontwikkeld. In de materiaalbewerking worden slechts een beperkt aantal lasertypes en toepassingen gebruikt, dit vanwege het benodigde hoge vermogen. De belangrijkste types zijn: de CO₂-laser en de Nd:YAG-laser. Daarnaast worden ook de eximeer-laser, de robijnlaser, de argon-laser en de metaaldamp-laser gebruikt voor materiaalbewerking. In de laatste jaren neemt met name het gebruik van eximeer-lasers in de industrie toe. In deze Handleiding zal de aandacht in hoofdzaak uitgaan naar de CO₂-laser en de Nd:YAG-laser en in mindere mate naar de eximeer-laser. Een overzicht van de voor de gezondheid en veiligheid belangrijke eigenschappen van de diverse lasers wordt in tabel 1 gegeven.

Tabel 1 **Overzicht van de voor de veiligheid en gezondheid van belang zijnde typische eigenschappen van industriële lasers**

Type laser	Werkwijze	Golflengte (nm)	Vermogen of Pulsenergie	Pulsduur
CO ₂	continu	10600	tot 15 kW	n.v.t.
	gepulst		tot 100 J	4 µs
Nd:YAG	continu	1064	tot 5 kW	n.v.t.
	gepulst	1064	tot 20 J/puls	10 ms
	Q-switched	1064	1 mJ/puls	1 µs
Eximeer				
ArF	gepulst	193	500 mJ/puls	20 ns
KrF	gepulst	248	1000 mJ/puls	20 ns
XeCl	gepulst	308	1000 mJ/puls	25 ns
XeF	gepulst	351	1000 mJ/puls	20 ns

2.2. Laserbewerkingen

Het aantal bewerkingsmogelijkheden in de industrie is legio. Veel toegepaste bewerkingen zijn: het boren, snijden, lassen, graveren, frezen, harden en cladden van een groot aantal verschillende materialen. Te bewerken materialen zijn: diverse metalen (zoals (roestvrij) staal, aluminium en koper), diverse kunststoffen (zoals plexiglas, polystyreen, polycarbonaat, Teflon en ABS), hout, papier, textiel, keramische materialen en laminaten (combinatie metaal-kunststof).

Gezien het grote verschil in bewerkingen en materiaal soorten zijn de aan de bewerking verbonden risico's verschillend. De aard van de vrijkomende stoffen is sterk afhankelijk van het te bewerken materiaal en de vrijkomende straling hangt af van het soort laser waarmee de bewerking wordt uitgevoerd in combinatie met het te bewerken materiaal. Aan deze verschillen wordt in deze handleiding speciale aandacht geschonken.

2.3. Belastende factoren

De twee belangrijkste belastende factoren zijn in de vorige paragraaf al kort genoemd, te weten vrijkomende stoffen en straling. Aan deze twee factoren zal de meeste aandacht worden besteed, daarnaast zal echter ook kort aandacht worden besteed aan de risico's van het werken met hoogspanning. Naast deze risico's zijn er ook nog een aantal andere die in deze handleiding niet ter sprake zullen komen, te weten: hete en koude vloeistoffen en gassen, vloeistoffen en gassen onder hoge en lage druk en brand- en explosiegevaar.

Vrijkomende stoffen

Het vrijkomen van stoffen is geheel afhankelijk van het te bewerken materiaal. Dit houdt in dat voor ieder materiaal een ander risicopatroon geldt, waardoor algemeen geldende uitspraken hierover niet gedaan kunnen worden. Er kan uiteraard een risicoschatting gemaakt worden aan de hand van de toxiciteit van de in het materiaal voorkomende stoffen maar deze schatting heeft slechts een zeer beperkte voorspellende waarde. Het feit dat een bepaalde stof onderdeel uitmaakt van een materiaal betekent niet per definitie dat deze stof bij laserbewerking ook daadwerkelijk (en in dezelfde verhouding) in de lucht vrijkomt. Daarnaast ondergaan de vrijkomende stoffen in de lucht (eventueel onder invloed van het hulpgas) reacties, waardoor nieuwe stoffen ontstaan die in het oorspronkelijke materiaal niet voorkomen. Zo is van verschillende kunststoffen bekend dat bij laserbewerkingen meer dan honderd verschillende stoffen in de omgevingslucht vrijkomen die niet in het te bewerken materiaal voorkomen. Voor blootstelling van werknemers zijn naast de hierboven genoemde factoren ook andere factoren van belang, zoals: de aard en plaatsing van de afzuiging, de geheel of gedeeltelijke omkasting van de laser, de afstand van de werknemer tot de bron en de grootte van de werkruimte.

Straling

Blootstelling van werknemers aan straling kan op twee verschillende manieren gebeuren. Ten eerste kan blootstelling aan diffuus of spiegelend gereflecteerde straling optreden. De mate van vrijkomen van deze straling is afhankelijk van het proces, maar in grotere mate van de reflectie en de vorm van het te bewerken materiaal. De golflengte van de straling is hierbij gelijk aan de golflengte van de primaire laserbundel (zie tabel 1). Men spreekt van diffuus gereflecteerde straling als de straling zich diffuus over de ruimte verspreidt. De stralingssterkte is maximaal in een richting loodrecht op het oppervlak en minimaal in een richting evenwijdig aan het oppervlak. Men spreekt van spiegelende reflectie indien de vrijkomende straling in één bepaalde richting in de werkruimte gereflecteerd wordt. In de praktijk zullen veelal mengvormen optreden. Met name bewerkingen waarbij een al dan niet golvend smeltbad aanwezig is (cladden, legeren, oppervlakte-omsmelten) kunnen veel spiegelende reflecties veroorzaken.

Ten tweede kan straling vrijkomen als gevolg van thermisch-fysische processen in de damp of plasma, de zogenaamde pluimstraling. In de damp boven het oppervlak kunnen gedurende bewerkingen temperaturen ontstaan boven de 10^4 K. Onder deze omstandigheden kunnen hoge nivo's thermische straling vrijkomen, waarbij de golflengte tot in het UV gebied kan doorlopen. Een bekend voorbeeld van pluimstraling is de intens blauwe pluim die boven het oppervlakte ontstaat bij het lassen. De straling wordt uitgezonden in een bepaald golflengtegebied, afhankelijk van de bewerking, het soort laser en materiaalsoort, hulpgas enz.

Elektrische hoogspanning

Hoewel de veiligheidsrisico's voor werknemers en derden van elektrische hoogspanning bij het gebruik van lasers in dit rapport niet is onderzocht, is het zinvol hierover een aantal algemene opmerkingen in dit rapport op te nemen.

Bij veel lasers wordt gebruik gemaakt van hoogspanning. Onder normale situaties brengt dit geen verhoogde risico's met zich mee, mits de veiligheidsvoorschriften in acht worden genomen. Gebeurt dit niet, of vindt er onderhoud of reparatie aan de apparatuur plaats dan is er sprake van een verhoogd risico.

3. Gezondheidseffecten

3.1. Vrijkomende stoffen

Gezien de grote diversiteit aan materialen die met lasers bewerkt kunnen worden is het aantal stoffen dat vrij kan komen zeer groot. Een aantal daarvan kan een concentratie bereiken die gevaarlijk is voor de gezondheid. Een opsomming van alle mogelijke vrijkomende stoffen en de daarbij behorende gezondheidsrisico's bij het bewerken van diverse materialen is dan ook ondoenlijk.

Acute effecten van vrijkomende stoffen vinden meestal plaats binnen 24 uur na de blootstelling. De effecten treden op na één, meestal hoge dosis en zijn van korte duur. De dosis van een stof is de totale hoeveelheid van een stof die het lichaam binnen krijgt. In het geval van acute effecten is dat dus een enkele hoeveelheid.

Chronische effecten ontwikkelen zich langzaam en zijn van lange duur. De effecten treden op na langdurige blootstelling en dus is naast de concentratie de tijd van belang. Vaak zijn chronische effecten niet meer te genezen (niet reversibel effect).

Voorbeelden van acute effecten zijn te vinden bij calamiteiten, wanneer plotseling een (grote) hoeveelheid van een stof vrijkomt of een korte blootstelling aan een intense straling.

Chronische effecten treden meestal op na bijvoorbeeld langdurige blootstelling in de dagelijkse arbeid aan stoffen of straling (bruinverbranden in de zon, een reversibel effect).

Tabel 2 Vrijkomende stoffen bij het bewerken van diverse materialen

<i>Materiaal</i>	<i>Vrijkomende stof</i>	<i>Norm¹ (mg/m³)</i>	<i>Doelorgaan</i>	<i>Kanker-verwekkend</i>
Roestvrij staal	chrom	0.01 - 0.5²	huid, long, nier	+ (long)
	nikkel	0.1 - 1.0 ³	huid, long	+
Aluminium	aluminium	10	long	(ademhaling)
Koper	koper	0.2 - 1.0 ⁴	huid, long	
Polyetheen	1,3-butadiëen	200		+
	formaldehyde	1.5	huid, ademhaling	
	acroleïne	0.25		
	benzo(a)pyreen	-		+
	alifatische kws	-		
	totaal stof	10		
Polypropeen	benzeen	7.5 ⁵	bloed zenuwstelsel	+(leukemie)
	1,3-butadiëen	200		+
	formaldehyde	1.5	huid, ademhaling	
	benzo(a)pyreen	-		+
	totaal stof	10		
	Polystyreen	benzeen	7.5 ⁵	bloed zenuwstelsel
styreen		105	zenuwstelsel, nier	
benzeen-derivaten		-		+
totaal stof		10		

1: vet gedrukt; wettelijke grenswaarde, niet vet gedrukt; MAC-waarde

2: 0.01 mg/m³; kankerverwekkende verbindingen (paragraaf 4.1) en onbekende mengsels

3: 0.1 mg/m³ water oplosbaar nikkel

4: 0.2 mg/m³ voor rook en 10 mg/m³ voor inhaleerbaar stof

5: per 1-1-1998: 3.25 mg/m³

<i>Materiaal</i>	<i>Vrijkomende Stof</i>	<i>Norm¹ (mg/m³)</i>	<i>Doelorgaan</i>	<i>Kanker-verwekkend</i>
Polycarbonaat	benzeen	7.5 ⁵	bloed zenuwstelsel	+(leukemie)
	creolen	22	nier	
	koolmonoxide	29		
		(3 waarden) o.a. cardiovasculair		
	benzo(a)pyreen totaal stof	- 10		+
Polymethyl- methacrylaat (plexiglas, acryl)	formaldehyde	1.5	huid, ademhaling	
	acroleïne	0.25		
	methyl- methacrylaat 410		huid, long	
	styreen	105	zenuwstelsel, nier	
	tolueen	150	zenuwstelsel	
	benzeen	7.5 ⁵	bloed zenuwstelsel	+(leukemie)
	totaal stof	10		
Polyvinyl- chloride	benzeen	7.5 ⁵	bloed zenuwstelsel	+(leukemie)
	1,3-butadien	110		+
	formaldehyde	1.5	huid, ademhaling	
	zoutzuur	7 C ⁶		
	benzo(a)pyreen	-		+
	totaal stof	10		

1: vet gedrukt; wettelijke grenswaarde, niet vet gedrukt; MAC-waarde

2: 0.01 mg/m³; kankerverwekkende verbindingen (paragraaf 4.1) en onbekende mengsels

3: 0.1 mg/m³ water oplosbaar nikkel

4: 0.2 mg/m³ voor rook en 10 mg/m³ voor inhaleerbaar stof

5: per 1-1-1998: **3.25 mg/m³**

6: MAC-ceiling; geen 8-uurs tijdgewogen gemiddelde, maar maximale blootstelling.

Het kan zijn dat een aanvankelijk veilig geachte werksituatie na verloop van enkele jaren toch nadelige gezondheidseffecten teweeg brengt. In de normen zoals die door de Nederlandse overheid worden gehanteerd wordt met deze chronische effecten rekening gehouden. Een

blootstellingsnivo dat geen acute effecten geeft maar wel boven de norm ligt kan dus op den duur nadelige effecten geven.

In tabel 2 staat een overzicht van de materialen die in meer of mindere mate onderzocht zijn naar het vrijkomen van stoffen. Uit deze groep van produkten is aan de hand van de verschillen in toxiciteit, een selectie gemaakt voor nader onderzoek. Naast de materialen staan ook de vrijkomende stoffen met hun wettelijke grenswaarden en carcinogeniteit vermeld.

3.2. Straling

Er zijn veel biologische effecten bekend die door straling veroorzaakt worden en die vooral afhankelijk zijn van de golflengte en (soms) de intensiteit³. Het golflengtegebied waarbinnen de laserstraling valt is de niet-ioniserende straling (met uitzondering van enkele excimeerlasers met een golflengte kleiner dan 200 nm).

Dit houdt in dat de straling niet in staat is om atomen in het lichaam te ioniseren. Daarnaast heeft niet-ioniserende straling slechts een gering doordringingsvermogen in het lichaam (maximaal enkele mm). Het gevolg hiervan is dat niet-ioniserende straling alleen effect heeft op de huid en de ogen. Bij langdurige blootstelling aan hoge intensiteiten is de doordringing door secundaire effecten groter (onder invloed van warmtetransport).

In figuur 1 staat een overzicht van de effecten van niet-ioniserende straling op zowel de huid als de ogen. Omdat de effecten afhankelijk zijn van de golflengte geldt voor elke golflengte een andere maximaal toegestane blootstelling (MPE, Maximum Permissible Exposure). Deze maximale toegestane blootstelling aan straling verschilt voor wat betreft ogen en de huid alleen voor het golflengte gebied van 400 tot 1400 nm. In dit gebied geldt namelijk dat de straling die op het oog valt, wordt gefocuseerd op het netvlies⁴, waardoor de stralingsbelasting een factor 10^6 kan toenemen. Voor het golflengtegebied tussen 400 en 700 nm (zichtbaar licht) biedt het oog een eigen bescherming door middel van de "oogsluit-reflex" (0.25 s). Deze reflex beschermt echter alleen bij relatief lage intensiteit. Met name bij gepulste lasersystemen wordt de schadedrempel in tijdspannen korter dan 1 ms overschreden en biedt de oogsluitreflex geen bescherming.

Straling als gevolg van lasers kan onderverdeeld worden in pluimstraling (UV- en zichtbaar licht, afhankelijk van materiaal en proces) en gereflecteerde straling (voor zowel CO₂- als Nd:YAG-laser: IR-straling).

³ Effecten van niet-ioniserende straling kunnen onderverdeeld worden in fotochemische en fothermische schade. Voor fotochemische effecten geldt dat het effect uitsluitend afhankelijk is van de stralingsdosis. Een kortdurende, hoge blootstelling kan dezelfde effecten teweeg brengen als een langdurige lage blootstelling. Voor fothermische effecten geldt dat de schade afhankelijk is van de stralingsintensiteit. Er moet een drempelwaarde overschreden worden alvorens een effect kan optreden.

⁴ Straling met een golflengte tussen de 400 en 1400 nm kan het hoorn- en bindvlies van het oog passeren zonder geabsorbeerd te worden. De lens zorgt er vervolgens voor dat de invallende straling sterk gefocuseerd op het netvlies wordt weergegeven. Hierdoor kan een verhoging van de intensiteit met een factor 500.000 optreden.

UV-licht

UV-licht heeft een golflengte tussen de 1 en 400 nm. Door deze lage golflengte is UV-straling voor het oog niet waarneembaar, waardoor de oogsluitreflex niet optreedt.

Voor een beschrijving van de biologische effecten kan het golflengte gebied in drie delen worden opgesplitst. Straling met een golflengte kleiner dan 190 nm wordt in de lucht snel geabsorbeerd waardoor het in het algemeen geen biologische effecten optreden. UV-licht met een golflengte tot circa 315 nm wordt geabsorbeerd in het hoorn- en bindvlies. Dit kan bindvliesontsteking (conjunctivitis) en hoornvliesontsteking (fotokeratitis) tot gevolg hebben. Fotokeratitis staat ook bekend als 'sneeuwblindheid' of 'lasogen' en manifesteert zich ongeveer 6 tot 12 uur na het overschrijden van de drempelwaarde. De symptomen, zoals tranende ogen en pijn verdwijnen meestal

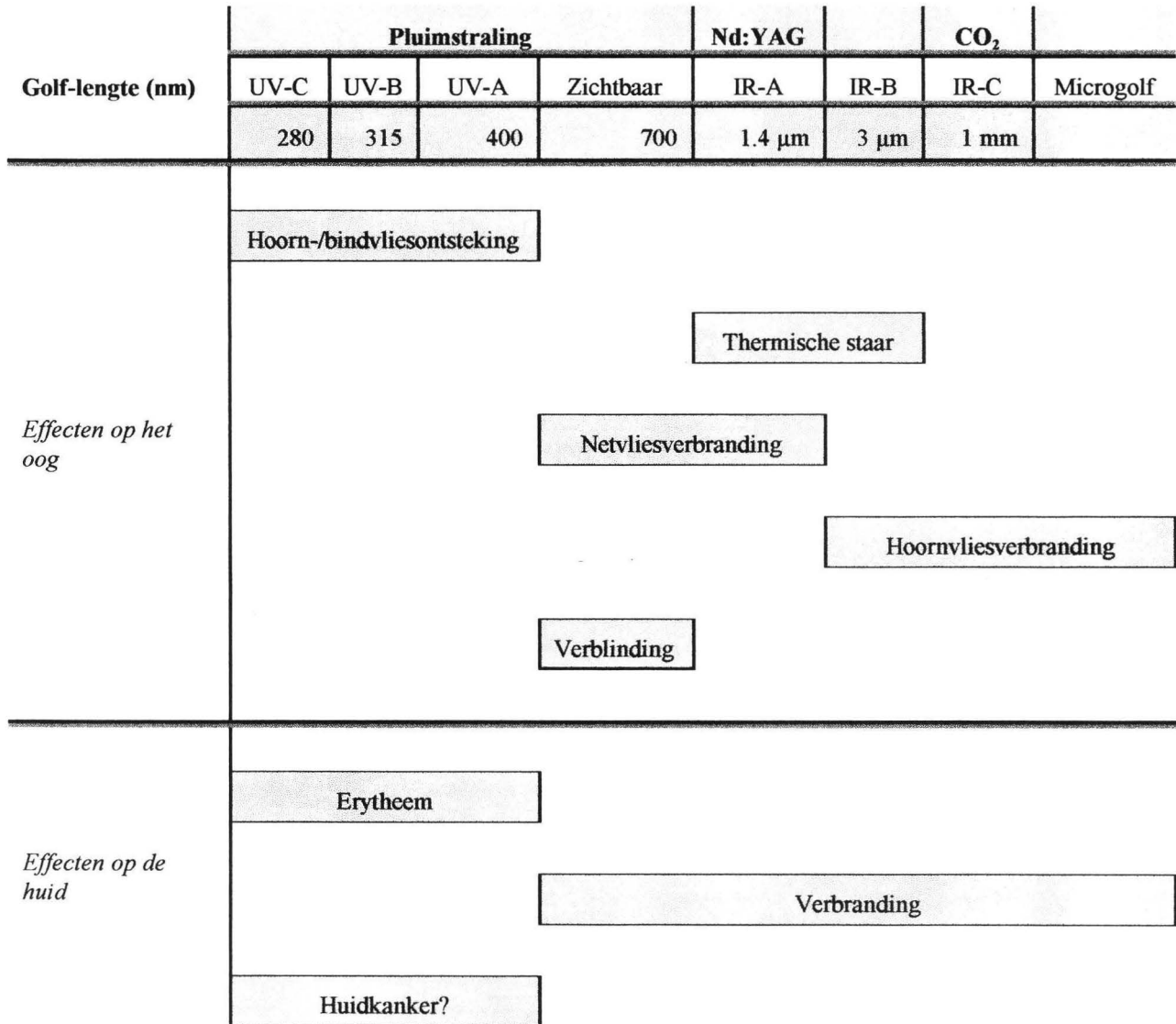
binnen 48 uur na beëindiging van de blootstelling. Bij een aanzienlijke overschrijding van de drempelwaarde kunnen de ioniserende eigenschappen van de straling optreden. Fotochemische effecten van de dieper gelegen delen van het hoornvlies kunnen dan optreden, waardoor blijvende schade kan ontstaan.

UV-straling met een golflengte tussen de 290 en 400 nm kan het hoornvlies passeren en wordt geabsorbeerd in de ooglens waardoor plaatselijke vertroebelingen (staar) kunnen optreden. Dit effect is meestal acuut (na blootstelling van enkele dagen), en houdt bij lage doses slechts enkele dagen aan. Bij hogere doses kan deze schade echter ook blijvend zijn. Het blijkt dat bepaalde soorten van staar veroorzaakt kunnen worden door een cumulatief blootstelling over een groot aantal jaren.

Bij zeer hoge blootstelling van golflengtes tussen 400 en 550 nm zou verbranding kunnen optreden van het netvlies gedurende de 0.25 s dat het oog nog "open staat". Gezien de aanwezigheid van de oogsluitreflex en het mechanisme van fothermische schade is dit echter een kortdurende blootstelling (onder drempelwaarde geen effect, ook niet bij herhaalde langdurige blootstelling). Daarnaast blijkt dat bij straling met een golflengte tussen 400 en 550 nm ook fotochemische beschadiging van het netvlies plaats kan vinden. Bij fotochemische blootstelling is sprake van een cumulatief effect; over het mechanisme hiervan is nog weinig bekend.

De straling van de Nd:YAG-laser bevindt zich in het IR-A gedeelte van het spectrum. Van deze straling is bekend dat ze zowel effecten kunnen hebben op het netvlies als de lens. Ook voor IR-A geldt dat na jarenlange blootstelling staar kan ontstaan. De straling van CO₂-lasers valt in het IR-C gebied en deze warmtestraling heeft alleen blootstelling van het hoornvlies plaats. De effecten van deze straling zijn meestal niet blijvend indien de verbranding niet al te ernstig is. Evenals bij vrijkomende stoffen is het bij straling van belang een onderscheid te maken tussen kortdurende en langdurende (meestal van lage intensiteit).

Figuur 1 Effecten van niet-ioniserende straling op de ogen en de huid



Kortdurende blootstelling van hoge intensiteit treed op indien er gedurende het proces iets fout gaat, waardoor de werknemer of de onderhoudsmonteur in direct contact komt met de laserstraal, of indien de stralingsintensiteit van de gereflecteerde straling zo hoog is dat zij de

drempelwaarde voor acute schade overschrijdt. Op deze stralingsrisico's zal in hoofdstuk vijf nader worden ingegaan. Langdurige blootstellingen aan straling eisen een geheel andere aanpak gezien de vaak vele malen lagere stralingsnivo's die nodig zijn om deze effecten op langere termijn te veroorzaken.

Door aan de hand van enkele procesparameters een veilige werkafstand te berekenen (en deze als minimale werkafstand te hanteren) kunnen de kansen op nadelige effecten op termijn geminimaliseerd worden (zie hoofdstuk vijf).

Van zowel UV-, blauw- en IR-A straling is bekend dat na jarenlange (lage) blootstelling nadelige gezondheidseffecten op kunnen treden.

Naast de hierboven genoemde chronische effecten op de ogen zijn er ook een tweetal chronische effecten op de huid bekend: versnelde veroudering en huidkanker (beide veroorzaakt door UV-straling).

4. Gezondheidsrisico's bij verschillende laserprocessen en materialen

Bij laserbewerkingen zorgt elke bewerking en elk materiaal voor andere gezondheidsrisico's voor de betrokken werknemers. In dit hoofdstuk zal een overzicht worden gegeven van de onderzoeken die in het kader van dit project, maar ook in het kader van andere EUREKA projecten zijn uitgevoerd.

De diverse risico's worden per bewerking beschreven, waarbij steeds een opsplitsing is gemaakt in de gezondheidsrisico's van de vrijkomende stoffen en de stralingsrisico's.

Bij de meeste bedrijven worden de lasers voor verschillende doeleinden gebruikt. Dit betekent dat met één laser verschillende bewerkingen met verschillende materialen worden gedaan. Een voordeel is dat de blootstelling aan bepaalde stoffen meestal van beperkte (tijds)duur is. Een nadeel is echter dat de werking van bepaalde stoffen elkaar kunnen aanvullen, of zelfs versterken⁵.

4.1. Snijden van metalen

Het snijden van metalen is een van de bewerkingen die zeer veel met behulp van lasers wordt gedaan.

Belangrijke metaalsoorten die bewerkt worden zijn ongelegeerd of lagg gelegeerd staal, roestvrij staal (RVS) en aluminium. Voor de stralingsrisico's is er weinig verschil tussen de metaalsoorten. De bepalende factor is de reflectiecoëfficiënt van het metaal. Voor vrijkomende stoffen geldt dat bewerking van RVS een veel grotere kans op nadelige gezondheidseffecten inhoudt vanwege de in deze metaalsoort voorkomende chroom- en nikkelverbindingen.

Toxische effecten

⁵ Stoffen die op hetzelfde doelorgaan werken, kunnen elkaar versterken (potentiëring). Stoffen kunnen echter ook een synergistisch effect hebben, dat wil zeggen het effect van gecombineerde blootstelling aan twee of meer stoffen groter is dan verwacht mag worden op grond een eenvoudige optelling van de effecten van de stoffen afzonderlijk.

Van sommige chroom- en nikkel verbindingen (chroom-III-chromaat, chroom-trioxide, calciumchromaat, strontiumchromaat, zinkchromaat, nikkelmonoxide en nikkeldioxide) is bekend dat ze kankerverwekkend voor de mens zijn. Uit literatuur blijkt dat het met name de chroom(VI)verbindingen en niet de nikkel-verbindingen zijn die een potentieel gezondheidsrisico vormen voor de betrokken werknemers (v.d. Wal, 1983). Emissiemetingen (metingen waarbij op een korte afstand van de bron de hoeveelheid vrijkomende stoffen wordt gemeten) hebben aangetoond dat de hoeveelheid chroom(VI) verbindingen die bij het snijden van roestvrij staal vrijkomen, een potentieel gezondheidsrisico voor de gezondheid van de werknemers vormen. Deze emissiemetingen zijn onder de meest ongunstige omstandigheden uitgevoerd (worst case), waarbij geen afzuiging gebruikt werd en waarbij zuurstof als snijgas diende. Uit de literatuur is bekend dat het gebruik van zuurstof als snijgas de emissie van schadelijke stoffen met een factor tien verhoogt (vergeleken met stikstof als hulpgas). Dit wordt verklaard doordat metallisch Cr door zuurstof geoxideerd wordt tot Cr(VI). Onder worst case condities blijven de blootstellingsnivo's van de werknemers (afstand tot bron circa 2 m) beneden de wettelijke grenswaarden. Bij werknemers in bedrijven, waar gewerkt werd met lokale afzuiging en stikstof als snijgas, werden nauwelijks meetbare concentraties chroom gevonden. Ondanks deze lage blootstelling in normale bedrijfssituaties blijft de kans op het vrijkomen van kankerverwekkende stoffen aanwezig. Hierdoor moeten alle maatregelen die technisch mogelijk zijn getroffen worden om de blootstelling te minimaliseren. Mede door dit mogelijk vrijkomen van kankerverwekkende stoffen wordt aanbevolen om RVS alleen te snijden indien de laser voorzien is van een goede afzuiging en dient stikstof te gebruiken gebruikt als snijgas.

In alle gevallen dient bij het snijden van roestvrij staal gestreefd te worden naar nul-blootstelling.

Bij het snijden van ongelegeerd staal zijn de kansen op gezondheidsrisico's vele malen kleiner; kankerverwekkende stoffen komen zover als bekend niet vrij.

Straling

Er is weinig onderzoek gedaan naar de stralingsrisico's bij het snijden van metalen. De vrijkomende stralingsintensiteiten zijn aanzienlijk kleiner dan bij andere materiaalbewerkingen (bv. het lassen van metalen) omdat er geen pluimstraling ontstaat.

4.2. Lassen van metalen

Het voordeel van lassen met behulp van een laser in vergelijking met conventionele lasmethoden is de grotere snelheid en precisie waarmee gelast kan worden en de geringe warmte-inbreng. In principe kunnen alle metalen die op conventionele manier gelast worden ook met behulp van lasers gelast worden. Ook voor deze bewerking geldt dat ongelegeerd en roestvrij staal en aluminium de meest toegepaste materiaalsoorten zijn.

Toxische effecten

Van conventionele lasmethoden is bekend dat de blootstelling aan vrijkomende stoffen hoog kan zijn. Uit onderzoek uitgevoerd in het kader van het Europese EUREKA project blijkt dat de immisie (hoeveelheid vrijkomende deeltjes per tijdseenheid) bij laser-lassen een factor tien lager is dan bij lasersnijden (zie paragraaf 4.1.). Gezien de blootstellingsnivo's bij het snijden kan hieruit worden geconcludeerd dat de blootstelling van werknemers bij het lassen laag is, hoewel ook hier geldt dat mogelijk kankerverwekkende stoffen in lage hoeveelheden kunnen vrijkomen. Door dit mogelijk vrijkomen van kankerverwekkende stoffen is het toch in het belang van de werknemer om de veiligheidsmaatregelen op een zo hoog mogelijk peil te houden. Dit betekent dat ook bij lassen naar nul-blootstelling gestreefd dient te worden.

Straling

Bij conventioneel lassen treden hoge stralingsblootstellingsnivo's als gevolg van vlamboogstraling op, waarbij met name UV-straling en blauw licht-straling (zgn. "blue light hazard") boven de norm kunnen komen. Bij laserlassen ontstaat een met de vlamboog vergelijkbare straling, de zogenaamde pluimstraling. De maximum intensiteit bij het lassen met een CO₂-laser ligt bij een golflengte van 370 nm (blauwe pluim) en dit is vergelijkbaar met de straling bij conventioneel lassen. Bij de Nd:YAG-laser ontstaat een witte pluim, waarin nauwelijks UV- en blauw licht voorkomen (piek 900 nm).

Bij de CO₂-laser ontstaan stralingsnivo's voor zowel UV- als blauw licht die de normen voor 8 uren werkdagen ruim overschrijden. De maximale verblijftijden berekend aan de hand van de Amerikaanse ACGIH-normen zijn voor UV-straling enkele minuten; maximaal 2 minuten onder worst case condities. Voor blauw licht zijn deze maximale verblijftijden in de orde grootte van enkele seconden; maximaal 4 seconden onder worst case condities.

Een aantal procesparameters blijkt een aanzienlijke invloed op de stralingsintensiteit te hebben. Deze variabelen zijn: het vermogen, de kijkhoek, het soort hulpgas en de focusering. Indien het lasproces geoptimaliseerd wordt, blijkt dat onder deze optimale omstandigheden de pluimstraling het kleinst is. Lassen met een laag vermogen geeft de minste pluimstraling; de soort van het te bewerken materiaal blijkt niet van invloed.

Bij lassen met CO₂-lasers dienen maatregelen getroffen te worden om de blootstelling aan UV en blauw licht te verminderen (zie hoofdstuk vijf).

Reflecterende straling (al of niet diffuus) is de enige soort straling waarvan de intensiteit hoog genoeg is om een mogelijk veiligheidsrisico te kunnen vormen. Een verhoogde mate van reflectie kan optreden bij het inkoppelen (kortdurend), bij slechte positionering van de werkstukken.

De mate van blootstelling hangt van een aantal parameters af. Aan de hand van deze parameters kunnen veilige werkafstanden berekend worden. Deze veilige werkafstanden kunnen niet alleen voor de diffuus gereflecteerde straling berekend worden, maar ook voor de

al of niet gefocusseerde bundel. In hoofdstuk vijf zal worden ingegaan op de berekening van veilige werkafstanden.

4.3. Snijden van polymethylmethacrylaat (plexiglas) en polystyreen

Het snijden van kunststoffen wordt, gezien de aanwezige maar onbekende gezondheidsrisico's nog betrekkelijk weinig in de industrie toegepast. De vraag om kunststoffen met lasers te bewerken nemen echter steeds meer toe. De kunststoffen die tot op heden het meest in de industrie worden gesneden zijn: polymethylmethacrylaat (PMAA, plexiglas, acryl), polystyreen en polycarbonaat. Zowel plexiglas als polystyreen zijn onderzocht.

Toxische effecten

Het is bekend dat bij verhitting van kunststoffen een groot aantal vrijkomende stoffen vrijkomen, zo ook bij lasersnijden. Naast de chemische stoffen speelt bij lasersnijden van kunststoffen ook de stofontwikkeling een aanzienlijke rol in de belasting van de werknemers. Uit onderzoek blijkt dat bij het snijden van kunststoffen niet alleen het optreden van gezondheidseffecten van belang is, maar ook het optreden van hinder¹. Bij het snijden van kunststoffen uit deze hinder zich met name in stank en sterke rookontwikkeling. Uit onderzoek blijkt, dat bij bedrijven waar een goede afzuiging gebruikt wordt, de blootstelling laag is en de hinder minimaal. Net als bij RVS geldt ook hier dat kankerverwekkende stoffen in kleine hoeveelheden vrij kunnen komen. Hierdoor moeten alle maatregelen getroffen worden die technisch mogelijk zijn om de blootstelling te minimaliseren; dus gestreefd dient te worden naar nul-blootstelling. Anders dan bij de metalen hebben veranderingen van procesparameters weinig invloed op het vrijkomen van stoffen. Onder alle omstandigheden moet vermeden worden dat kunststoffen zonder een goede afzuiging bewerkt worden.

4.4. Oppervlaktebehandelingen van metalen

Onder oppervlakte behandelingen wordt een aantal verschillende bewerkingen met lasers aangeduid. Een aantal van deze behandelingen (zijnde de meest voorkomende) zullen in deze paragraaf nader besproken worden; graveren, frezen, harden en cladden.

4.4.1. Graveren

De blootstelling aan vrijkomende stoffen bij het graveren met Nd:YAG-lasers ligt aanzienlijk lager dan bij het snijden. Er treden weinig risico's op voor de gezondheid t.g.v blootstelling aan die stoffen.

4.4.2. Frezen

De blootstelling aan vrijkomende stoffen bij het frezen ligt net als bij graveren aanzienlijk lager dan bij het snijden. Er treden dus ook minder risico's op voor de gezondheid dan bij het snijden t.g.v. blootstelling aan die stoffen.

Bij het frezen met Nd:YAG-lasers is geen schadelijke pluimstraling gemeten, wel is er een kans op diffuse reflectie. Gebleken is dat de blootstelling aan diffuus gereflecteerde straling bij de Nd:YAG-laser onder de norm blijft. Het kan niet zonder meer worden aangenomen dat dit voor alle situaties geldt. Er kunnen veilige werkafstanden berekend worden, waarbij de veilige werkafstanden kleiner kunnen zijn dan bij het snijden, omdat het frezen bij een lager vermogen gebeurt dan het snijden.

4.4.3. Harden

De blootstelling aan vrijkomende stoffen bij het harden ligt aanzienlijk lager dan bij het snijden. Er treden weinig risico's op voor de gezondheid t.g.v. blootstelling aan die stoffen.

4.4.4. Cladden

De blootstelling aan vrijkomende stoffen bij het cladden ligt aanzienlijk lager dan bij het snijden. Er treden weinig risico's op voor de gezondheid t.g.v. blootstelling aan die stoffen. Bij het cladden ontstaat nauwelijks pluimstraling. Wel is er een grotere kans op niet diffuse reflectie. Als gevolg van de aard van de bewerking zal de straling niet diffuus worden gereflecteerd, maar zijn er plaatsen waar de stralingsintensiteit hoger is. Deze hogere stralingsintensiteit kan een potentiële gezondheidsrisico inhouden. Over de intensiteit van deze spiegelende reflectie is echter op voorhand geen uitspraak te doen. Deze straling is proces- en geometrie-afhankelijk en kan zelfs bij hetzelfde proces per keer verschillen. Deze stralingsnivo's kunnen echter boven de norm uitkomen.

Indien de spiegelende reflectie in één bepaalde richting optreedt kan hier bij de werkplekinrichting rekening mee worden gehouden. Indien dit niet het geval is dan is afscherming van de bron (en persoonlijke beschermingsmiddelen) noodzakelijk.

5. Maatregelen ter voorkoming van blootstelling

5.1 Veilige werkafstanden

De bij laserprocessen vrijkomende straling is in meer of mindere mate divergent, dit houdt in dat de irradiantie op een bepaalde afstand van de stralingsbron afhankelijk is van deze afstand. Naarmate de afstand groter wordt zal de irradiantie kleiner worden, waarbij de mate van afname afhankelijk is van de divergentie van de straling. Op een bepaalde afstand, die per laser verschilt, zal de irradiantie gelijk zijn aan de maximaal toegestane blootstelling. Deze minimale

afstand wordt de NOHD genoemd (Nominal Ocular Hazard Distance), en het gebied hierbinnen de NHZ (Nominal Hazard Zone).

Op grond van hun divergentie kan laserstraling in drie groepen worden onderverdeeld: ongefocuseerde straling, gefocuseerde straling en diffuus gereflecteerde straling. Voor de diffuus gereflecteerde straling geldt een wiskundige relatie met de afstand tot de stralingsbron, die omgekeerd kwadratisch is, wat betekent dat bij een verdubbeling van de afstand tot de stralingsbron de irradiantie kwadratisch afneemt. Deze relatie is van een aantal parameters afhankelijk, te weten: het vermogen van de laser, de reflectiecoëfficiënt van het materiaal, de kijkhoek ten opzichte van de normaal. Met behulp van deze gegevens en de MPE voor de betreffende golflengte kan de veilige werkafstand berekend worden (zie bijlage III).

Een soortgelijke relatie geldt ook bij gefocuseerde en ongefocuseerde straling, waarbij ook de bundeldiameter, de bundeldivergentie en de brandpuntsafstand (bij gefocuseerde straling) van belang zijn.

Omdat de niet-gefocuseerde straling de minste divergentie vertoont, is hierbij de veilige werkafstand ook het grootst (tot honderden meters, zie bijlage III, tabel 5). Deze situatie komt in de materiaalbewerking echter weinig voor. De veilige werkafstanden voor gefocuseerde straling (maximaal enkele meters) en de diffuus gereflecteerde straling (meestal kleiner dan één meter) zijn aanzienlijk kleiner vanwege de grotere divergentie, en zijn in de praktijk wel van belang. Een overzicht van de berekening van veilige werkafstanden en de van belang zijnde parameters staat in bijlage III.

De veilige werkafstanden moeten niet gezien worden als een grens tussen wel en geen nadelige effecten, maar als leidraad bij het beoordelen van werksituaties. Onder alle omstandigheden geldt dat gestreefd dient te worden naar een zo hoog mogelijke veiligheid voor de werknemer. Voor pluimstraling is de berekening van veilige werkafstanden veel gecompliceerder. Dit hangt samen met het feit dat de pluimstraling in veel grotere mate afhankelijk is van het proces, waardoor een groter aantal parameters van invloed zijn. Hierdoor is het geven van een algemene formule voor de berekening van veilige werkafstanden voor alle situaties uiterst gecompliceerd. Gekozen is om bij pluimstraling niet te werken met veilige werkafstanden, maar met maximale verblijftijden. Aan de hand van de normen en de gemeten stralingsintensiteit kan de maximale verblijftijd voor één dag berekend worden (zie bijlage II).

5.2 Werkplekinrichting

Beheersing van stralingsrisico's bij bewerkingen

Tijdens normale operatie verlopen de bewerkingen in de meeste gevallen zodanig gautomatiseerd dat bij de bewerkingsplaats geen menselijke handelingen nodig zijn. In beginsel kunnen operators op enige afstand van de bewerkingsplaats verblijven. Omkasting van het bewerkingsstation werkt doorgaans niet verstorend op de bewerkingsafloop.

Het risico van straling (reflecties van de gefocuseerde bundel en van diffuse reflecties) wordt sterk gereduceerd als het laden en lossen van materialen en producten op enige afstand van de laserbundel plaatsvindt. De bepaling van een veilige afstand berust op de volgende

uitgangspunten:

- aanwezigheid van afscherming en/of afzuiging;
- alle personen bevinden zich buiten de zone waarin een 8 uur durende blootstelling aan diffuus gereflecteerde straling gezondheidsschade kan geven;
- personen bevinden zich op zodanige afstand dat de bundel buiten reikafstand is; In de meeste gevallen is de bundel geheel afgeschermd tot vlak boven het werkstuk. Bij sommige bewerkingen is dit niet het geval (bijvoorbeeld harden) en is reiken in de bundel mogelijk. Nabij de bewerkingsplaats kan de intensiteit van reflecteerde straling zeer hoog zijn.
- bij snijden kunnen onverwachte reflecties optreden. Tijdens inkoppelen wordt kortdurend veel straling gereflecteerd. Reflecties kunnen ook ontstaan als een snijoperatie is voltooid en de bundel de ondersteuning van het werkstuk of uitgesneden metaaldelen treft. De aard van de reflecties kan variëren tussen diffuus en spiegelende reflectie van de (gefocuseerde) bundel.
- bij sommige bewerkingen ontstaat pluimstraling van een zeer hoge intensiteit (lassen met CO₂ laser).

Men kan de veiligheid van een plaats voor bediening en bewaking, maar ook voor kortstandig verblijf, controleren aan de hand van onderstaande controlelijst

a. Pad van de laserbundel

Controleer het pad van de ongefocuseerde bundel.

- welke hulpmiddelen of instrumenten zijn in het pad geplaatst (sluiter, spiegels, bundelvan-ger, optiek, werkstuk)
- onder welke omstandigheden kunnen deze hulpmiddelen of instrumenten verwijderd worden
- wat wordt het pad van de laserbundel als hulpmiddelen of instrumenten zijn verwijderd (welke obstakels treft de laserbundel in dat geval)
- is de bundel afgesloten (bundelstop aanwezig) en is de lengte van de ongefocuseerde bundel niet onnodig lang.
- onder welke omstandigheden wordt de afscherming weggenomen (zijn interlocks aange-bracht die de bundel uitschakelen of naar een veilige intensiteit terugbrengen als afschermingen worden weggenomen)
- is er voor gezorgd dat voor alle situaties:
 - = de bundel buiten het bereik ligt van mensen;
 - = de bundel geen brandbare of explosieve materialen kan raken;
 - = de bundel geen reflecterende oppervlakken kan raken;
 - = het uittreden van de bundel waargenomen kan worden
 - = de bundel geen leidingen (gassen, elektriciteit) kan treffen
 - = de bundel geen besturings-, relais-, of PLC-kasten kan beschadigen;
 - = de bundel niet buiten het gebouw kan treden.

b. Gefocuseerde bundel

- wordt de bundel opgevangen ook als geen werkstuk is aangebracht
- kunnen op het werkstuk spiegelende reflecties optreden

Gevaar voor spiegelende reflecties bestaat vooral bij materialen met een hoge reflectiecoëfficiënt (metalen en in het bijzonder koper en aluminium) of als de bundelparameters slecht zijn gekozen. Vooral bij niet-vlakke geometrieën of bij verschoven werkstukken kunnen gevaarlijke reflecties ontstaan.
- kunnen spiegelende reflecties optreden tegen de werkstukondersteuning.

De ondersteuning van het werkstuk kan het best spits toelopen, zodat reflecties zoveel mogelijk in de richting van de invallende bundel doorlopen. Tijdens gebruik kunnen delen van de ondersteuning afsmelten zodat reflectie in alle richtingen kan ontstaan.
- kunnen reflecties optreden door slecht gepositioneerde werkstukken
- zijn plaatsen waar medewerkers zich doorgaans bevinden gesitueerd op een plaats waar geen stralingsintensiteiten van gevaarlijk niveau als gevolg van spiegelende reflecties kunnen voorkomen

Blootstelling aan spiegelende reflecties zullen in de meeste gevallen van korte duur zijn. Doorgaans zal een pijnreflex leiden tot verkorting van de blootstellingsduur. Indien wordt uitgegaan van een blootstellingsduur van ca. 0.3 s dan geldt een hogere waarde voor de maximaal toelaatbare blootstelling en in de nominal hazard zone kleiner (men kan zich op kortere afstand bevinden). De veilige afstand kan aan de hand van de vergelijkingen in Bijlage III bepaald worden

c. Diffuus gereflecteerde straling

- zijn voorzieningen getroffen om het effect van diffuus gereflecteerde straling te beperken

Bij snijden treedt gedurende korte tijd een hoge reflectie van invallende straling op (inkoppelen). Bij hoge vermogens kunnen ook op enige afstand stralingsintensiteiten voorkomen die een gezondheidsrisico inhouden.
- zijn plaatsen waar medewerkers zich doorgaans bevinden gesitueerd op een plaats waar geen stralingsintensiteiten van gevaarlijk niveau kunnen voorkomen.

Om de veilige plaats te kunnen bepalen wordt de Nominal Hazard Zone (NHZ) bepaald bij het bewerkingsstation. Rond de bewerkingsplaats kan een veilige afstand, uitgaande van de inrichting van de werkplek bepaald worden. Door toepassing van afschermingen kan worden bereikt dat gevaar voor blootstelling aan diffuus gereflecteerde straling sterk wordt verkleind.

d. Pluimstraling

Bij sommige bewerkingen (lassen, graveren, frezen) ontstaat pluimstraling. Bij lassen met een CO₂-laser heeft de pluim een intensiteit en golflengte die gezondheidsrisico's inhouden. Lassen met Nd:YAG lasers geeft een witte pluim van doorgaans ongevaarlijke intensiteit.

- zijn voorzieningen getroffen om blootstelling aan pluimstraling te beperken tot veilige niveaus.

Blootstelling aan pluimstraling kan effectief worden beperkt door toepassing van gekleurde perspex afscherming, waarin het blauw licht en UV straling geabsorbeerd wordt.

Beheersing van risico's bij werkvoorbereiding en onderhoud

De minste risico's ontstaan als ingrijpen in de apparatuur tot een minimum beperkt kan worden. Derhalve zijn de risico's minimaal bij:

- betrouwbare en stabiele apparatuur;
- grote produktseries;
- bekende procesinstellingen en beproefde NC-programmatuur.

Keuze en instellen laserparameters (vermogen, pulsduur, puls frequentie)

Voor de instellingen van de laser maakt men veelal gebruik van bekende gegevens, hetzij uit opgave van de fabrikant, hetzij uit eerdere ervaring.

Gebruikmaking van bekende instellingen verlaagt de risico's omdat activiteiten met groter risico vermeden worden.

Juist omdat materiaalbewerking met lasers nog sterk in ontwikkeling is, kan het voorkomen dat voor een bepaald produkt en/of een bepaalde bewerking gezocht moet worden naar goede instellingen.

Testen en bijstellen programma-afloop

In vrijwel alle situaties past men bij het snijden van materialen NC-programmering toe. Het programma bestuurt zowel de bewegingen (van XY-tafel of flying-optics) als de laserbundel. Aanbevolen wordt bij nieuwe series proefprodukt te vervaardigen en tijdens de test alle afschermingen intact te laten of op de vereiste afstand te staan. Het testen van de programma's kan het beste gebeuren met uitgeschakelde laser. In situaties waar laserapparatuur in ruimtes staan waar meer mensen werken, is het te overwegen de werkzaamheden buiten normale productie-uren te plannen.

Uitlijnen

De uitlijning van de bundel kan na enige tijd verlopen. Een slecht uitgelijnde bundel geeft kwaliteitsverlies, of leidt tot beschadiging van de nozzle. Bij het uitlijnen is het bij veel installaties nodig spiegels te verwijderen of delen van de bundelomhulling weg te nemen. Aanbevolen wordt de bundelomhulling zodanig aan te passen dat meetmiddelen in het bundelpad geplaatst kunnen worden. In situaties waar laserapparatuur in ruimtes staan waar meer mensen werken, is het te overwegen de werkzaamheden buiten normale productie-uren

te plannen.

Instellen focus

Om een goede kwaliteit van de bewerking te verkrijgen in het nodig het brandpunt goed in te stellen. Als de nozzle bij focuseren verwijderd wordt, is instelling in een laag vermogen essentieel, hoewel ook bij laag vermogen blootstelling aan te hoge stralingsintensiteit mogelijk is. Bedacht moet worden dat vervuiling van optiek verschuiving van het focuspunt veroorzaakt.

Reinigen spiegels en lenzen

Hoewel spiegels en lenzen in een afgesloten ruimte zijn aangebracht, is periodiek reinigen noodzakelijk. Vervuilde optiek leidt tot achteruitgang in de kwaliteit van de afgeleverde bundel. Tevens bestaat gevaar voor beschadiging. Bij het reinigen is het nodig de omhulling van het bundelpad te verwijderen. Hierdoor ontstaat een situatie met verhoogd risico. Er dient voor gezorgd te worden dat inschakelen van de bundel op effectieve wijze verhinderd wordt. Strikte naleving van procedures en controle of de sluiters gesloten is zijn essentieel.

Instellen bundelkwaliteit

Een nog steeds toegepaste methode om de bundelkwaliteit van een CO₂ laser te testen is het plaatsen van een blok perspex in de ongefocuseerde bundel. Men schiet enige tijd op het blok totdat een voldoende diepe inbranding ontstaat. Aan de vorm van de inbranding kan men de bundelkwaliteit beoordelen. Na bijstellen van de uitkoppelspiegel wordt de procedure herhaald. Voor een veilige werkwijze is het nodig dat:

- het blok perspex op veilige wijze in het bundelpad bevestigd wordt.
- het bundelpad beveiligd is, zodat men zich niet per ongeluk in het bundelpad kan begeven.

De beste manier is het gebruik maken van bundelanalyse-apparatuur die vast in het bundelpad kan worden aangebracht en de mogelijkheid biedt tot real-time bundelbewaking. Procedures moeten strikt worden nageleefd.

Verhelpen verstoringen in de programma-afloop

Bij het snijden is een relatief veel voorkomende storing dat de produkten scheef zakken en de snijkop raken. Aanbevolen wordt een werkstukondersteuning toe te passen die scheefzakken voorkomt.

Onderhoud, verhelpen storingen

Een belangrijk deel van de in Nederland geplaatste apparatuur is geleverd door buitenlandse fabrikanten. Hierdoor is men voor het onderhoud ook vaak aangewezen op buitenlandse

technici met geen of zeer beperkte kennis van het Nederlands. Een mogelijkheid om communicatie- en interpretatieproblemen te voorkomen is te zorgen dat de service-technici geheel zelfstandig (dat wil zeggen zonder assistentie van het bedrijf) hun werkzaamheden kunnen verrichten.

Vervangen lenzen

De lenzen van CO₂ lasers zijn in veel gevallen vervaardigd van zinkselenide (ZnSe), voorzien van een thoriumhoudende coating. Thoriumverbindingen zijn bij lage concentraties toxisch. In extreme gevallen kunnen lenzen (bijvoorbeeld na vervuiling of beschadiging) verbranden, waardoor het materiaal van de lens over een groot oppervlak verspreid kan worden. Bij het hanteren van lenzen en het opruimen van materiaal van lenzen moeten maatregelen getroffen worden om inslikken en inademen te voorkomen.

Onderzoek en ontwikkeling

Toepassing van lasers bij materiaalbewerking verkeert in Nederland voor een deel nog in een ontwikkelingsstadium. Onderzoeksinstituten en bedrijven werken aan nieuwe toepassingen en verbetering van bestaande. Er wordt naar aanleiding van toepassingsgerichte vragen gewerkt aan het verbeteren van laser-applicaties.

De consequentie hiervan is dat een deel van de tijd wordt besteed aan experimenteren met bijvoorbeeld de laserparameters. Nieuwe toepassingen kunnen aanleiding zijn voor het ontstaan van nieuwe risico's.

5.3 Afzuiging en omkasting van lasers

Het blijkt dat zowel bij de bewerking van metalen als de bewerking van kunststoffen kankerverwekkende stoffen kunnen vrijkomen. Dit betekent dat onder alle omstandigheden gestreefd dient te worden naar een minimale blootstelling. Het is de wettelijke verplichting van de werkgever om de blootstelling aan kanker-verwekkende stoffen zo veel mogelijk te voorkomen. Teneinde dit te bereiken moet een werkgever alle maatregelen treffen die technisch uitvoerbaar zijn. Vervanging van de kankerverwekkende stoffen of processen heeft hierbij de prioriteit. Bij materiaalbewerking met behulp van lasers is dit echter niet mogelijk. De werkgever zal dan een arbeidshygiënische strategie moeten volgen, gericht op het zoveel mogelijk voorkomen en beperken van de blootstelling teneinde schade aan de gezondheid van werknemers te voorkomen. De werkgever zal dusdanige maatregelen moeten nemen (zowel technisch als organisatorisch) waarbij de blootstelling zoveel mogelijk bij de bron wordt voorkomen (bv. gesloten systeem door middel van omkasting). Wanneer deze maatregelen aan de bron technisch niet uitvoerbaar zijn, of onvoldoende resultaat brengen dient afvoer van de vrijkomende kankerverwekkende stoffen plaats te vinden (de afgevoerde lucht mag uiteraard het buitenmilieu niet verontreinigen). Wanneer ook deze maatregelen niet voldoende zijn dient het aantal werknemers en de tijd benodigd voor de werkzaamheden zover mogelijk worden

teruggedrongen. De allerlaatste stap bij het terugdringen van de blootstelling is het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen.

Als gevolg van wisselende bewerkingen moeten de filters van de afzuigingen regelmatig schoongemaakt worden om verstoppingen te voorkomen. Met name bij kunststoffen is de kans op verstopping van de filters groot.

Toepassing van procedures en voorschriften

In de praktijk blijkt het niet mogelijk voor alle mogelijke gevaren volledig afdoende (technische) beveiligingen in te bouwen. Over het algemeen lijken technische veiligheidsvoorzieningen bij normale operatie voldoende om de risico's te reduceren. In gebruikssituaties anders dan de normale (ongestoorde) produktie kunnen technische voorzieningen ontoereikend zijn. Voorschriften en procedures zijn erop gericht in die gevallen de veiligheid te verhogen.

Een belangrijk nadeel van procedures en voorschriften is dat deze niet altijd strikt worden gehanteerd. Het aanbrengen van technische voorzieningen die het hanteren van complexe procedures overbodig maken kan gevaarlijke situaties voorkomen.

Uit observaties is gebleken dat laserbrillen onvoldoende worden gedragen. Er wordt door de bedrijven niet effectief toegezien op het gebruik van laserbrillen.

De noodzaak van het dragen van laserbrillen dient zo veel mogelijk door het toepassen van effectieve afscherming beperkt te worden. Daar waar dit niet mogelijk is, blijft het dragen van een veiligheidsbril noodzakelijk.

6. Lasers en risico

Uit de gegevens in hoofdstuk vier en vijf blijkt dat er een aantal blootstellingssituaties zijn waarbij sprake is van een verhoogd risico voor werknemers. In de meeste van deze gevallen zullen de normen niet worden overschreden. In sommige gevallen zullen extra voorzorgsmaatregelen getroffen moeten worden omdat er sprake is van mogelijk vrijkomende kankerverwekkende stoffen die vrijkomen.

De blootstellingssituaties waarbij sprake is van een verhoogd risico zijn:

* Snijden van RVS (en chroom-nikkel staal)

Bij het snijden van RVS blijft de blootstelling aan vrijkomende stoffen onder normale omstandigheden (gebruik van afzuiging) onder de normen. Er kunnen echter kankerverwekkende stoffen vrijkomen. Hierdoor dienen alle technisch mogelijke maatregelen getroffen te worden om de blootstelling te minimaliseren. Hierbij kan gedacht worden aan omkasting en afzuiging, daarnaast dient het gebruik van zuurstof als hulpgas bij het snijden van RVS vermeden te worden.

* Lassen van metalen

Bij het lassen van metalen ontstaat sterke pluimstraling. Bij CO₂-lasers bestaat deze straling voornamelijk uit UV- en blauw licht straling. De normen voor deze twee golflengtegebieden

worden ruimschoots overschreden. Maximale verblijftijden van enkele seconden per dag zijn berekend uit de gemeten stralingsniveau's.

* Snijden van plexiglas en PS

Bij het snijden van deze twee kunststoffen blijft de blootstelling onder de norm als een goede afzuiging wordt gebruikt. Gebeurt dit niet dan zullen de vrijkomende stoffen hinderlijk, zomet schadelijk voor de gezondheid zijn. Kankerverwekkende stoffen kunnen bij het snijden van kunststoffen vrijkomen, waardoor alle technisch haalbare maatregelen getroffen moeten worden om de blootstelling te minimaliseren.

BIJLAGE I EUROPESE STRALINGSNORMEN VOLGENS NEN-EN 60825

Tabel 3 Maximaal toegestane blootstelling aan diffuus reflecterende straling volgens NEN-EN 60825

Golflengte λ (in nm)	Tijd (in s)	MTB_{ogen}	MTB_{huid}
180-302.5	$< 10^{-9}$	$3 \times 10^{10} \text{ W/m}^2$	-
	$10^{-9} - 3 \times 10^4$	30 J/m^2	-
302.5-315	$< 10^{-9}$	$3 \times 10^{10} \text{ W/m}^2$	-
	$10^{-9} - 10$	$C_1 \text{ J/m}^2 (t < T_1)$	-
	$10^{-9} - 10$	$C_2 \text{ J/m}^2 (t > T_1)$	-
	$10 - 3 \times 10^4$	$C_2 \text{ J/m}^2$	-
315-400	$< 10^{-9}$	$3 \times 10^{10} \text{ W/m}^2$	-
	$10^{-9} - 10$	$C_1 \text{ J/m}^2$	-
	$10 - 10^3$	10^4 J/m^2	-
	$10^3 - 3 \times 10^4$	10 W/m^2	-
400-550	$< 10^{-9}$	$10^{11} \text{ W/m}^2\text{sr}$	$2 \times 10^{11} \text{ W/m}^2$
	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^5 \times t^{0.33} \text{ J/m}^2\text{sr}$	200 J/m^2
	$10^{-7} - 10$	$10^5 \times t^{0.33} \text{ J/m}^2\text{sr}$	$1.1 \times 10^4 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$
	$10 - 10^4$	$2.1 \times 10^5 \text{ J/m}^2\text{sr}$	2000 W/m^2
	$10^4 - 3 \times 10^4$	$21 \text{ W/m}^2\text{sr}$	2000 W/m^2

<i>Golflengte</i> λ (in nm)	<i>Tijd</i> (in s)	MTB_{ogen}	MTB_{huid}
550-700	$< 10^{-9}$	$10^{11} \text{ W/m}^2\text{sr}$	$2 \times 10^{11} \text{ W/m}^2$
	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^5 \times t^{0.33} \text{ J/m}^2\text{sr}$	200 J/m^2
	$10^{-7} - 10$	$10^5 \times t^{0.33} \text{ J/m}^2\text{sr}$	$1.1 \times 10^4 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$
	$10 - 10^4$	$3.8 \times 10^4 \times t^{0.75} \text{ J/m}^2\text{sr}$ ($t < T_2$)	2000 W/m^2
	$10^4 - 3 \times 10^4$	$2.1 \times C_3 \text{ J/m}^2\text{sr}$ ($t > T_2$)	2000 W/m^2
		$21 \times C_3 \text{ W/m}^2\text{s}$	$10^4 - 3 \times 10^4$
750-1000	$< 10^{-9}$	$10^{11} \times C_4 \text{ W/m}^2\text{sr}$	$2 \times 10^{11} \text{ W/m}^2$
	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^5 \times C_4 \text{ J/m}^2\text{sr}$	200 J/m^2
	$10^{-7} - 10$	$10^5 \times C_4 \text{ J/m}^2\text{sr}$	$1.1 \times 10^4 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$
	$10 - 10^3$	$3.8 \times 10^4 \times C_4 \times t^{0.75} \text{ J/m}^2\text{sr}$	2000 W/m^2
	$10^3 - 3 \times 10^4$	$6.4 \times 10^3 \times C_4 \text{ W/m}^2\text{sr}$	2000 W/m^2
1050-1400	$< 10^{-9}$	$5 \times 10^{11} \text{ W/m}^2\text{sr}$	$2 \times 10^{11} \text{ W/m}^2$
	$10^{-9} - 10^{-7}$	$5 \times 10^5 \times t^{0.33} \text{ J/m}^2\text{sr}$	200 J/m^2
	$10^{-7} - 10$	$5 \times 10^5 \times t^{0.33} \text{ J/m}^2\text{sr}$	$1.1 \times 10^4 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$
	$10 - 10^3$	$1.9 \times 10^5 \times t^{0.75} \text{ J/m}^2\text{sr}$	2000 W/m^2
	$10^3 - 3 \times 10^4$	$3.2 \times 10^4 \text{ W/m}^2\text{sr}$	2000 W/m^2

<i>Golflengte</i> λ (in nm)	<i>Tijd</i> (in s)	MTB_{ogen}	MTB_{huid}
1400-1530	$< 10^{-9}$	10^{11} W/m^2	
	$10^{-9} - 10^{-7}$	100 J/m^2	-
	$10^{-7} - 10$	$5600 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$	-
	$10 - 3 \times 10^4$	1000 W/m^2	-
1530-1550		10^{11} W/m^2	-
	$10^{-9} - 10^{-7}$	10^4 J/m^2	100 J/m^2
	$10^{-7} - 10^{-6}$	10^4 J/m^2	$5600 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$
	$< 10^{-9}$	$5600 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$	$5600 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$
	$10 - 3 \times 10^4$	1000 W/m^2	-
1550-10⁶	$< 10^{-9}$	10^{11}	-
	$10^{-9} - 10^{-7}$	100 J/m^2	-
	$10^{-7} - 10$	$5600 \times t^{0.25} \text{ J/m}^2$	-
	$10 - 3 \times 10^4$	1000 W/m^2	-

MTB: Maximaal Toegestane Blootstelling

-: gelijk aan MTB_{ogen}

$$C_1: 5.6 \times 10^3 \times t^{0.25}$$

$$C_2: 10^{0.2(\lambda - 295)}$$

$$C_3: 10^{0.015(\lambda - 550)}$$

$$C_4: 10^{(\lambda - 700)/500}$$

$$T_1: 10^{0.8(\lambda - 295)} \times 10^{-15} \text{ S}$$

$$T_2: 10^{0.02(\lambda - 550)} \text{ S}$$

BIJLAGE II ACGIH-NORMEN VOOR UV- EN BLAUW LICHT

UV-straling

De normen voor UV-straling in het spectrale gebied tussen 180 en 400 nm gaan uit van herhaalde blootstelling waarbij vrijwel geen werknemers nadelige gezondheidseffecten zal ondervinden (voor zowel de huid als de ogen). Deze normen dienen niet als omslagpunt tussen veilige en gevaarlijke stralingsnivo's, maar als hulp bij de blootstellingscontrole. Deze normen hebben alleen betrekking op bronnen met een breed spectrum, zoals pluimstraling.

Gezien het feit dat de effectiviteit voor het ontstaan van gezondheidseffecten per golflengte gebied (binnen de UV-straling) verschilt wordt hiervoor voor elk gebied van circa 5 nm een correctiefactor gebruikt om de effectieve irradiantie (E_{eff}) van een stralingsbron met breed golflengte gebied te berekenen.

$$E_{eff} = \sum_{200}^{320} E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda < 30 \text{ J/m}^2$$

- Hierbij is:
- E_{eff} : effectieve irradiantie gerelateerd aan een monochromatische bron bij 270 nm (in W/cm^2).
 - E_{λ} : Gemeten spectrale irradiantie (in $\text{W/cm}^2 \times \text{nm}$)
 - S_{λ} : Relatieve spectrale effectiviteit, correctiefactor (zonder eenheid)
 - $\Delta\lambda$: Bandbreedte (in nm)

Uitgaande van deze formule kan de maximale toegestane verblijftijden met onderstaande formule berekend worden.

$$t_{max} = \frac{0.003 \text{ J/cm}^2}{E_{eff}}$$

- Hierbij is:
- t_{max} : Maximaal toegestane verblijftijd (in s)
 - E_{eff} : effectieve irradiantie gerelateerd aan een monochromatische bron bij 270 nm (in W/cm^2).

Uitgaande van deze formule is in tabel 4 een overzicht gegeven van de maximaal toegestane blootstelling aan UV-straling gedurende de dag.

Tabel 4 Maximaal toegestane blootstelling aan UV-straling

Blootstellingsduur per dag	Effectieve irradiantie E_{eff} in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
8 uur	0.1
4 uur	0.2
2 uur	0.4
1 uur	0.8
30 min	1.7
15 min	3.3
10 min	5
5 min	10
1 min	50
30 s	100
10 s	300
1 s	3000
0.5 s	6000
0.1 s	30000

Blauw licht

Voor bescherming tegen fotochemische netvlies schade van blauw licht-straling geldt, evenals bij UV-straling, dat de effectiviteit voor het ontstaan van deze schade per golflengtegebied verschilt, waardoor ook voor blauw licht een spectrale correctiefactor gebruikt zal moeten worden om de effectieve irradiantie (B_{eff}) te bepalen.

Anders dan bij UV-straling is de berekening van de maximaal toegestane blootstelling afhankelijk van de tijdsduur en de hoek..

$\alpha > 11 \text{ mrad}$:

$$B_{\text{eff}} = \sum_{400}^{1400} L_{\lambda} \cdot t \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 100 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr}) \quad t \leq 10^4 \text{ s}$$

$$B_{\text{eff}} = \sum_{400}^{1400} L_{\lambda} \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 0.01 \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr}) \quad t > 10^4 \text{ s}$$

$\alpha < 11 \text{ mrad}$:

$$B_{\text{eff}} = \sum_{400}^{700} E_{\lambda} \cdot t \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 10 \text{ mJ}/\text{cm}^2 \quad t \leq 10^4 \text{ s}$$

$$B_{\text{eff}} = \sum_{400}^{700} E_{\lambda} \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 1 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \quad t > 10^4 \text{ s}$$

Voor deze formules geldt:

B_{eff} :	Effectieve irradiantie gerelateerd aan een monochromatische bron bij 435 nm (voor eenheid zie formules) L_{λ} :Gemeten spectrale irradiantie (in J of W/cm ² x sr x nm)
E_{λ} :	Gemeten spectrale irradiantie (in J of W/cm ² x nm)
B_{λ} :	Relatieve spectrale effectiviteit, correctiefactor (zonder eenheid)
$\Delta\lambda$:	Bandbreedte (in nm)
t :	blootstellingsduur

BIJLAGE III FORMULES EN BEREKENING VEILIGE WERKAFSTANDEN

De formules voor de berekening van de veilige werkafstanden zijn gebaseerd op de omgekeerd kwadratische vergelijking die de relatie tussen de irradiantie en de afstand beschrijft:

$$E = \frac{f P \cos \theta}{\pi R^2}$$

Hierbij is: E : irradiantie (in W/cm²)
f : reflectiecoëfficiënt, mate van reflectie van het oppervlakte
P : laservermogen (in W)
cos θ : cosinus van de reflectie hoek, gedefinieerd vanaf de normaal van het oppervlakte
R : afstand van de bron tot het meetpunt cq werknemer

Risico van de ongefocuseerde bundel

In de onderstaande formule staat de berekening van de afstand waarbij de vermogensdichtheid of energie lager is dan de Maximaal Toegestane Blootstelling (MTB in W/m² of J/m²).

$$R_v = \frac{1}{\phi} \left(\sqrt{\frac{4 * P}{\pi * MTB}} - a \right)$$

Hierbij is: R_v : afstand tot de laserbron waarbij de MTB niet overschreden wordt
P : laservermogen of energie (in W of J)
a : bundeldiameter (m)
φ : bundeldivergentie (rad)

In de praktijk zal met lasers meestal met gefocuseerde bundels gewerkt worden, waardoor de onderstaande formule vaker van toepassing zal zijn.

Risico van de gefocuseerde bundel

In de onderstaande formule staat de berekening van de afstand waarbij de vermogensdichtheid of energie lager is dan de Maximaal Toegestane Blootstelling (MTB in W/m² of J/m²). Voor zowel de gefocuseerde als de niet gefocuseerde bundel zijn in tabel 5 enkele voorbeelden van verschillende

lasers opgenomen.

$$R_p = \frac{f}{b} \sqrt{\frac{4 * P}{\pi * MTB}}$$

Hierbij is: R_p : afstand tot de laserbron waarbij de MTB niet overschreden wordt
 P : laservermogen of energie (in W of J)
 b : bundeldiameter voor de lens (m)
 f : brandpuntsafstand

Risico van diffuus gereflecteerde straling

In de onderstaande formule staat de berekening van de afstand waarbij de vermogensdichtheid of energie lager is dan de Maximaal Toegestane Blootstelling (MTB in W/m² of J/m²).

$$R_p = \sqrt{\frac{\rho * P * \cos \theta}{\pi * MTB}}$$

Hierbij is: R_p : afstand tot de laserbron waarbij de MTB niet overschreden wordt
 P : laservermogen of energie (in W of J)
 ρ : reflectiefactor
 θ : kijkhoek

Tabel 5 Indicatie voor veilige werkafstanden bij gefocusseerde en ongefocuseerde laserbundel voor verschillende lasertypes, werkwijzen en vermogens.

Lasertype en Werkwijze	Vermogen/ Pulsenergie	Pulsduur	MTB _{ogen}	MTB _{huid}	Rv _{ogen} m	Rv _{huid} m
<i>Ongefocuseerde Bundel</i>						
Eximeer						
ArF	gepulst 250 mJ	20 ns	30 J/m ²	30 J/m ²	93	93
KrF	gepulst 500 mJ	20 ns	30 J/m ²	30 J/m ²	135	135
XeCl	gepulst 500 mJ	25 ns	40 J/m ²	40 J/m ²	30	30
XeF	gepulst 300 mJ	20 ns	67 J/m ²	67 J/m ²	14	14
Nd:YAG						
	continu 100 W	-	16 W/m ²	2000 W/m ²	2810	242
	continu 600 W	-	16 W/m ²	2000 W/m ²	7000	608
	gepulst 20 J	10 ms	2.8 J/m ²	3500 J/m ²	3000	75
	Q-switch 1 mJ	1 µs	0.05 J/m ²	3500 J/m ²	149	-
CO₂						
	continu 500 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	787	787
	continu 1250 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	1250	1250
	continu 2500 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	1774	1774
<i>Gefocusseerde Bundel</i>						
Eximeer						
ArF	gepulst 250 mJ	20 ns	30 J/m ²	30 J/m ²	0.8	0.8
KrF	gepulst 500 mJ	20 ns	30 J/m ²	30 J/m ²	1.1	1.1
XeCl	gepulst 500 mJ	25 ns	40 J/m ²	40 J/m ²	0.3	0.3
XeF	gepulst 300 mJ	20 ns	67 J/m ²	67 J/m ²	0.2	0.2
Nd:YAG						
	continu 100 W	-	16 W/m ²	2000 W/m ²	21	1.9
	continu 600 W	-	16 W/m ²	2000 W/m ²	51	4.6
	gepulst 20 J	10 ms	2.8 J/m ²	3500 J/m ²	22.4	0.6
	Q-switch 1 mJ	1 µs	0.05 J/m ²	3500 J/m ²	1.2	-
CO₂						
	continu 500 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	6.0	6.0
	continu 1250 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	9.5	9.5
	continu 2500 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	13.4	14.4

Tabel 6

Indicatie voor veilige werkafstanden bij diffuus reflecterende straling voor verschillende lasertypes, werkwijzen en vermogens.

Lasertype en Werkwijze	Vermogen/ Pulsenergie	Pulsduur	MTB _{ogen}	MTB _{huid}	Rv _{ogen} m	Rv _{huid} m
Eximeer						
ArF	gepulst 250 mJ	20 ns	30 J/m ²	30 J/m ²	0.03	0.03
KrF	gepulst 500 mJ	20 ns	30 J/m ²	30 J/m ²	0.05	0.05
XeCl	gepulst 500 mJ	25 ns	40 J/m ²	40 J/m ²	0.01	0.01
XeF	gepulst 300 mJ	20 ns	67 J/m ²	67 J/m ²	0.01	0.01
Nd:YAG						
	continu 100 W	-	16 W/m ²	2000 W/m ²		
	continu 600 W	-	16 W/m ²	2000 W/m ²	2.32	0.21
	gepulst 20 J	10 ms	2.8 J/m ²	3500 J/m ²	1.0	0.03
	Q-switch 1 mJ	1 µs	0.05 J/m ²	3500 J/m ²	0.05	-
CO₂						
	continu 500 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	0.27	0.27
	continu 1250 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	0.42	0.42
	continu 2500 W	-	1000 W/m ²	1000 W/m ²	0.6	0.60

BIJLAGE IV LITERATUUR

Barbanel CS, Ducatman AM, Garston MJ, Fuller T. Laser hazards in research laboratories
J Occup Med 1993 **35** 369-374

Chemiekaarten. NIA-VNCI, Den Haag, 1996

Clayton GD, Clayton FE (red). Patty's industrial hygiene and toxicity. Wiley, New York,
1991 10 delen

Commission of the European Union. Information notices on diagnosis of occupational
diseases. Directorate-General Employment, Industrial Relations and Social affairs,
Luxemburg, 1994

Cox CWJ, T Haan de. Onderzoek naar de ultraviolette stralingsniveaus bij lassen.
Directoraat Generaal van de Arbeid, Voorburg, 1989 S 46-2

Dierken R, Bergmann HW. Statusbericht zur entwicklungsbegeleitenden Normierung.
Darstellung des derzeitigen Standes der Normen und Richtlinien mit Bezug auf das
Verbundprojekt Lasersicherheit in EU 643. ATZ-EVUS, Vilseck, 1994

Eggink GJ, Kaptein C, Kempen RJ van, FW Meulen van der, Teirlinck CJPM, Vaartjes
SR (red). Laserveiligheid in de gezondheidszorg. Nationale Commissie Laserveiligheid,
Leiden, 1993

Environmental Health Criteria. World Health Organization, Geneva

Benzene, vol 150, 1993

Chromium, vol 61, 1988

Formaldehyde, vol 89, 1989

Nickel, vol 108, 1991

Styrene, vol 26, 1983

Toluene, vol 52, 1986

International Agency for the Research on Cancer Monographs on the Evaluation of
Carcinogenic Risks to Humans. IARC, Lyon

Solar and UV radiation, vol 55, 1992

Benzene, vol 7, 1974, suppl 4, 1982

Chromium, nickel and welding, vol 49, 1989

Formaldehyde, vol 29, 1982, suppl 4, 1982

Methylmetacrylate, vol 19, 1979

Styrene, vol 19, 1979, suppl 4, 1982

Kirchner EJJ, Eggink GJ. Veilige afstanden tot lasers (I) NVS-nieuws **21**(1996) (1) 23-27

Laan G van der, Monster AC, Wibowo AAE, FA Wolff de. Arbeidsgezondheidskundig onderzoek bij het werken met kankerverwekkende stoffen. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Den Haag, 1994 S-174

Leummens MHL, Herber RFM. Risico's van blootstelling aan chroom bij het bewerken van roestvrij staal met behulp van lasers. Coronel Laboratorium, Amsterdam, 1995

Leummens MHL, Jour H du, Straub J, Pieters HJ, Herber RFM, Meijer J. Risico's van het bewerken van kunststoffen met behulp van hoog- vermogen lasers. Polymethylmethacrylaat en polystyreen. Coronel Laboratorium en Vakgroep Werktuigbouwkundige Automatisering, Amsterdam en Enschede, 1996. Rapport nr 96-29

Leummens MHL, Wisselink F, Tijman F, Meijer J, Herber RFM. Stralingsrisico's bij het lassen met hoog-vermogen lasers. Vakgroep Werktuigbouwkundige Automatisering en Coronel Laboratorium, Enschede en Amsterdam, 1996. Rapport nr 96-28

Lumens MEGL, Ulenbelt P, Géron HMA, Herber RFM. Hygienic behaviour in chromium plating industries. *Int Arch Occup Environ Health* **64** (1993) 509-514

Ministerie Sociale Zaken en Werkgelegenheid. De nationale MAC-lijst. SDU, Den Haag, 1996. P-145

Mossink JCM. Werken met industriële lasers. Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg, Leiden, 1991 Rapport nr. 91014

Mossink JCM. Laserveiligheid: Case studies. NIA-TNO, Amsterdam, 1997 Rapport 95-109.ow1

Olsen FO (red). Industrial laser safety forum '95. Copenhagen, 1995

Raffle PAB, Adams PH, Baxter PJ, Lee WR (red). Hunter's diseases of occupations. Edward Arnold Publishers, London, 1994

Sax IN. Dangerous properties of industrial materials. Van Nostrand Reinhold, New York, 1979

Sievers ER (red). Sicherheitstechnische und medizinische Aspekte bei der Laserstrahlmaterialbearbeitung. VDI, Düsseldorf, 1995

Sliney D, Wolbarsht M. Safety with lasers and other optical sources. Plenum press, New York, London, 1985

NEN-EN-60825, nu NEN-IEC 825-1. Veiligheid van laserprodukten, deel 1: apparatuur, eisen en gebruikershandleiding. Nederlands Normalisatie Instituut, Rijswijk, 1996

Suess MJ (red). Nonionizing radiation protection WHO I, Copenhagen, 1989. Regional publications series nr. 25

Verschoor MA, Bragt PC, Herber RFM Zielhuis RL, Zwennis WCM. Renal function of chrome-plating workers and welders. *Int Arch Occup Environ Health* **60** (1988) 67-70

Wal JF van der et al. De belastende agentia en factoren bij het lassen, TNO, Delft, 1983. IMG-Rapport 2012-06