

Rapport nr. 610059 006

**Toepassing en gezondheidsrisico's van
amusement lasers**

M. van der Plas

september 2000

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht en ten laste van de afdeling Consumentenveiligheid en Omgevingsrisico's, directie Gezondheidsbeleid van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), in het kader van project 610059, Advisering Straling Volksgezondheid.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
Tel.: 030-2749111, fax: 030-2742971

ABSTRACT

Application and human health risks of laser displays

An inventory was made of the kind of laser applications used for entertainment purposes and the extent to which they are used. The aim was to check whether the use of lasers for displays in funfairs and discotheques might lead to health risks for the public and, if so, to what extent. The four producers dominating the laser display market operated a total of 45 lasers in 1999. The number of displays per producer per year varies from 20 to 450. The number of visitors varies between 20 and 350,000 per display. Class 4 lasers constitute the major category used for laser displays. If these lasers are used injudiciously, they may pose a risk to the public. Incidents, however, rarely occur in the Netherlands. Safety measures employed by laser show producers are, for example, stopping the beam by means of a shutter in the case of a technical malfunction. Contrary to foreign countries, no rules exist in the Netherlands for operating laser displays to guarantee the safety of the public and aviation. Measurements have shown that maximum permissible exposure values can be exceeded when audience scanning (focusing the laser beams on the public) is used. A British study recently started up may provide a decisive answer to the question on whether additional safety measures should be advised for this specific application.

VOORWOORD

Diverse personen werkzaam in of betrokken bij de lasershowbranche hebben bijgedragen aan het tot stand komen van dit rapport. Speciale dank gaat uit naar alle geïnterviewde leveranciers en gebruikers van amusementslasers. F. Blankendaal en mw. T. Mooij van de Stichting Consument en Veiligheid wil ik bedanken voor het verstrekken van informatie over incidenten met lasers. J.B. Bergwerff en A. Apituley (RIVM/LLO) gaven een goed beeld van de techniek rond diverse lasers. J. Lembrechts, M.J.P. Brugmans en R.C.G.M. Smetsers (RIVM/LSO) leverden met zowel inhoudelijke als redactionele suggesties een belangrijke bijdrage aan de realisatie van voorliggend rapport.

INHOUD

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
2 Eigenschappen, toepassingen en risico's van lasers	8
2.1 Eigenschappen en werking van de laser	8
2.2 Risico's: lichamelijk letsel	10
2.3 Tijdelijke gezondheidseffecten van gepulst licht	11
2.4 Grootheden en eenheden	11
2.5 Classificatie van lasers	13
2.6 Toepassingen van lasers	13
3 Lasertoepassingen voor amusementsdoeleinden	15
3.1 Lasers en hun eigenschappen	15
3.2 Technieken	15
3.2.1 Grafische beelden, bundels en audience scanning	15
3.2.2 Sturing van de laserbundels	16
3.3 Opstellingen	17
4 Risico's specifiek voor amusementslasers	19
4.1 Risico-beoordeling	19
4.2 Risicofactoren	19
4.2.1 Risico's voor het publiek	19
4.2.2 Risico's voor personeel	21
5 Richtlijnen	22
5.1 Gezondheidskundige advieswaarden voor optische straling	22
5.2 Regelgeving relevant voor toepassing van amusementslasers	22
5.3 Richtlijnen voor lasershows in de omgeving van vliegvelden	25
5.4 Veiligheidsmaatregelen in Nederland	26
6 Gebruik van lasers voor amusementsdoeleinden in Nederland	28
6.1 Aard, frequentie en omvang van het gebruik	28
6.2 Deskundigheid, onderhoud en maatregelen	29
6.3 Overige amusementstoepassingen	30
6.4 Incidenten in Nederland	31
6.5 Incidenten bij personeel in de luchtvaart	32
7 Conclusies	33
Referenties	35
Bijlage I: Verzendlijst	37
Bijlage II: Vragen voor lasershowproducenten	38
Bijlage III: Vragen voor leveranciers	39
Bijlage IV: Bekendheid van lasershow-producenten met richtlijnen	40

SAMENVATTING

De aard en omvang van lasertoepassingen voor amusementsdoeleinden is geïnventariseerd om na te gaan of en zo ja in welke mate gebruik van lasers voor shows en in pretparken en discotheken leidt tot gezondheidsrisico's voor het publiek. Bij de vier showproducenten die de Nederlandse markt domineren, stonden in 1999 in totaal 45 lasers. Het aantal shows per producent per jaar varieert van 20 tot 450. Het aantal bezoekers per show bedraagt 20 tot 350.000. Voor lasershows worden hoofdzakelijk klasse-4 lasers toegepast, die bij onoordeelkundig gebruik risico's voor het publiek kunnen opleveren. Incidenten komen in Nederland uiterst zelden voor. Veiligheidsmaatregelen die door lasershowproducenten worden getroffen, betreffen onder andere het afschermen van de bundel door een sluiters bij een technische storing. In tegenstelling tot het buitenland, bestaat er in Nederland geen regelgeving voor het geven van lasershows en het waarborgen van de laserveiligheid voor het publiek en de luchtvaart. Uit metingen van derden is gebleken dat bij het richten van laserbundels in het publiek ('audience scanning') maximaal toegelaten niveaus kunnen worden overschreden. Een recent gestart Engels onderzoek moet uitsluitsel geven over de vraag of voor deze toepassing aanvullende veiligheidsmaatregelen wenselijk zijn.

1. INLEIDING

Of en in welke mate gebruik van lasers voor shows en in pretparken en discotheken leidt tot gezondheidsrisico's voor de toeschouwers, is niet duidelijk. Deze onduidelijkheid is het gevolg van onvoldoende inzicht in zowel de aard en de omvang van deze toepassingen van lasers, als in de veiligheidsvoorzieningen en de mogelijke oorzaken van denkbare ongevallen. De directie Gezondheidsbescherming van het Ministerie van VWS, mede verantwoordelijk voor het vergroten van produktveiligheid en consumentenbescherming, heeft behoefte aan duidelijkheid hierover teneinde te kunnen beoordelen of regulering van deze toepassing gewenst is. Aan RIVM is daarom gevraagd om de drie voornoemde aspecten te inventariseren. Gezien de taakstelling van de opdrachtgever beperkt de inventarisatie zich tot facetten relevant voor de blootstelling van het publiek en hieraan verbonden risico's. Risico's voor operators en personeel worden hooguit zijdelings aan de orde gesteld.

Om de gestelde vraag te kunnen beantwoorden is een analyse uitgevoerd naar de mogelijke oorzaken van potentiële incidenten, en zijn de ongevallen geïnventariseerd die zich reeds hebben voorgedaan. Hiervoor zijn incidentregistraties, (internationale) literatuur, het internet en de uitgangspunten van bestaande, relevante nationale en internationale regelgeving gescreend. Daarnaast zijn leveranciers (aantal: 3) en gebruikers (aantal: 13) van amusementslasers telefonisch geënkquêteerd of bezocht. Tijdens de interviews werd gevraagd naar de soort en classificatie van de gebruikte lasers, de bij toepassing betrokken bedrijven, kennis en toepassing van veiligheidsmaatregelen, gebruiksfrequentie van de lasers en aantallen bezoekers (zie bijlage II en III). De groep benaderde gebruikers omvatte bedrijven die lasershows (5) en lasergames (6) verzorgen, een discotheek en een pretpark. Tenslotte is ook een relatie gelegd met een project van de Rijksluchtvaartdienst dat zich concentreert op het beheersen van risico's voor de luchtvaart door lasershows in de nabijheid van vliegvelden.

Hoe is het verslag over de uitgevoerde activiteiten opgebouwd? Om het probleem te situeren worden eerst de kenmerken, mogelijke toepassingen en risico's van lasers in algemene zin omschreven (hoofdstuk 2). Immers, in ieder toepassingsgebied worden lasers met specifieke eigenschappen gebruikt waarmee dan ook specifieke risico's samenhangen. Een beeld van de relatie tussen eigenschappen en toepassingsgebied leidt dus tot inzicht in het wel of niet vóórkomen van bepaalde risico's.

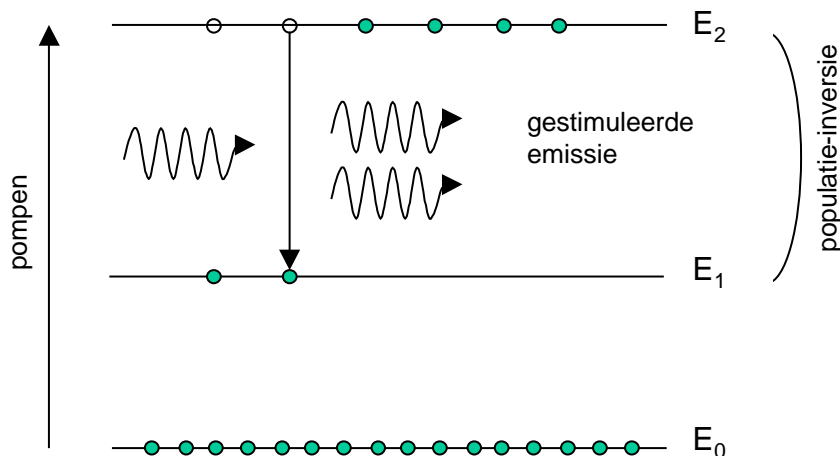
In hoofdstuk 3 wordt een beeld geschetst van de opbouw van lasershows en de gebruikte technieken. Dit beeld is nodig voor een beter begrip van de rest van het rapport. In hoofdstuk 4 worden, in algemene zin, de risico's verbonden aan lasershows geanalyseerd. Vervolgens is een overzicht gegeven van regels en richtlijnen die bedoeld zijn om de kans op schade door lasergebruik te minimaliseren (hoofdstuk 5), waarbij vooral aandacht wordt besteed aan regels die verband houden met het toepassingsgebied uit de vraagstelling. In hoofdstuk 6 wordt het resultaat beschreven van het onderzoek bij leveranciers en gebruikers, en van de

inventarisatie van incidenten die zich hebben voorgedaan. In het afsluitende hoofdstuk 7 wordt het verkregen beeld geëvalueerd, en worden de belangrijkste (potentiële) problemen samengevat en de noodzaak tot regulering besproken.

2. EIGENSCHAPPEN, TOEPASSINGEN EN RISICO'S VAN LASERS

2.1 Eigenschappen en werking van de laser

De naam 'laser' is een acroniem voor Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (lichtversterking door gestimuleerde emissie van straling). De emissie van een laser bestaat uit één (of enkele) monochromatische bundel(s), d.w.z. van één en dezelfde golflengte ('kleur'). Laserbundels hebben doorgaans een hoge energiedichtheid. Daarnaast is laserlicht coherent, dit houdt in dat alle lichtgolven die uit de laser komen in fase trillen, in tegenstelling tot klassieke lichtbronnen, die op een willekeurige manier lichtgolven uitzenden. Commercieel verkrijgbare lasers zenden optische straling ('licht') uit in het ultra-violette (UV), zichtbare (ZL) en/of infrarode deel (IR) van het elektromagnetische spectrum. In dit rapport wordt met de term 'licht' optische straling in bredere zin (UV, ZL, IR) bedoeld.



Figuur 1: Schematisch voorbeeld van een 3-niveau-laser.

Een laser bestaat in hoofdzaak uit drie onderdelen: een energiebron, een actief lasermedium (een vaste stof, vloeistof of gas), dat bepalend is voor de golflengte die wordt uitgezonden, en een zogenaamde optische trilholtte of resonator. De werking van de laser berust op de principes populatie-inversie en gestimuleerde emissie. De essentie van deze begrippen wordt toegelicht aan de hand van een zogenaamde 3-niveau laser, de simpelste vorm waarbij laserwerking kan ontstaan. Bij een 3-niveau-laser zijn drie energietoestanden van de atomen van belang voor het proces: de grondtoestand, E_0 , en de hogere energieniveaus, E_1 en E_2 , zogenaamde aangeslagen toestanden van het atoom, waarbij E_2 groter is dan E_1 (Figuur 1). Men spreekt over populatie-inversie als er meer atomen in toestand E_2 zijn dan in toestand E_1 . Normaal gesproken komt zo iets niet voor. Gestimuleerde emissie treedt op wanneer een foton, dat is ontstaan uit een overgang van een

aangeslagen toestand naar een lagere toestand (in dit voorbeeld van E_2 naar E_1), bij een ander aangeslagen atoom dezelfde overgang induceert. Als gevolg hiervan wordt dan een tweede foton uitgezonden met dezelfde energie, dezelfde bewegingsrichting en dezelfde fase. Dit proces herhaalt zich.

Om laserwerking te kunnen krijgen moet de opgewekte gestimuleerde emissie allerlei lichtverliezen overwinnen. Het gaat daarbij niet alleen om absorptie in het lasermedium (overgangen van energieniveau E_1 naar E_2 , onder invloed van licht), maar ook om verliezen aan vensters en spiegels e.d. Om deze situatie te bereiken moet voldaan worden aan twee voorwaarden: (1) het lasermedium moet 'actief' zijn, d.w.z. er is sprake van populatie-inversie, en (2) tijdens één rondgang binnen de optische trilholtte dient de versterking van licht groter te zijn dan het totaal aan verliezen dat optreedt.

Populatie-inversie wordt tot stand gebracht door externe toevoer van energie die ervoor zorgt dat atomen in de grondtoestand E_0 worden aangeslagen naar toestand E_2 . Dit wordt ook wel het 'pompen' van de laser genoemd. Pompen geschiedt bijvoorbeeld door een elektrische stroom te laten lopen door een met gas gevulde buis (e.g. argon-, krypton- en helium-neon-laser), of door het medium te bestralen met een andere lichtbron (bijv. flitslamp of diodelaser in het geval van een Nd:YAG laser). Atomen die zich in toestand E_1 bevinden vallen snel terug naar de grondtoestand (E_0).

In de ruimte waarin het lasermedium zich bevindt en de gestimuleerde emissie optreedt, de optische trilholtte, wordt de emissie in één richting versterkt door twee tegenover elkaar geplaatste reflecterende elementen, waarvan er één enigszins doorlatend is. Daar treedt dan de laserbundel uit. Indien de verliezen in de trilholtte lager zijn dan de versterking, ontstaat laserwerking.

Lasers onderscheiden zich van elkaar door de golflengte die zij emitteren, het uitgezonden vermogen en door het al of niet continu zijn van de emissie ('continuous wave', CW, tegenover gepulst, bijvoorbeeld Q-switched). Zoals gezegd bepaalt het gekozen lasermedium welke golflengtes er in beginsel kunnen worden uitgezonden. Vaak komt het voor dat een lasermedium meer golflengtes kan uitzenden. Zo kent bijvoorbeeld de Argon-laser emissies in het violette, blauwe en groene deel van het spectrum. Golflengte-selectie geschiedt door in de optische trilholtte afstembare golflengte-specifieke elementen op te nemen (bijvoorbeeld een prisma), waardoor er bij de ene – geselecteerde – laserlijn veel minder verliezen optreden dan bij de andere(n). Op die wijze kan de gebruiker bewust één of enkele laserlijnen uitkiezen.

In termen van risico's is het van belang om te weten dat de efficiency's van de verschillende laserovergangen onderling sterk kunnen verschillen. Dit betekent dat het maximale vermogen dat een zekere laser bij één bepaalde golflengte kan uitzenden significant hoger of lager kan zijn dan het geval is bij andere golflengtes. Zo heeft de reeds genoemde Argon-laser een sterkte laserlijn in het groen (514,5 nm), en veel zwakkere laserlijnen in het blauw (e.g. 465,8 en 472,7 nm). Naast (handmatig) afstembare golflengte-selectieve elementen, zoals een prisma, bestaan er ook elementen (modulatoren) waarmee men de laseroutput in de tijd

kan variëren. Een voor dit rapport relevant voorbeeld is de zogenaamde akoestooptische modulator (AOM), waarmee m.b.v. geluidsgolven opgewekt in een kristal de laserwerking beïnvloed kan worden. De AOM's kunnen zich in de optische trilholve van de laser bevinden. Bij lasershows worden deze modulatoren over het algemeen buiten de laser in de laserbundel geplaatst.

Naast het gebruik van lasers in de zogenaamde 'continuous wave' (CW) bestaan er diverse pulstechnieken (e.g. Q-switching, mode-locking, cavity-dumping). Afhankelijk van de toegepaste techniek kan het vermogen van de laserbundel tijdens de puls ordes van grootte hoger zijn dan het tijdsgemiddelde vermogen, respectievelijk het vermogen dat dezelfde laser (als dat technisch kan) in de 'continuous wave' uitzendt. Ter illustratie geldt het volgende praktijkvoorbeeld: stel een gepulste Nd:YAG-laser (Q-switched) met een pulsduur van 10 ns en een puls frequentie van 10 Hz heeft een gemiddeld vermogen van 10 W. Het vermogen tijdens de puls bedraagt dan maar liefst 1 GW, hetgeen een factor 100 miljoen hoger is dan het gemiddelde vermogen van deze laser. Het moge daarmee duidelijk zijn dat gepulste lasers een extra risicofactor vormen voor gezondheidsschade.

Door gebruik te maken van zogenaamde niet-lineaire kristallen kunnen laseremissies 'verdubbeld' worden, d.w.z. er ontstaat – naast de primaire laserbundel – licht met een dubbele frequentie ($2f$). Een dubbele frequentie betekent halvering van de golflengte. Verdubbeling wordt vaak toegepast bij Nd:YAG-lasers; de primaire emissie van een Nd:YAG-laser betreft 1064 nm (nabij infrarood), wat bij verdubbeling 532 nm (helder groen, nabij top ooggevoeligheidskromme) oplevert. Verdubbeling gaat efficiënter naarmate de lichtintensiteit toeneemt. Dat betekent dat, om redenen als boven omschreven, verdubbeling vaak in combinatie met pulstechnieken wordt toegepast. De combinatie van kleur, vermogen en pulsmogelijkheden maakt de frequentie-verdubbelde Nd:YAG-laser uitermate geschikt voor toepassing bij lasershows.

2.2 Risico's: lichamelijk letsel

De hoge energiedichtheid van een laser kan bij overmatige blootstelling leiden tot lichamelijk letsel. Het oog en de huid zijn de meest gevoelige organen bij blootstelling aan laserlicht. Effecten van overmatige blootstelling van de huid zijn erytheem en thermische schade. Effecten van overmatige blootstelling van het oog zijn hoorn- en bindvliesschade, thermische schade in het hoornvlies, staar en netvliesschade. Het type effect, de drempelwaarde voor schade en het mechanisme achter de schade zijn sterk afhankelijk van de blootstellingsduur en, zoals blijkt uit de voorgaande tekst, van het al of niet gepulst zijn van de laser. Verder is de golflengte van belang voor het effect omdat de doorlatendheid van huid en ooglenzen voor verschillende golflengten anders is. De gevolgen van overmatige blootstelling van het oog zijn ernstiger dan die van overmatige blootstelling van de huid. Richtlijnen voor blootstelling aan laserlicht richten zich daarom vooral op bescherming van het oog.

De knipperreflex, het sluiten van de ogen of het afwenden van het hoofd, beperkt de blootstellingstijd bij een gezonde persoon tot maximaal 0,25 seconden, een

gegeven dat bij het formuleren van richtlijnen (zie hoofdstuk 5) is benut. Uiteraard is dit alleen bij zichtbaar licht van toepassing. Gebruik van alcohol of drugs kan de knipperreflex ongunstig beïnvloeden, waardoor de kans op schade toeneemt [1].

2.3 Tijdelijke gezondheidseffecten van gepulst licht

Naast fysieke schade zoals netvliesschade bestaan er (tijdelijke) effecten die worden aangeduid met de verzamelnaam ‘visuele handicaps’. Het gaat hier om visuele afleiding of verstoring, verblindende en flitsblindheid. Deze effecten en de daarmee gepaard gaande secundaire risico’s worden met name in de luchtvaart als problematisch ervaren.

Een publicatie van Sliney en Wolbarst vermeldt dat het gebruik van gepulst licht een effect kan hebben op de algehele gezondheidstoestand van de mens [2]. Door hen opgesomde oorzaken en effecten worden hier kort samengevat:

- Gepulst, ofwel stroboscopisch (laser)licht met een frequentie van 10 Hz wordt helderder waargenomen dan licht dat continu en met dezelfde ‘piekhelderheid’ wordt uitgezonden. Een zelfde verschijnsel wordt waargenomen wanneer een enkele puls licht wordt uitgezonden. De puls lijkt helderder dan hij in werkelijkheid is.
- Voorwerpen die in een donkere omgeving bij frequenties van 5-10 Hz stroboscopisch worden belicht, worden waargenomen alsof zij zich vrij door de ruimte bewegen. Een fixatiepunt ontbreekt immers. Dit effect wordt vaak gebruikt voor amusementsdoeleinden. Stroboscooplichten met hoge intensiteit en genoemde frequenties zijn dan ook vaak te vinden in uitgaansgelegenheden. Als bij-effect wordt er gesproken over het optreden van hoofdpijn bij een blootstelling aan dit licht gedurende meer dan een minuut. Sliney en Wolbarst maken melding van een aanbeveling aan discotheken om dit licht nooit langer dan één minuut achter elkaar te gebruiken.
- De enige goed gedocumenteerde gezondheidseffecten van blootstelling aan laagfrequent flikkerend licht betreffen aanvallen van epilepsie bij personen die hiervoor gevoelig zijn. In het frequentiegebied van 8 tot 16 Hz wordt de hoogste gevoeligheid waargenomen. Uit verschillende schattingen blijkt dat bij ongeveer 1% van personen met epilepsie een aanval kan optreden die geïnduceerd wordt door flikkerend licht.
- Daarnaast vermeldt de literatuur een aantal specifieke, moeilijk verifieerbare effecten door blootstelling aan licht dat met een lage frequentie flikkert. Hierbij moet men denken aan hoofdpijn, slaperigheid, duizeligheid, visuele waandenkbeelden, angst, ongerustheid, geïrriteerdheid en een verminderd concentratievermogen.

2.4 Grootheden en eenheden

Voor de beschrijving van onder andere de hoeveelheid energie in een laserbundel

worden diverse grootheden gebruikt. Voor een verder begrip van de toepassing, onder andere in richtlijnen voor blootstelling, wordt in Tabel 1 een korte beschrijving van deze grootheden gegeven.

Tabel 1: Grootheden en eenheden gebruikt voor dosimetrie van laserlicht.

Grootheid	Eenheid	Omschrijving
λ	m	De golflengte van het laserlicht. Commerciële verkrijgbare lasers emitteren golflengtes tussen 180 nm en 1000 μm . Het gaat dan om zichtbaar licht (400 – 700 nm), ultraviolet (100 – 400 nm) en infrarood (700 nm – 1000 μm). Optische straling met een golflengte tussen 400 en 1400 nm (zichtbaar licht en nabij infrarood) dringt door in het oog en kan aldaar vooral netvliesschade veroorzaken. Andere golflengtes kunnen ook schade veroorzaken, maar dan in weefsels dichter aan het oppervlak van het oog (hoornvlies en ooglens), of de huid.
P	W	Het vermogen van de uittredende laserbundel. Typische vermogens van lasers voor amusementsshows variëren van 1 tot 30 W. Laserpointers hebben een vermogen van circa 1 tot 5 mW.
E	W/m^2	De bestralingssterkte of intensiteit van de bundel, ook wel fluentietempo genoemd. Dit is de hoeveelheid energie die per seconde door een oppervlakte-eenheid gaat.
H	J/m^2	De bestralingsdosis, ook wel fluentie genoemd. Dit is de hoeveelheid energie door een oppervlakte-eenheid, ofwel het fluentietempo geïntegreerd over de tijd.
Q	J	De hoeveelheid energie, ofwel het fluentietempo geïntegreerd over tijd en oppervlakte. NB: met Q wordt ook wel de kwaliteit (is mate van verlies) van de optische trilhout bedoeld (zoals in ' <i>Q-switched</i> ').
L	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$	De radiantie is de energie die per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid en per eenheid van ruimtehoek door de bundel wordt getransporteerd.
L*	$\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$	De geïntegreerde radiantie is de energie die per oppervlakte-eenheid en per eenheid van ruimtehoek door de bundel wordt getransporteerd.
AEL		Accessible Emission Limit. Dit is de maximaal toegankelijke emissie, zijnde het vermogen van de uittredende laserbundel, toegestaan in een bepaalde laserklasse.
MPE		Maximum Permissible Exposure, maximaal toelaatbare blootstelling. Dit is de stralingsdosis waaraan personen kunnen worden blootgesteld zonder schadelijke effecten op de huid of in het oog bij een maximale blootstelduur van 0,25 s. (duur van het afwenden van het hoofd inclusief de duur van de knipperreflex, het sluiten van de ogen, om een schadelijke stimulus te vermijden).
divergentie	mrad	De divergentie beschrijft de mate waarin de diameter van een laserbundel toeneemt bij toenemende afstand. Amusementslasers (Ar, Kr, HeNe e.d.) hebben een bundeldivergentie van ca. 1 mrad.

2.5 Classificatie van lasers

De classificatie van een laser gaat uit van het risico op lichamelijk letsel en is dus afhankelijk van de uitgezonden golflengte en het maximaal uittredende vermogen. Er zijn twee classificaties: de classificatie van de International Electrotechnical Commission (IEC) en die van het American National Standards Institute (ANSI) [3, 4]. Beide organisaties onderscheiden vier klassen waarbij de schadelijkheid voor de huid en het oog toeneemt met het klasse-nummer (Tabel 2). De derde klasse is in beide systemen opgesplitst in twee subniveaus. Maatregelen met betrekking tot laserveiligheid zijn gekoppeld aan deze klasse-indeling.

Een belangrijk verschilpunt tussen beide systemen betreft de begrenzing van klasse 3A voor zover die betrekking heeft op lasers in het golflengtegebied van 400-700 nm (zichtbaar licht), die dus onder andere voor amusementsdoeleinden gebruikt worden. Zowel bij IEC als bij ANSI bedraagt het maximale vermogen voor klasse 3A 0,005 W, en voor klasse 3B 0,5 W. De IEC stelt hierbij nog de extra eis dat de intensiteit van de bundel voor een klasse 3A-laser niet groter mag zijn dan $25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ gemeten op een afstand van minimaal 10 cm van de laser.

Tabel 2: Schematische weergave van de kans op oogschade bij verschillende wijzen van waarnemen van verschillend geclassificeerde lasers (✓ = veilig, ✗ = niet veilig [3, 5]).

waarneming	1 ¹⁾	2 ²⁾	3A ³⁾	3B	4
direct in bundel met optiek	✓	✓	✗	✗	✗
direct in bundel	✓	✓	✓	✗	✗
gereflecteerde bundel	✓	✓	✓	✗	✗
diffuse verstrooiing	✓	✓	✓	✓ ⁴⁾	✗

1. Geen beperkingen in golflengte en blootstellingsduur.

2. Maximale blootstellingsduur: 0,25 s.

3. In geval van zichtbaar licht: blootstellingsduur maximaal 0,25 s.

4. Op afstand >13 cm en een blootstellingsduur < 10 s.

2.6 Toepassingen van lasers

Lasers kennen talloze toepassingen, variërend van het lezen van informatie op cd's of het verwijderen van ziek tandweefsel, tot het snijden van staalplaten. Tabel 3 geeft voor enkele belangrijke toepassingsgebieden een overzicht van veel gebruikte lasers en de voor dat doeleinde typische laserklasse. Deze tabel is bedoeld om een algemeen beeld te schetsen; in individuele gevallen kan van de hier aangegeven klassen worden afgeweken.

Tabel 3: Toepassingen van lasers en bijbehorende typische laserklassen.

	Excimeer (UV)	Ar/Kr (ZL)	kleurstof (ZL, IR)	HeNe (ZL)	Diodelaser (ZL, IR)	Nd:YAG (IR, ZL)	CO ₂ (IR)
ICT					1, 2		
(Para)medisch	4	4	4	2, 3	2, 3	4	4
Uitlijnen, aanwijzen, scannen				2, 3	2, 3		
Materiaal-bewerking	4			2	2	4	4
Wetenschap	2-4	3, 4	2-4	2, 3	1-4	3, 4	3, 4
Snelheidscontrole en afstandsmeting				1-3	1-3		
Amusement		4		2-4	2-4	4	

Soms wordt op een eenvoudige en flexibele wijze laserlicht getransporteerd door middel van fibers. In de telecommunicatie is het transport bedoeld voor het overbrengen van informatie, bij medische toepassingen voor het transporteren van energie en bij toepassingen in de amusementswereld van zichtbaar licht. Omdat de bundel die uit de fiber treedt in het algemeen een grotere divergentie heeft dan de oorspronkelijke laserbundel, zijn de risico's voor huid en oog van uit fibers tredend laserlicht doorgaans lager dan van de oorspronkelijke laserbundel. Dit verschil in risico verdwijnt indien de uit de fiber tredende bundel met behulp van optiek weer wordt gefocusseerd of tot een smalle bundel wordt getransformeerd.

3. LASERTOEPASSINGEN VOOR AMUSEMENTSDOELEINDEN

Om een beeld te verkrijgen van de opbouw van lasershowsystemen en hiermee van de mogelijke gezondheidsrisico's wordt in dit hoofdstuk een globale schets gegeven van de gebruikte opstellingen en technieken.

3.1 Lasers en hun eigenschappen

Interessant voor amusementsdoeleinden zijn de lasers die verschillende kleuren licht uitzenden, zodat een show in combinatie met muziek aantrekkelijk wordt voor het publiek. Veel gebruikte lasers in de lasershowbranche zijn weergegeven in Tabel 4 [6].

Het mengen van de kleuren rood, blauw en groen licht in gelijke 'hoeveelheden' geeft wit licht. De krypton/argon-laser bijvoorbeeld is een gaslaser die licht uitzendt in het rode, blauwe en groene deel van het spectrum (zie Tabel 4), die tezamen een witte lichtbundel vormen. In de lasershowbranche worden deze lasers veel gebruikt. De verschillende kleuren kunnen in intensiteit worden aangepast door gebruik te maken van een akoesto-optische modulator (AOM) [7].

Een andere veel gebruikte laser is de frequentie-verdubbelde Nd:YAG-laser. Het laserlicht kan zowel continu als gepulst (Q-switched) worden uitgezonden. Deze laser kan worden 'gepompt' door middel van een flitslamp of een diodelaser.

Voor zowel de verschillende toegepaste hoogvermogen gaslasers (Ar-, Kr- en Ar/Kr-laser) als de flitslamp gepompte 2f Nd:YAG-laser geldt dat het rendement van de laser laag is, d.w.z. er is veel meer (pomp)energie nodig dan er aan nuttige bundelenergie uitkomt. Om een laserbundel van 10 W te genereren zijn er vele (tientallen) kW's aan elektrisch vermogen nodig. Vanwege dit surplus aan inputvermogen moet de laser vervolgens weer gekoeld worden. Hoge inputvermogens en het noodzakelijk gebruik van hoogspanning, waterkoeling en ingewikkelde optiek maken de voor grote lasershows toegepaste lasers duur en complex.

3.2 Technieken

3.2.1 Grafische beelden, bundels en audience scanning

Bij lasershows zijn twee typen visuele effecten te onderscheiden die zowel tegelijkertijd als apart worden toegepast:

1. bundeleffecten, waarbij de laserbundel zichtbaar is in de vrije ruimte, en
2. grafische afbeeldingen, waarbij de lichtbundel op een scherm wordt geprojecteerd en figuren worden getoond.

Bij het genereren van bundeleffecten wordt gebruik gemaakt van kooldioxide, rook of olie- of waterdruppeltjes (zeer fijne regen); een fractie van de laserbundel

wordt aan deze deeltjes verstrooid.

Bij het genereren van bundeleffecten kan, door gebruik te maken van vaste of beweegbare spiegels, de illusie worden gewekt dat er meerdere lasers tegelijkertijd worden toegepast. Deze spiegels kunnen in de ruimte waar de show wordt gegeven worden gemonteerd, bijvoorbeeld op luidsprekerboxen. Beweegbare spiegels worden over het algemeen bewogen op het ritme van de muziek die voor de show wordt gebruikt.

Het zogenaamde audience scanning houdt in dat één of meer laserbundels in het publiek worden geschonden voor het genereren van bundeleffecten. Bepaalde richtlijnen voor het geven van lasershows stellen dat bij audience scanning de MPE-waarden binnen een gedefinieerd volume niet mogen worden overschreden (zie paragraaf 5.2).

Grafische afbeeldingen op een scherm worden gemaakt door de laserbundel m.b.v. een X- en Y-scanner met een hoge frequentie in twee richtingen te bewegen (zie volgende paragraaf voor details). Daarnaast maakt men gebruik van ‘z-blanking’, het gedurende korte tijd uitschakelen van de laserbundel. Dit laatste is vergelijkbaar met het optillen van een pen tijdens het tekenen van een figuur [6].

3.2.2 Sturing van de laserbundels

Naast vaste of langzaam beweegbare spiegels in de ruimte wordt er echter steeds meer gebruik gemaakt van spiegels van een kleiner formaat die gemonteerd zijn op een asje dat wordt aangedreven door een kleine motor, waarmee de laserbundel zeer snel in één vlak kan worden bewogen. Deze zogenaamde scanners bevinden zich fysiek meestal dicht bij het lasersysteem (het primaire optische systeem). Met twee scanners die onder een hoek van 90° ten opzichte van elkaar bewegen, kan men grafische afbeeldingen maken. Wanneer de aandrijfas van de spiegeltjes met een voldoende hoge frequentie roteert, doorloopt de laserbundel het gekozen pad zo snel dat een stilstaand beeld wordt waargenomen. Bij scanfrequenties boven 30 Hz zal het beeld voor de meeste waarnemers vrij van flikkeren zijn [6].

Spiegeltjes gemonteerd op een aandrijfas verbonden aan een galvanometer worden galvanometerscanners genoemd. Het nauwkeurig afregelen van de elektrische spanning over de galvanometer resulteert in een gecontroleerde beweging van de spiegel en daarmee een nauwkeurige beweging van de laserbundel. Typische maximale rotatiefrequenties van commercieel verkrijgbare galvanometer-scanners liggen in de orde van enkele honderden hertz.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen open-loop en closed-loop galvanometers [8]. Bij een open-loop galvanometer ontbreekt een mechanische terugmelding van de momentane stand van de aandrijfas. Bij een closed-loop galvanometer vindt deze terugmelding wél plaats. Bij een open-loop galvanometer hangt het dus van de precisie van de mechaniek af hoe herhaalbaar de laserstraal afgebogen zal worden. Het is daarbij mogelijk dat de instelling gaandeweg onbedoeld verloopt.

Alle genoemde onderdelen zijn gemonteerd op een primaire optische bank die de

basis vormt voor de feitelijke lasershow. Het laserlicht wordt met zo weinig mogelijk vermogensverlies vanaf de uittree-spiegel van de laser naar één of meer van deze galvanometer-scanners getransporteerd. Het gebruik van fibers maakt het mogelijk om het licht zonder al te veel verliezen over een afstand van maximaal 100 meter te transporteren.

Tabel 4: Gebruikte lasers voor amusementsdoeleinden, met de belangrijkste laser emissielijnen. De sterkste lijnen (per type laser) zijn vet weergegeven.

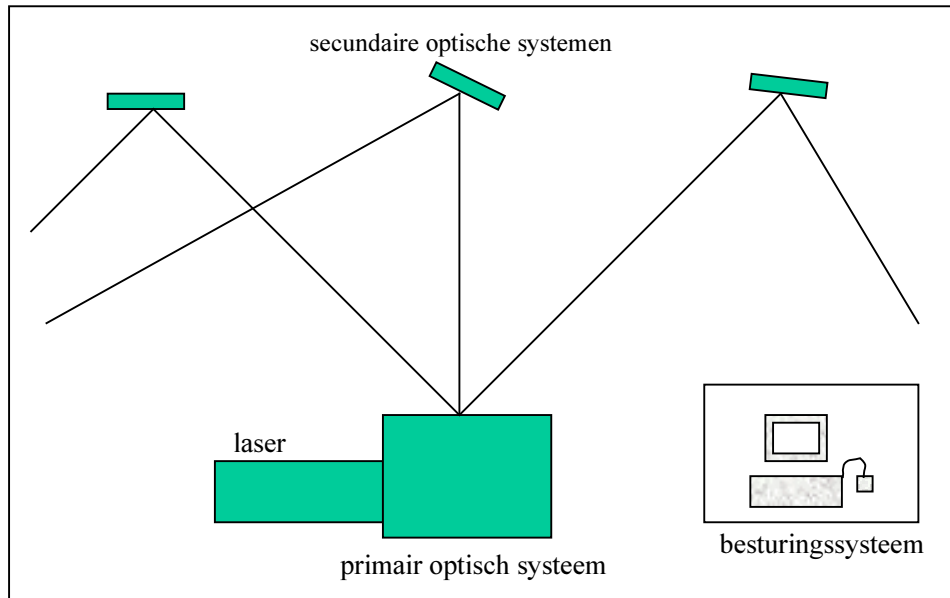
Laser	Golflengte (nm)	Kleur	Energieafgifte
Helium-Neon	543,5 594,1 604,0 611,9 632,8 640,1	groen oranje oranje-rood oranje-rood rood rood	continu
Argon	457,9 476,5 488,0 514,5	blauw blauw blauw-groen groen	continu
Krypton	468,0 530,9 568,2 647,1 676,4	blauw groen geel-groen rood rood	continu
Gasmengsel (Kr/Ar)	457,9 468,0 488,0 514,5 530,9 568,2 647,1 676,4	blauw blauw blauw-groen groen groen geel-groen rood rood	continu
Nd:YAG (2f)	532	groen	continu/gepulst
Diodelaser	divers	rood-infrarood	continu/gepulst

De verschillende optische-mechanische componenten worden digitaal aangestuurd door gebruik te maken van software die speciaal hiervoor is ontwikkeld [6]. De programmeur van de show kan hiermee verschillende afbeeldingen genereren waarna de software de positie en het aantal punten uitrekent om de uiteindelijke afbeelding ‘netjes’ te kunnen weergeven. Bij het maken van bijvoorbeeld een vierkant zijn er meer punten in de hoeken nodig om er zeker van te zijn dat de galvanometerscanners voldoende vertragen. De verplaatsing van de bundel per tijdseenheid moet namelijk voldoende klein zijn om een scherpe hoek te kunnen vertonen.

3.3 Opstellingen

De opstellingen voor lasershows zijn in te delen in mobiele en vaste. De mobiele opstellingen worden eenmalig op een bepaalde locatie gebruikt, bijvoorbeeld voor een bedrijfspresentatie of bij evenementen, terwijl de vaste opstellingen zich voor herhaald gebruik lenen. Deze opstellingen bevinden zich bijvoorbeeld in discotheken en pretparken.

Zowel mobiele als vaste opstellingen bestaan globaal uit drie onderdelen: (1) de laser, (2) de primaire en secundaire optische systemen, en (3) het besturingssysteem dat de onderdelen aanstuurt (Figuur 2). Transport van laserlicht naar de secundaire systemen gebeurt soms door gebruik te maken van fibers.



Figuur 2: Schematische weergave van de opbouw van een systeem voor het geven van lasershows (ontleend aan [6]).

4. RISICO'S SPECIFIEK VOOR AMUSEMENTSLASERS

4.1 Risico-beoordeling

Risico's van amusementslasers voor het publiek hangen onder andere samen met de wijze waarop de apparatuur is opgesteld, de gebruikte effecten en de aanwezigheid van reflecterende of brandbare materialen. Om gestructureerd inzicht te verkrijgen in aanwezige risicofactoren heeft men aan de Loughborough University (UK) een generiek stroomschema ontwikkeld dat gebruikt kan worden bij beoordelingen. Dit is gebeurd naar aanleiding van onderzoek naar de wijze waarop veiligheidsadviseurs omgingen met de risicobeoordeling van lasershows. Hieruit kwam naar voren dat er over het algemeen geen gestructureerde benadering werd gehanteerd. De NRPB heeft dit stroomschema verder uitgebreid [6].

In het stroomschema wordt de beoordeling in drie stukken opgedeeld: die van de laser zelf, die van het systeem dat de bundels de ruimte inzendt, en die van de omgeving en het proces achter de lasershow in het algemeen. Deze drie delen zijn weer onder te verdelen in een aantal componenten die individueel bekeken worden om zoveel mogelijk risico's te identificeren. Deze componenten worden in de volgende paragraaf behandeld, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen personeel en publiek.

4.2 Risicofactoren

4.2.1 Risico's voor het publiek

Optische systemen

Fouten in de optische systemen kunnen tot gevolg hebben dat de aanvankelijk snel bewogen laserbundel tot stilstand komt en op het publiek wordt gericht. In het ergste geval komt de bundel direct in het oog van een toeschouwer terecht.

De primaire en secundaire optische systemen bevatten optische componenten zoals spiegels die gemonteerd zijn in de ruimte waar de show plaatsvindt. Een risicofactor wordt hier gevormd door laserlicht dat in het publiek wordt gericht met opzet of door gebreken aan de montage van de spiegel of het wegvallen van de spanning over de galvanometer. Gebreken aan de montage kunnen tot gevolg hebben dat de positie of richting van de spiegel verandert of zelfs van de bevestiging loslaat. Een rigide en veilige montage is dan ook van groot belang. Bewegende onderdelen zoals spiegelbollen en draaiende spiegels verdienen als secundaire systemen speciale aandacht. Een bug in de software kan eveneens stilstaande spiegels en dus stilstaande bundels tot gevolg hebben, hoewel dit een fout is die meer onder de categorie 'risicofactoren besturingssysteem' hoort [1].

Licht afkomstig van een boven het publiek opgestelde laser die niet geheel horizontaal staat, maar enigszins naar voren helt, zal op een bepaald punt in het publiek schijnen. Vergelijking met de maximaal toelaatbare blootstelling moet dan uitwijzen hoe groot het risico is bij een dergelijk voorval.

Publiek

Het publiek kan eveneens een bijdrage leveren aan risico's voor zichzelf en voor anderen. De mogelijkheid bestaat dat mensen reflecterende voorwerpen in de laserbundel brengen en hiermee de laserbundel op zichzelf of andere toeschouwers richten. Tevens moet beoordeeld worden of er een kans bestaat op blootstelling aan laserlicht op plaatsen waar het publiek zich mogelijk buiten afgezet gebied kan begeven.

Omgevingsfactoren

In de ruimte waar de show wordt gegeven, kunnen zich reflecterende objecten bevinden. Daarnaast kan er zich materiaal bevinden dat licht ontvlambaar is. De bestraling van deze materialen met laserlicht kan tot brandgevaarlijke situaties leiden.

Bij lasershows die buiten worden gegeven moet tevens met de weersomstandigheden rekening worden gehouden. Bij harde wind moet aan de bevestiging van de optische systemen, het projectiescherm en secundaire onderdelen uit veiligheidsoogpunt extra aandacht worden besteed.

Audience scanning

Audience scanning is een vorm van het genereren van bundeleffecten waarbij snel fluctuerend laserlicht met opzet naar het publiek gericht wordt. Dit is in sommige landen verboden, terwijl andere landen een ruimtelijk volume aangeven waarbinnen de maximaal toelaatbare blootstelling niet mag worden overschreden (zie hiervoor paragraaf 5.2) [6, 9]. De kwantificering van het risico is over het algemeen lastig vanwege de veelheid aan effecten die tijdens een show worden getoond.

Metingen aan lasershows

Corder *et al.* hebben metingen verricht aan scannende laserbundels [10]. Hieruit concluderen zij dat internationaal geaccepteerde MPE-waarden kunnen worden overschreden. Daarnaast bevelen zij o.a. aan om meetapparatuur te gebruiken die in staat is om individuele pulsen te onderscheiden, dit in tegenstelling tot thermische instrumenten die alleen het gemiddeld uitgezonden vermogen bepalen.

De Entertainment Laser Association (ELA) in het Verenigd Koninkrijk start begin 2000 een onderzoek naar de veiligheid van audience scanning-technieken [11]. Dit onderzoek wordt enerzijds gefinancierd door de overheid via de Health and Safety Executive (HSE) en anderzijds door het bedrijfsleven. Het onderzoek bestaat uit vier onderdelen:

1. Er zullen metingen verricht worden van typische blootstellingsniveaus voorkomend bij lasershows en de uitkomsten zullen met de MPE-waarden vergeleken worden.
2. ELA zal de regelmaat waarmee lichtpulsen leden van het publiek bereiken,

onderzoeken.

3. Een producent van lasers zal nauwkeurige metingen aan typische bundeldivergenties en scansystemen verrichten.
 4. Maximale scantempi en scanhoeken zullen geëvalueerd worden.
- Het rapport met de resultaten wordt eind 2000 verwacht.

4.2.2 Risico's voor personeel

Laser

Klasse 4 gaslasers, zoals de Kr/Ar-laser, werken met hoge voltages (kV-bereik), en kunnen daarmee een gezondheidsrisico vormen. De omvang van het apparaat vraagt daarnaast om voorzichtigheid bij transporten en bij de installatie en afbouw van de lasershow.

Ultraviolette straling van de pomp van de flitslampgepompte Nd:YAG-laser zou vrij kunnen komen als de kap verwijderd is. Volgens O'Hagan *et al.* bevatten sommige gepulste lasers thyratrons die mogelijk radiofrequente straling en röntgenstraling uitzenden [6]. Daarnaast kan de combinatie van waterkoeling en elektriciteitsvoorziening (hoogspanning) gevaar voor kortsluiting opleveren.

Verbindingen tussen onderdelen

Bij transport van laserlicht van de laser naar de primaire of secundaire optische systemen moet zo weinig mogelijk licht ofwel energie verloren gaan. Dit kan o.a. worden bereikt door het primaire optische systeem dicht bij de laser te plaatsen. Bij een open systeem bestaat er kans op blootstelling aan laserlicht als reflecterende voorwerpen zoals schroevendraaiers in de bundel worden gebracht. Dit risico geldt voor technici die betrokken zijn bij installatie en onderhoud van het systeem en voor personen in de omgeving van dit geheel.

Risicofactoren bij transport van licht door glasfibers zijn mogelijke schade aan de kabel of het (onbedoeld) loskoppelen van verbindingen waardoor personen kunnen worden blootgesteld aan laserlicht. Een voordeel van het gebruik van fibers is dat de laser zelf laag bij de grond kan blijven staan, zodat de kans op onwillekeurige verplaatsing of zelfs vallen geminimaliseerd wordt.

5. RICHTLIJNEN

Er bestaan diverse richtlijnen die direct of indirect betrekking hebben op blootstelling aan laserlicht en de toepassing van lasers voor amusementsdoeleinden. Hieronder wordt een beeld gegeven van bestaande advieswaarden en vormen van regulering in binnen- en buitenland.

5.1 Gezondheidskundige advieswaarden voor optische straling

Er zijn twee organisaties die gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan optische straling (infrarode straling, licht en ultraviolette straling) hebben gepubliceerd: de Gezondheidsraad en de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Deze gezondheidskundige advieswaarden geven het hoogste, nog gezondheidskundig verantwoorde niveau van blootstelling aan optische straling aan en hebben betrekking op zowel acute als chronische blootstelling. Medische toepassingen zijn uitgezonderd. Het beperken van stralingsniveaus tot onder de advieswaarden voorkomt het optreden van gezondheidsschade.

In 1992 bracht de Commissie Optische Straling van de Gezondheidsraad het advies 'Optische Straling' uit [12]. De aanbevolen advieswaarden worden onderscheiden naar type schadelijk effect en naar huid en oog: erytheem, hoornvlies- en bindvliesschade, thermische schade in huid en hoornvlies, staar en netvliesschade.

Vier jaar later publiceerde de ICNIRP een richtlijn met grenswaarden voor blootstelling aan *laser*licht in het golflengtegebied van 180 nm tot 1000 μm [13]. De ICNIRP baseert haar richtlijn op vele resultaten uit internationaal onderzoek en zijn van toepassing bij langdurige en acute blootstelling van de algemene bevolking. Richtlijnen van de ICNIRP worden in Europees verband vaak als maatgevend gezien en werden reeds opgenomen in aanbevelingen op Europees niveau [14]. Omdat de richtlijn van de ICNIRP zich specifiek op lasers als bronnen van optische straling richt en de Gezondheidsraad op alle bronnen van optische straling, zijn de richtlijnen moeilijk met elkaar te vergelijken.

Ter bescherming van werknemers tegen de negatieve effecten van laserlicht zijn Europese richtlijnen opgesteld waarin MPE-waarden worden gegeven die eveneens zijn gebaseerd op de schadegrenzen voor huid en oog. Deze zijn vastgelegd in de Nederlandse norm NEN-EN 60825 en is identiek aan IEC 825 [15]. Laserveiligheid voor werkgevers en werknemers valt in Nederland onder de werkingssfeer van de Arbowet [5, 16].

5.2 Regelgeving relevant voor toepassing van amusementslasers

In Nederland is het geven van lasershows niet vergunningplichtig en zijn er geen

wetten of richtlijnen die een uitspraak doen over de vereiste veiligheid van dergelijke shows. Wel is er voor het werken met hoog-vermogenlasers in 1997 een aparte richtlijn opgesteld in opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en het Ministerie van Economische Zaken [15].

In sommige andere landen zijn richtlijnen geformuleerd specifiek voor lasershows of moet er vooraf een vergunning worden aangevraagd, vooral in de omgeving van vliegvelden. De richtlijnen of aanbevelingen uit de Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk, Zwitserland en Duitsland zullen in deze paragraaf kort worden samengevat. Richtlijnen of wettelijke regelingen uit andere landen konden in die tijd beschikbaar voor het onderzoek niet worden verkregen.

Verenigd Koninkrijk

In het Verenigd Koninkrijk houden twee organisaties zich bezig met richtlijnen en aanbevelingen voor het toepassen van lasers voor amusementsdoeleinden. Dit zijn de Entertainment Laser Association (ELA) en de overheidsdienst Health and Safety Executive (HSE). ELA stelt zich tot doel het gebruik van lasers voor amusement te bevorderen en een gedragscode te ontwikkelen die het risico op gezondheidsschade voor operators en publiek minimaliseert. Dit wordt onder andere gedaan door HSE te voorzien van informatie [17].

Er is geen specifieke wetgeving voor het gebruik van lasers in de open lucht. ELA beveelt een aantal algemene veiligheidsmaatregelen aan, alsmede maatregelen ten aanzien van het uitlijnen van de lasers en het gebruik ervan bij het uitvoeren van een show. Enkele van de aanbevolen veiligheidsmaatregelen zijn dat gepulste lasers of lasers waarbij op pulsen kan worden overgegaan, niet mogen worden gebruikt bij audience scanning. Stationaire bundels mogen niet het publiek in worden gericht en het minimale scantempo moet 1 kHz zijn. Daarnaast moet de laser-showproducent lasershows die in de open lucht worden uitgevoerd melden bij de Britse Civil Aviation Authority (CAA). Voor een meer uitgebreide beschrijving van regelingen ter bescherming van de luchtvaart wordt verwezen naar paragraaf 5.3.

HSE staat in voor het controleren van risico's voor de gezondheid onder arbeidsomstandigheden in brede zin [18]. HSE heeft in 1996 een richtlijn uitgegeven die is bedoeld voor werkgevers en werknemers die lasers voor amusementsdoeleinden gebruiken, en voor bedrijven die de apparatuur vervaardigen of deze van uitgebreide informatie voorzien ten aanzien van laserveiligheid voor werkgever en werknemers [19, 20].

Maatregelen zijn alleen af te dwingen op basis van de Health and Safety at Work Act uit 1974, die vaak door lokale autoriteiten wordt gebruikt teneinde effectieve bescherming van zowel de beroeps- als de algemene bevolking te bereiken. De werkgevers zijn verantwoordelijk voor veilige en gezonde werkomstandigheden, voor zover redelijkerwijs realiseerbaar. Deze verantwoordelijkheid is ook van toepassing op alle aspecten van laserveiligheid [21].

Duitsland

In Duitsland keurt het Technische Überwachungs Verein (TÜV) lasershows voorafgaand aan de uitvoering. Details over de specifieke eisen die aan de uitvoering van shows worden gesteld, zijn niet bekend bij de auteurs van dit rapport. Uit de interviews met de lasershowproducenten is gebleken dat onder andere eisen worden gesteld aan de hoogte waarop de lasers en de spiegels zijn opgesteld.

Zwitserland

In Zwitserland is sinds 1996 een verordening (Verordnung) van kracht ter bescherming van het publiek tegen geluidshinder en schade door laserlicht bij evenementen [22]. Deze verordening houdt m.b.t. lasershows (artikel 8) in dat een show dusdanig moet worden verricht dat er geen laserstralen schadelijk voor het publiek worden uitgezonden. Als schadelijk geldt hier in het bijzonder laserlicht dat de MPE-waarde van de IEC voor directe inwerking op het hoornvlies overschrijdt. Daarnaast wordt gesteld dat in de regel geen risico's voor het publiek zullen optreden als lasershowinstallaties:

- a. geen laserstralen uitzenden lager dan 2,5 m boven de grond in gebouwen en 5 m in de open lucht,
- b. niet op spiegelende voorwerpen zoals spiegelbollen worden gericht,
- c. niet voor het publiek toegankelijk zijn, en
- d. niet door onverwachte gebeurtenissen zoals verplaatsing van het publiek of windstoten verplaatst kunnen worden.

Tijdens een lasershow mogen aan de installatie geen reparaties of andere verrichtingen zoals nieuwe instellingen of correcties aan het verloop van de bundel(s) uitgevoerd worden. Wie een lasershow wil uitvoeren, is verplicht melding hiervan te maken bij de verantwoordelijke instantie (artikel 9). Hij moet aantonen dat aan de bovengenoemde voorwaarden wordt voldaan.

Verenigde Staten

In de Verenigde Staten houden vier organisaties zich bezig met regulering van lasertoepassing voor amusementsdoeleinden: de Food and Drug Administration (FDA), de Federal Aviation Administration (FAA), het American National Standards Institute (ANSI) en de International Laser Display Association (ILDA). ILDA is het equivalent van het later in de UK opgericht ELA. Beide organisaties ondersteunen elkaars activiteiten.

Reeds in 1978 ondernam FDA actie om de risico's van lasershows voor het publiek tot een minimum te beperken [23]. In 1980 werd een publicatie uitgebracht die de verantwoordelijkheid voor lasershowveiligheid in kaart bracht [24]. In 1986 verscheen een herziene versie van deze publicatie waarin de mogelijke risico's, de voorschriften van de overheid en de individuele verantwoordelijkheden bij het geven van lasershows kort werden beschreven [24].

In deze herziene versie wordt onder meer gesteld dat voor elke lasershow minstens één maand vóór de geplande datum een aanvraag bij FDA ingediend moet worden. Deze aanvraag wordt goedgekeurd (er wordt een vergunning verleend) indien de show in zijn geheel voldoet aan de gestelde eisen qua veiligheid van de apparatuur, de omgeving waar de show plaatsvindt, en de veiligheid voor het publiek.

FAA is verantwoordelijk voor de coördinatie van het gebruik van het luchtruim voor verschillende doeleinden. FAA stelt daarom ook eisen aan lasershows ten aanzien van de veiligheid voor de luchtvaart (zie paragraaf 5.3).

Medio 1999 bracht ANSI een concept-standaard uit ter regulering van het gebruik van lasers in de open lucht (ANSI Z136.6: American National Standard for the safe use of lasers in the outdoor environment). In deze standaard wordt de rol van FDA en FAA beschreven en onder andere de coördinatie van lokale en regionale overheden ten aanzien van het veilig gebruik van lasers in de openlucht en de laserveiligheid voor het vliegverkeer geregeld (zie paragraaf 5.3).

Eén van de voorschriften beperkt het vermogen van lasers die gebruikt worden voor lasershows in de buitenlucht volgens deze standaard tot 5 mW. Een laser met dit vermogen is echter niet of nauwelijks geschikt om een show voor een groot publiek te vertonen. FDA moet een verhoging van het gebruikte vermogen formeel toestaan. Vóórdat een vergunning voor bijvoorbeeld het vergroten van het vermogen wordt verleend vraagt FDA bij FAA normaal gesproken een luchtvaarttechnische veiligheidsstudie aan [25]. Een ander voorschrift stelt eisen aan de mogelijke blootstelling aan laserlicht binnen het ruimtelijk volume waarin het publiek zich bevindt [24].

De veiligheidsmaatregelen die ILDA aanbeveelt voor audience scanning komen overeen met die van ELA. ILDA is een non-profit organisatie die zich toelegt op het ontwikkelen en promoten van professioneel gebruik van lasers voor amusement door het verstrekken van beurzen, het uitbrengen van technologische standaarden, richtlijnen voor laserveiligheid en een goede publieke dienstverlening. Leden van deze organisatie zijn bedrijven en non-profit organisaties die lasershows verzorgen en zich bezig houden met technologie op dit gebied.

ILDA beveelt bovendien aan binnen 30 meter van een laser de divergentie van de bundel te vergroten door een lens te gebruiken en benadrukt dat verhoging van het scantempo van een bundel in het algemeen geen verhoging van de laserveiligheid inhoudt. Verder wordt aanbevolen dat de producent aan het einde van de voorbereidingen een praktijktest uitvoert en hierbij zelf op de plaats van het publiek gaat staan (!). Als de laser de ogen doorkruist en de neiging bestaat om het hoofd af te wenden, dan worden de MPE-waarden waarschijnlijk benaderd of overschreden [26] en is bijstelling gewenst.

5.3 Richtlijnen voor lasershows in de omgeving van vliegvelden

In het concept van de eerder genoemde ANSI-standaard wordt tevens de laserveiligheid voor het vliegverkeer geregeld (zie paragraaf 5.2). FAA heeft hiervoor ruimtelijke vliegveiligheidszones bepaald waarbinnen beperkingen aan het uitgezonden vermogen van lasers worden gesteld [25, 27]. Tevens eist FAA dat zij ruim van te voren op de hoogte gesteld wil worden van de planning van een laser-show [28].

De eerder genoemde richtlijn van HSE uit 1996 (Verenigd Koninkrijk, zie paragraaf 5.2) geeft aan dat een goede procedure inhoudt dat een lasershowproducent zich ervan verzekert dat laserbundels geprojecteerd worden onder een hoek beneden het horizontale vlak en gestopt worden in een gebied waarover de uitvoerende lasershowproducent controle heeft [20]. Als dit niet realiseerbaar is en de show wordt binnen circa 20 km van een vliegveld (civiel of militair) gegeven, moet de Civil Aviation Authority (CAA) om advies worden gevraagd.

De CAA is het orgaan in het Verenigd Koninkrijk dat verantwoordelijk is voor het gebruik en de veiligheid van het luchtruim. In antwoord op ongerustheid in de Verenigde Staten over het gebruik van lasers in het luchtruim, publiceerde CAA in juli 1998 een richtlijn voor het gebruik in de open lucht van lasers, zoeklichten en vuurwerk. De National Radiological Protection Board (NRPB) en HSE hebben bij het opstellen van deze richtlijn een assiserende rol gespeeld. Een significant verschil tussen de CAA-richtlijn en de uitgave van FAA (7400.2D) is dat de CAA-richtlijn alle vormen van gebruik van laser in de open lucht behandelt en die van FAA alleen lasershows [27].

De CAA-richtlijn heeft als doel de luchtvaart te vrijwaren van risico's ten gevolge van activiteiten op de grond. Er wordt rond een luchthaven een kritische hoogte en omtrek gedefinieerd, het ruimtelijk kritisch volume, waarbinnen aangifte van een lasershow moet worden gedaan. Andere voorschriften betreffen het maximale piekvermogen van de gebruikte lasers, de communicatie tussen de luchthaven en de lasershowproducent en de richting waarin laserbundels in de omgeving van luchthavens worden gericht.

Aangifte van een lasershow moet tenminste 28 dagen vóór de geplande datum worden gedaan bij de Airspace Utilisation Section (AUS) van CAA en de desbetreffende luchthaven. Via een Notice to Airmen (NOTAM) worden details over het evenement aan het luchtvaartverkeer verschaft.

Sinds het verschijnen van de CAA-richtlijn is het aantal aangiften van shows, vooral door kleine lasershowbedrijven, toegenomen. Tussen januari en december 1998 werden 486 aangiften gedaan van activiteiten met lasers en zoeklichten. Circa 50% hiervan resulteerde in het uitbrengen van een NOTAM [29].

5.4 Veiligheidsmaatregelen in Nederland

Om een indruk te krijgen van regelingen door gemeenten gerelateerd aan het gebruik van lasers voor amusementsdoeleinden, is navraag gedaan bij de Vereniging van Nederlandse Gemeenten. Hieruit bleek dat in enkele gemeenten het gebruik van lasers in de buitenlucht ter discussie is gesteld. Gemeenten waarin dergelijke zaken hebben gespeeld zijn Zierikzee, Nijmegen en Hoorn [30, 31].

In Zierikzee werd een vergunning voor het plaatsen van een zogenaamde sky-beam-projector om de aandacht van het publiek te vestigen op een discotheek geweigerd [32]. In Nijmegen werd een blinde muur van een flatgebouw gebruikt als projectiescherm voor een reclame-afbeelding. Deze afbeelding werd op de muur

geprojecteerd met een ‘krachtige laserstraal’. Deze handeling viel onder het ‘op andere wijze aanbrengen van een afbeelding of aanduiding’ en door middel van het aanzeggen van bestuursdwang is de handeling gestopt [30]. In Hoorn betrof het een skybeam-projector die op het dak van een café was geplaatst. Door het gebruik van deze projector werd het nachtelijke (stedelijke) landschap van de binnenstad van Hoorn op onaanvaardbare wijze aangetast, aldus burgemeester en wethouders van Hoorn. De opstelling moest verwijderd worden [31].

In Nederland bestond tot in 1999 geen regelgeving voor het geven van lasershows in de omgeving van vliegvelden. TNO bracht in 1998 een rapport uit waarin wordt gesteld dat het gebruik van lasers in open lucht een ernstige bedreiging vormt voor de veiligheid van het luchtverkeer, vooral in de nabijheid van luchthavens. In het rapport worden openlucht laserdemonstraties als risicofactor voor de luchtvaart beschreven en voorlopige richtlijnen voor bescherming van het lucht-ruim opgesteld [33].

In navolging van FAA worden de MPE-waarden gebruikt voor het definiëren van daarmee corresponderende luchtbeveiligingszones aangeduid als Laser Free Zone (LFZ), Critical Flight Zone (CFZ), Sensitive Flight Zone (SFZ) en Normal Flight Zone (NFZ). Bij het vaststellen van de MPE's zijn vier niveaus onderscheiden: afleiding/verstoring, verblinding, flitsblindheid en lichtschade. Dit onderzoek vond plaats in opdracht van de Rijksluchtvaartdienst.

In 1999 heeft ATN-Nooitgedagt BV in opdracht van de Rijksluchtvaartdienst onderzoek verricht onder andere naar bestaande nationale en internationale wetgeving op het gebied van lasershows en naar mogelijkheden voor wet- en regelgeving ter verhoging van de vliegveiligheid rond luchthavens. In het onderzoeksrapport wordt aanbevolen een zonering rond luchthavens te creëren zodat kritische gebieden duidelijk worden geïdentificeerd en hieraan regulerende maatregelen voor het geven van lasershows kunnen worden gekoppeld [34]. Deze rapportage is te beschouwen als een specifieke aanvulling op de voorliggende inventarisatie.

6. GEBRUIK VAN LASERS VOOR AMUSEMENTSDOELEINDEN IN NEDERLAND

Lasershow's in Nederland worden gegeven in pretparken, discotheken en bij bedrijfspresentaties en evenementen, zowel binnen als in de open lucht.

6.1 Aard, frequentie en omvang van het gebruik

De vier geïnterviewde lasershowproducenten maken in hun shows gebruik van grafische effecten en bundeleffecten, waaronder audience scanning. De shows worden zowel in de buitenlucht als binnen gegeven en worden in alle gevallen uitgevoerd met een computer als besturingssysteem. Twee van de vier lasershowproducenten zijn lid van de ILDA.

De vier bezochte producenten domineren de Nederlandse markt voor lasershow's en refereren aan elkaar wanneer hen gevraagd wordt naar hun belangrijkste concurrenten. Samen bezaten ze in 1999 45 lasers, te weten: 7 Nd:YAG-lasers, 14 ArKr-lasers, 19 Ar-lasers, 1 Kr-laser, 2 HeNe-lasers en 2 diodelasers. Met uitzondering van de diode- en HeNe-lasers (maximaal 30 mW) zijn dit alle klasse 4-lasers met een maximaal vermogen tot 20 W. Het aantal shows per producent varieert van 20 tot 450 per jaar. Samen geven zij in totaal ongeveer 750 shows per jaar. Het aantal bezoekers varieert sterk van 20 tot 350.000 per show. Wanneer een show in de omgeving van een vliegveld wordt gehouden, maken de producenten hiervan melding bij de Rijksluchtvaartdienst.

De show in het telefonisch benaderde pretpark wordt verzorgd door één van de geïnterviewde lasershowproducenten. Een andere producent verhuurt lasersystemen aan discotheken. De lasershowinstallatie in één discotheek die telefonisch is benaderd, is in eigendom en beheer van de discotheekhouder. Het is vooralsnog moeilijk aan te geven op welke schaal lasershow's in discotheken plaatsvinden.

In het bezochte pretpark wordt de show drie tot vier keer per dag vertoond. Het aantal bezoekers per keer is ongeveer 1300. In de attractie in dit pretpark wordt de laser continu gebruikt gedurende de openingstijden van het park. Deze attractie kan door maximaal 2000 bezoekers per uur worden bezocht.

De drie geïnterviewde leveranciers verkopen de volgende typen lasers:

- Ar-laser
- Kr-laser
- Ar/Kr-laser
- Nd:YAG-laser

Alle geleverde lasers zijn van klasse 4 met een vermogen tussen 1 en 30 W. De nieuwe lasers kunnen geleverd worden ter vervanging van een oude laser of als nieuwe installatie. Twee leveranciers noemen de markt 'statisch', de derde leverancier zegt een toenemend aantal lasers te hebben geleverd.

Twee van de vier geïnterviewde lasershowproducenten verkopen ook lasers door. Deze lasers zijn onder andere afkomstig van twee van de drie geïnterviewde leveranciers. Door één lasershowproducent worden via deze weg circa 6 lasers per jaar verkocht. Het totale aantal lasers dat per jaar in Nederland verkocht wordt, bedraagt minimaal 22 en maximaal 33.

6.2 Deskundigheid, onderhoud en maatregelen

Er worden in Nederland geen specifieke eisen gesteld aan personen die lasershows produceren of uitvoeren. Uit de interviews blijkt dat de personen die met de lasers werken een technische achtergrond hebben. Bij één van de geïnterviewde lasershowproducenten worden laserveiligheids cursussen voor personeel verzorgd.

De geïnterviewde leveranciers sluiten geen onderhoudscontract af met de klant, omdat hiernaar over het algemeen geen vraag is. Voor reparatie wordt een enkele laser terug gezien. Eén leverancier geeft geen cursussen of trainingen op het gebied van de laser, de overige twee geven dit op aanvraag. Dit komt echter weinig voor. Twee leveranciers leveren een (Amerikaanse) handleiding bij de laser die tevens protocollen voor onderhoud bevat. Fabrikanten van lasers in de Verenigde Staten moeten voldoen aan de Code of Federal Regulations [6].

Eén van de vier geïnterviewde lasershowproducenten laat het onderhoud aan de lasers gedeeltelijk uitvoeren door de leverancier. De overige drie verrichten zelf het nodige onderhoud. Voor reparatie worden de lasers echter door alle lasershowproducenten bij de leverancier teruggebracht.

Zoals gezegd in paragraaf 5.2 bestaat er in Nederland geen regelgeving voor het geven van lasershows. Desalniettemin worden door de lasershowproducenten verschillende veiligheidsmaatregelen getroffen. Eén van de vier lasershowproducenten gebruikt de Duitse TÜV-norm voor de veilige uitvoering van de lasershows. Deze norm is bekend bij alle lasershowproducenten (zie bijlage IV). De overige drie gebruiken hiervoor geen specifieke richtlijn. In de gebruikte software is wel een aantal beveiligingen ingebouwd.

In de optische systemen wordt gebruik gemaakt van galvanometerscanners en AOM's. De gebruikte software voor het programmeren en uitvoeren van de shows is bij twee producenten zelf ontwikkeld en bij de andere twee heeft men een commercieel verkrijgbaar software-pakket aangeschaft.

Door de geïnterviewde lasershowproducenten werden de volgende veiligheidsmaatregelen genoemd:

- Wanneer de rotatiefrequentie van de spiegels (galvanometerscanners) te laag wordt, dat wil zeggen lager dan een vooraf bepaalde waarde, wordt de bundel computergestuurd afgeschermd met een sluiters.
- Voorafgaand aan de show worden de lasers zorgvuldig met een laag vermogen in een donkere ruimte getest, zodat de optische systemen goed af-

- gesteld kunnen worden en het pad van de bundels van tevoren bekend is.
- Voor de koeling van de lasers worden eisen gesteld aan de geleverde waterdruk.
 - De software laat toe een zogenaamde 'effect area' te definiëren, waarbuiten geen laserstralen kunnen worden uitgezonden.
 - Eén producent houdt tussen de laser en het publiek een afstand aan van minimaal 4 meter. Een andere producent houdt deze afstand op 10 meter.
 - Bij het wegvallen van de spanning over een spiegel wordt de spiegel automatisch omhoog gedraaid, aldus één producent.
 - Bij één producent is een noodknop op de laserinstallatie gemonteerd, die handmatig ingedrukt kan worden, waarna het gehele systeem wordt uitgeschakeld.
 - Een show kan door middel van één toetsaanslag op de besturende computer volledig stilgelegd worden.
 - De sluiters, de AOM en de spiegels (galvanometerscanners) zijn in serie geschakeld. D.w.z. dat de sluiters is geopend wanneer deze onder spanning staat. Als de spanning over de spiegels of het kristal wegvalt, valt dus ook de sluiters dicht zodat de bundel wordt afgeschermd.
 - In de commercieel verkrijgbare software die door twee geïnterviewde producenten wordt gebruikt, zijn een minimale rotatiefrequentie van de spiegels en een minimum aantal punten van de afbeelding gedefinieerd.
 - Eén producent meldt expliciet dat spiegels zodanig worden opgesteld dat verandering van de positie van de spiegels door het publiek niet mogelijk is.
 - Eén producent met een show in het bezochte pretpark houdt een minimale afstand volgens de Duitse TÜV-norm aan tussen de vloer waarop het publiek zich bevindt en de laser of het secundaire optische systeem.
 - Een bug in de software komt vrijwel niet voor, en als het voorkomt, is dat tijdens de ontwikkeling (het programmeren) van de show. Een bug tijdens de show wordt ondervangen door de beveiliging(en) op de sluiters en de scanners.
 - Eén producent zegt dat veiligheidsmaatregelen op basis van ervaring worden getroffen.

6.3 Overige amusementstoepassingen

Tegenwoordig is het ook mogelijk zogenaamde lasergames in speciaal daarvoor ingerichte amusementscentra te spelen. Bij dit spel kunnen spelers elkaar beschieten met een 'laserpistool'. Op de pakken die bij dit spel gedragen worden, bevinden zich sensoren die een treffer registreren en de identiteit van de aanvaller door middel van codering kunnen herkennen en opslaan in een computersysteem.

Zes bedrijven die deze lasergames verzorgen zijn telefonisch benaderd. Vier van de zes melden dat er ook werkelijk lasers worden gebruikt. De overige twee geven aan dat er infrarood licht wordt gebruikt. Twee van de zes bedrijven melden expliciet dat de lasers van klasse 2 zijn. Voor informatie-overdracht (code van de aanvaller) wordt – volgens 2 van de bedrijven – naast de laser gebruik gemaakt van infrarood licht. De twee bedrijven die over het aantal bezoekers informatie

wilden verstrekken, hebben er samen jaarlijks circa 110.000.

6.4 Incidenten in Nederland

Er worden door de geïnterviewden geen incidenten met nadelige gevolgen voor het publiek genoemd. Bij één lasershowproducent heeft echter wel een bedrijfsongeval plaatsgevonden. Hierbij liep een medewerker ernstige schade aan een oog op. Eén producent noemde een muzikant van een orkest die na de show last had van een branderig gevoel in het oog. Hoelang de oogklachten bij deze persoon aanhielden is niet bekend.

Voor deze studie zijn ook het Letsel Informatie Systeem (LIS) en een Krantenknipselregistratie van de Stichting Consument en Veiligheid geraadpleegd. In LIS staan slachtoffers geregistreerd die na een ongeval zijn behandeld op een Spoedeisende Hulp-afdeling (SEH-afdeling) van een selectie van ziekenhuizen in Nederland. Deze ziekenhuizen vormen een representatieve steekproef van ziekenhuizen met een continu bezette SEH-afdeling in Nederland. Dit maakt het mogelijk om cijfers op nationaal niveau af te schatten.

Van beide, LIS en knipselregistratie, is de periode 1987-1999 geanalyseerd [35, 36]. Ongevallen waarbij op enigerlei wijze in de toedrachtsoomschrijving de term 'laser' werd genoemd zijn geselecteerd.

In de Krantenknipselregistratie is geen krantenbericht gevonden over ongevallen met lasers. In het LIS zijn in totaal 54 ongevallen geregistreerd waarbij 'laser' in de ongevalsbeschrijving wordt genoemd. Voor 1994 werden geen ongevallen met laserstralen geregistreerd. Daarna loopt het aantal ongevallen op met de jaren.

Van de 54 opgespoorde ongevallen zijn er 43 die zich tijdens lasergames hebben voorgedaan. Zeven ongevallen werden door een laserpen veroorzaakt en vallen buiten het kader van dit onderzoek. Er is slechts één geval geregistreerd van een persoon die last had van rode ogen na het bezoeken van een lasershow. De overige drie registraties betroffen ongevallen die niets met lasers te maken hadden, maar waarin wel het woord laser werd genoemd.

Zes van de 54 slachtoffers liepen oogletsel op: de persoon die een lasershow had bezocht, en vijf slachtoffers die door een laserpen in het oog werden getroffen. Geen enkele bezoeker van een lasergame liep oogletsel op. Ongeveer tweederde van de ongevallen betrof vallen, inclusief verstappen of verzwikken. De andere slachtoffers botsten tegen iets aan (bijvoorbeeld tegen een pistool of een andere persoon). Circa 15% van de slachtoffers liep een fractuur op bij het spel. Daarnaast kwamen vooral veel open wonden, distorsies en oppervlakkig letsel (bijvoorbeeld kneuzingen en schaafwonden) als letsel voor. Geen enkel letsel was dus het directe gevolg van het gebruik van de lasers.

In de internationale literatuur wordt melding gemaakt van één enkel incident. In Duitsland is een geval bekend waarbij een patiënt zich 4 dagen nadat hij op het oog was getroffen door een laser in een discotheek meldde bij een arts [37]. Op

het moment van blootstelling bekeek de desbetreffende persoon een lasershow vanaf de dansvloer. Vanaf dat moment nam hij een blinde plek in zijn gezichtsveld waar. Oogheelkundig onderzoek wees schade uit in de vorm van een lijn op het netvlies die zeer waarschijnlijk veroorzaakt was door een laserbundel. In het getroffen oog werd een afname van het gezichtsvermogen vastgesteld, samen met een defect in het centrale gezichtsveld. Deze verschijnselen hielden aan gedurende de follow-up periode.

6.5 Incidenten bij personeel in de luchtvaart

In de luchtvaart hebben zich bij herhaling incidenten voorgedaan. Het betrof visuele afleiding of verstoring, verblinding en flitsblindheid van vliegtuigbemanning. In de omgeving van Las Vegas deden zich tussen 1993 en 1995 50 dergelijke incidenten voor [28, 38]. In 1996 vond een incident plaats bij Los Angeles (Skywest Airlines, vlucht 5410). Ook voor andere plaatsen worden zulke incidenten gemeld: Florida, Hawaii, New York, Ohio, Mississippi en Tennessee [33].

Las Vegas is in dit verband een speciaal geval [38]. Ten eerste ligt de binnenstad zeer dicht bij het hoofdvliegveld. In de binnenstad zijn vele hotels en casino's gevestigd waarop lasershows worden gegeven. Ten tweede worden deze shows elke avond vrijwel continu gegeven, in tegenstelling tot andere lasershows die vaak korter zijn en slechts een of enkele avonden worden vertoond. Daarnaast hebben regelgevers en lasershowproducenten zich destijds niet voldoende gerealiseerd welk risico voor de vliegveiligheid ontstaat bij tijdelijke flitsblindheid.

Het aantal incidenten met lasers rondom luchthavens in Nederland is beduidend lager dan in de Verenigde Staten. Tussen januari en april 1998 heeft het Air Traffic Control centrum op Schiphol Airport acht klachten ontvangen tijdens activiteiten met lasers [33].

In de literatuur zijn verder alleen incidenten gevonden die hebben plaatsgevonden in laboratoria waar met lasers wordt gewerkt of bij militaire toepassingen van lasers [39, 40].

7. CONCLUSIES

De aard en omvang van lasertoepassingen voor amusementsdoeleinden, en de hiermee samenhangende risico's en veiligheidsaspecten zijn geïnterviewd. De inventarisatie is beperkt tot facetten relevant voor de blootstelling van het publiek. Hiertoe zijn leveranciers en gebruikers van laserapparatuur voor lasershows, lasergames en discotheken geïnterviewd en zijn relevante aanbevelingen, regelgeving, incidentregistraties en wetenschappelijke literatuur geraadpleegd.

In Nederland zijn naar schatting enkele tientallen producenten van lasershows of -games actief, inclusief pretparken die attracties hebben waar lasers worden toegepast. De vier bezochte lasershowproducenten domineren de Nederlandse markt. Bij hen waren in 1999 in totaal 45 hoofdzakelijk klasse-4 lasers in gebruik, zijnde lasers waarvan zelfs de diffuse verstrooiing schadelijk kan zijn voor het oog. Het betrof hier vooral Ar-lasers (41%), ArKr-lasers (30%) en Nd:YAG-lasers (15%). De grootste producenten verzorgen honderden shows per jaar met tot 350.000 bezoekers. Jaarlijks worden in Nederland 20 à 30 lasers voor shows verkocht als uitbreiding op of ter vervanging van bestaande apparatuur. De circa 20 beheerders van lasergames gebruiken overwegend klasse 2 diodelasers die (infra)rood licht uitzenden.

Veiligheidsmaatregelen hebben enerzijds betrekking op beveiliging van apparatuur ('noodknoppen', sluiters die de bundel afschermen bij het disfunctioneren van belangrijke onderdelen, etc...) en anderzijds door aandacht te besteden aan het scheiden van het publiek van apparatuur en laserstralen.

In Nederland bestaat geen regelgeving voor het geven van lasershows en de opbouw van de installatie in relatie tot het waarborgen van de veiligheid van het publiek. Wel bieden de gezondheidkundige advieswaarden voor blootstelling aan optische straling uitgebracht door de Gezondheidsraad in 1993 enig houvast bij het beoordelen en zonodig voorkomen van gezondheidsschade [12].

In Duitsland worden lasershows vooraf gekeurd door het Technische Überwachungs Verein (TÜV) [34]. In Zwitserland bestaat een meldingsplicht waarbij de uitvoerende producent moet aantonen dat aan bepaalde voorwaarden ter bescherming van het publiek wordt voldaan [22]. In het Verenigd Koninkrijk bestaan geen bindende voorschriften specifiek voor lasershows. Wel zijn, onder andere van overheidswege, richtlijnen uitgebracht om veilig gebruik van lasers te bevorderen. Slechts het geven van shows in de omgeving van luchthavens is meldingsplichtig waarbij bijvoorbeeld aan het piekvermogen en de richting van de bundels grenzen worden gesteld. In de Verenigde Staten is het geven van iedere willekeurige show vergunningplichtig, waarbij eisen worden gesteld aan de apparatuur, de veiligheid van het publiek en, waar van toepassing, de veiligheid van het vliegverkeer. Een internationale organisatie die lasertoepassing als de hier behandelde promoot, heeft aanbevelingen gepubliceerd waarin onder andere limieten aan de blootstelling van het publiek worden gesteld [6].

Alle geïnterviewde lasershowproducenten stellen de Rijksluchtvaartdienst in kennis van een lasershow in de omgeving van een luchthaven zonder hiertoe wettelijk verplicht te zijn. Recent onderzoek beveelt evenwel aan om ook in Nederland het organiseren van lasershows nabij luchthavens te reguleren [33] en bekwaamheidseisen op te stellen voor personeel dat de apparatuur bedient [34].

Het gebruik van bundels die in het publiek worden gericht ('audience scanning') staat ter discussie omdat de maximaal toelaatbare blootstelling overschreden zou kunnen worden [10]. In Engeland loopt onderzoek naar de veiligheid van audiencescanning-technieken. Hierin worden onder andere metingen verricht aan typische blootstellingsniveaus bij lasershows. Het rapport met de resultaten wordt eind 2000 verwacht [11].

In de onderzochte Nederlandse incidentregistraties is één melding gevonden van een persoon die last had van rode ogen na het bezoeken van een lasershow [35, 36]. Er zijn geen meldingen gevonden van oogletsel bij bezoekers van een laser-games. Het enige in de internationale literatuur gevonden incident m.b.t. lasershows beschrijft de afname van het gezichtsvermogen en een persistent defect in het centrale gezichtsveld bij een door een laserstraal getroffen discotheekbezoeker [37]. Incidenten in de luchtvaart hebben, vooral in de Verenigde Staten, vaker plaatsgevonden. In Nederland is dit aantal relatief laag. In 1998 heeft het Air Traffic Control centrum op Schiphol Airport tussen januari en april acht klachten tijdens activiteiten met lasers ontvangen [33].

Samenvattend kan worden gesteld dat de groep gebruikers van amusementslasers beperkt is, maar de omvang van de toepassing groot. Gezien de prijsstelling van de apparatuur, en de aard en de omvang van de markt, is een sterke toename van het aantal gebruikers niet te verwachten. Het aantal geregistreerde incidenten is minimaal en de mate van zelf-controle bij de gebruikers is momenteel behoorlijk. Er zijn geen argumenten op basis waarvan verwacht kan worden dat dit in de nabije toekomst zal veranderen. Omdat onoordeelkundig gebruik gevaar kan opleveren voor werknemers, publiek en, op bepaalde locaties, voor vliegtuigpersoneel, is het evenwel aan te bevelen om in navolging van bijvoorbeeld het Verenigd Koninkrijk de branche te stimuleren tot het formuleren van aanbevelingen of zelfs van dwingende voorschriften ('zelf-regulering'). Hierbij valt te denken aan voorschriften betreffende de gebruikte apparatuur, de opleiding van het personeel en veiligheidsmaatregelen om risico's voor het publiek te minimaliseren.

REFERENTIES

- 1 Day S. Lasers in places of public entertainment. *J. Radiol. Prot.* 1998; 18(2):139-40.
- 2 Sliney DH, Wolbarsht M. Safety with lasers and other optical sources. New York: Plenum Press, 1980.
- 3 International Electrotechnical Commission. Safety of laser products - Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide. Geneva: International Electrotechnical Commission, 1998; 60825-1.
- 4 American National Standards Institute. American National Standard for Safe Use of Lasers. Orlando: American National Standards Institute, 1993; Z136.1-1993.
- 5 Eggink GJ, Kaptein C, van Kempen RJ, van der Meulen FW, Teirlinck CJPM, Vaartjes SR. Rapport van de Nationale Commissie Laserveiligheid. Laserveiligheid in de gezondheidszorg. Leiden, 1993.
- 6 O'Hagan JB. Safety aspects of laser displays. *Rad. Prot. Dosim.* 1997; 72(3-4):241-8.
- 7 Baur D. Lasers in theorie en praktijk. Beek (L): Uitgeverij Segment B.V., 1997.
- 8 Baur D. Lasershow-systemen - techniek en zelfbouw. Beek: Uitgeversmaatschappij Elektoor B.V., 1992.
- 9 International Electrotechnical Commission. Part 3: Guidance for laser displays and shows. Safety of laser products. Geneva: International Electrotechnical Commission, 1995; 825-3.
- 10 Corder DA, O'Hagan JB, Tyrer JR. Safety assessments of visible scanned laser beams. *J. Radiol. Prot.* 1997; 17(4):231-8.
- 11 Hill P. Doubts over the safety of laser shows prompt more research. *Opto & Laser Europe* 2000; (71): 5.
- 12 Gezondheidsraad. Commissie Optische Straling. Optische straling. Den Haag, 1993.
- 13 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1000 μm . *Health Phys.* 1996; 71(5):804-19.
- 14 Raad van de Europese Gemeenschappen. Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999 betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz - 300 GHz. Publicatieblad Van De Europese Gemeenschappen 1999; 1999/519/EG.
- 15 Leummens MHL, Mossink JCM, Meijer J, Herber RFM. Nederlandse bijdrage Eureka project EU 643. Veiligheids- en gezondheidsaspecten van het werken met hoog-vermogenslasers. 97-37.
- 16 Aarts ACM, van Riet Paap KW. Arbeidsomstandighedenwet. Vol. Nederlandse Staatswetten. Zwolle: Editie Schuurman & Jordens 141, vierde druk. WEJ Tjeenk Willink, 1990.
- 17 Lytle D. The U.S. safety variance: what's required. *The Laserist* 1998; Spring.
- 18 Health and Safety Executive [Web Page]. Available at www.hse.gov.uk. (Accessed February 2000).
- 19 Health and Safety Executive. Controlling the radiation safety of display laser installations. HSE Books, 1996.

- 20 Health and Safety Executive. The radiation safety of lasers used for display purposes. HSE Books, 1996.
- 21 Walker SG. Lasers for display purposes. [E-mail aan van der Plas, M]. 31 January 2000.
- 22 Die Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft. Verordnung über den Schutz des Publikums von Veranstaltungen vor gesundheitsgefährdenden Schalleinwirkungen und Laserstrahlen (Schall- und Laserverordnung) [Web Page]. 24 January 1996; Available at http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_49/index.html#id-2. (Accessed 28 August 2000).
- 23 Milne MJ, Telles NC. Laser injuries [Letter to the Editor]. *J. Am. Med. Ass.* 1978; 240(4):240.
- 24 U.S. Department of Health and Human Services PHSFC. Laser light show safety - Who's responsible? 1986; HHS Publication FDA 86-8262.
- 25 Marshall WJ. Update of national standard for the safe use of lasers outdoors. *Journal of Laser Applications* 1999; 11(5):234-6.
- 26 Panel issues audience scanning guidelines. *The Laserist* 1999; Spring.
- 27 FAA Order 7400.2. Chap. 34, Miscellaneous procedures, Outdoor laser operations. Part 8, Procedure for handling airspace matters. 1993.
- 28 Weaver D. FDA acts on potential air safety hazard from outdoor laser light shows. *J. Laser Applic.* 1996; 8(2):62-3.
- 29 O'Hagan JB, Walker SG, Dowling FK. UK Civil Aviation Authority guidance on lasers in airspace. *ILSC '99 Proceedings*. Orlando: Laser Institute of America, 1999.
- 30 Jurisprudentie. [Gem. Nijmegen]. *De Gemeentestem* 1992; 6965:246-8.
- 31 Jurisprudentie. [Gem. Hoorn]. *De Gemeentestem* 1997; 7085:581-4.
- 32 Voorzitter Afdeling bestuursrechtspraak Raad van State. Aantasting beschermd stadsgezicht, lichthinder. [Gem. Zierikzee]. Nr. F03.95.0340; AB 1995/601 .
- 33 Walraven J, Toet A. Aviation safety hazards due to outdoor laser demonstrations; interim guiding principles for airspace protection. TNO Human Factors Research Institute, 1998; TM-98-C079.
- 34 Nooitgedagt Sj. Inventarisatie van apparatuur en equipment van lasershows. Heeg: ATN-Nooitgedagt BV, 2000.
- 35 Stichting Consument en Veiligheid. 21 December 1999. Ongevallen tijdens lasershows.
- 36 Stichting Consument en Veiligheid, Blankendaal, F. Letselgegevens. [E-mail aan van der Plas, M]. 14 January 2000.
- 37 Sachs HG, Baumgathuber N, Lohmann CP. Augenverletzung während einer Lasershow. *Klin. Monatsbl. Fur Augenheilk.* 1998; 212(3):163-5.
- 38 Murphy P. Aviation agency must teach pilots about lasers. *Photonics Spectra* 1996; 30(10):70-1.
- 39 Gabel V-P, Birngruber R, Lorenz B. Clinical observations of six cases of laser injury to the eye. *Health Phys.* 1989; 56(5):705-10.
- 40 Hudson DJ. Eye injuries from laser exposure. *Aviation, Space, Env. Med.* 1998; 69(5):519-24.

BIJLAGE I: VERZENDLIJST

- 1 - 10 Directie Gezondheidsbeleid van het Ministerie van VWS
- 11 Directie Curatieve Somatische Zorg van het Ministerie van VWS
- 12 Directoraat-Generaal Volksgezondheid van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
- 13 Voorzitter van de Gezondheidsraad
- 14 Depot van Nederlandse publicaties en Nederlandse bibliografie
- 15 Directie RIVM
- 16 Directeur Sector Risico's, Milieu en Gezondheid
- 17 Hoofd van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 18 Auteur
- 19 SBD / Voorlichting & Public Relations
- 20 Bureau Rapportenregistratie
- 21 Bibliotheek RIVM
- 22 Bibliotheek van het Laboratorium voor Stralingsonderzoek
- 23 - 27 Bureau Rapportenbeheer
- 28 - 50 Reserve-exemplaren LSO

BIJLAGE II: VRAGEN VOOR LASERSHOWPRODUCENTEN**LASERS**

1. Welke lasers (golflengten) worden voor de verschillende shows gebruikt?
2. Hoe zijn deze lasers geclassificeerd en wat zijn de gebruikte vermogens?
3. Wie is de leverancier van de lasers?
4. Wie voert het onderhoud aan deze lasers uit? Hoe ziet het onderhoudsprogramma eruit?
5. Worden de lasers verbouwd/versleuteld?

LASERSHOWS (buiten- en binnenshuis)

1. Wat is de frequentie van de lasershows en hoe groot is het (geschatte) aantal bezoekers per lasershow?
2. Welke technieken worden gebruikt voor de lasershows?
3. Welke stuursystemen worden gebruikt?
4. Worden software packages gebruikt voor de programmering van de shows, of is de bediening (gedeeltelijk) handmatig?
5. Is er een samenwerkingsverband in Nederland?

RICHTLIJNEN

1. Hoe is de bekendheid met de volgende richtlijnen:
 - ILDA Standards (International Laser Display Association)
 - IEC-norm 60825 (International Electrotechnical Committee)
 - NEN-EN / EN-207
 - Richtlijn Optische Straling Gezondheidsraad
 - Tuv-norm
 - Richtlijn ICNIRP (1996)
 - FDA (Food and Drugs Administration)
 - FAA (Federal Aviation Agency)
 - Richtlijnen voor het geven van lasershows in de omgeving van vliegvelden
 - ANSI (American National Standards Institute)
2. Welke richtlijnen zijn geïmplementeerd en hoe gebeurt dit?

RISICO'S

1. Hoe is de bekendheid met gezondheidsrisico's van lasers?
3. Welke veiligheidsmaatregelen worden getroffen?
2. Hebben zich incidenten voorgedaan op een van de volgende gebieden:
 - straling
 - elektrische effecten
 - mechanische effecten?
3. Wat is de frequentie van deze incidenten en (waar) worden deze incidenten gemeld?
4. Wat was de aard van deze incidenten?
5. Zijn de volgende fouten wel eens voorgekomen:
 - een bug in de gebruikte software
 - het vervallen van de ondersteuning van de galvanometers
 - het loslaten van een spiegel van een aandrijfmechanisme
 - een onderbreking van de voeding van de galvanometers?
6. Wordt aan enige vorm van risico-beoordeling gedaan?

BIJLAGE III: VRAGEN VOOR LEVERANCIERS**LASERS**

1. Welke lasers (golflengten) worden geleverd?
2. Aan wie worden deze lasers geleverd? Moet aan bepaalde criteria worden voldaan?
3. Hoeveel lasers worden geleverd?
4. Hoe zijn deze lasers geclassificeerd?
5. Wat wordt zoal bij de lasers bijgeleverd (bijv. veiligheidsvoorschriften)?
6. Voor welke toepassingen worden deze lasers gebruikt?
7. Is er een toename in het aantal geleverde lasers in de afgelopen 5 jaar?
8. Welke ontwikkelingen hebben een eventuele toename bewerkstelligd?
9. Wat zullen toekomstig nieuwe ontwikkelingen zijn qua toepassing en frequentie?

ONDERHOUD VAN DE LASERS

1. In welke mate wordt het onderhoud door de fabrikant verricht?
2. Welke opleidingen worden gegeven voor technici in de bedrijven waar de lasers toegepast worden?
3. Hoe ziet het onderhoudsprogramma er uit of hoe zou het er uit moeten zien in de instellingen?
4. Worden er met de levering protocollen voor onderhoud bijgevoegd?
5. Wat is de invloed van het NCL-rapport geweest op het verrichten van onderhoud?
6. Zijn nieuwe ontwikkelingen van invloed geweest op het onderhoudsprogramma?

INCIDENTEN

1. Hoe wordt omgegaan met incidenten op het gebied van:
 - chemisch/biologische effecten (o.a. rookontwikkeling, verbranding van materialen)
 - stralingsrisico's (foto-elektrisch, -mechanisch, -thermisch, -chemisch)
 - elektrische effecten
2. Hoe wordt melding van deze incidenten gedaan?
3. Wat is de frequentie van deze incidenten geweest in de afgelopen jaren?
4. Wat was de aard van deze incidenten?

BIJLAGE IV: BEKENDHEID VAN LASERSHOW-PRODUCENTEN MET RICHTLIJNEN

Richtlijn	producent 1	producent 2	producent 3	producent 4
ILDA Standards	X	X	✓	✓
IEC-60825	X	X	✓	X
NEN-EN 207	✓	X	✓	✓
‘Optische straling’	X	X	X	X
Gezondheidsraad				
TÜV	✓	✓	✓	~
ICNIRP	X	X	X	X
FDA	X	~	✓	X
FAA	X	✓	X	X
ANSI	X	✓	X	X

X = niet bekend

~ = gedeeltelijk bekend

✓ = bekend