
Laserpointers tegen het licht gehouden

Een risico-evaluatie

Adviesaanvraag



Laserpointers tegen het licht gehouden

Een risico-evaluatie

Nr 1999/03, Den Haag, 24 februari 1999

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:
Gezondheidsraad. Laserpointers tegen het licht gehouden. Een risico-evaluatie. Gezondheidsraad, 1999; publicatie nr 1999/03

Preferred citation:
Health Council of the Netherlands. Laserpointers held up to the light. A risk assessment. Health Council of the Netherlands, 1999; publication no. 1999/03

auteursrecht voorbehouden

all rights reserved

ISBN: 90-5549-255-8

Inhoud

Samenvatting *13*

Summary *15*

1 Inleiding *17*

2 Fysische eigenschappen van laserpointers *19*

2.1 Afmetingen en golflengte *19*

2.2 Vermogens en classificatie *20*

2.3 Divergentie en uitreediameter *22*

3 Biologische effecten *25*

3.1 Lichtzien *25*

3.2 Puntbeeld of veldbeeld? *27*

3.3 Thermische schade aan het netvlies *27*

3.4 Tijdelijke effecten en hinder *30*

4 Gezondheidskundige advieswaarden en veilige afstanden *33*

4.1 Vaststelling van de gezondheidskundige advieswaarde of blootstellingslimiet *33*

4.2 Minimale veilige afstand *34*

5	Risico van oogletsel door laserpointers	37
5.1	Fysische specificaties van een laser	37
5.2	De gebruiksomgeving	37
5.3	Gebruikers en blootgestelden	38
5.4	Potentiële blootstelling versus actuele blootstelling	38
5.5	Kans op schade	40

6	Internationale adviezen en voorschriften	43
---	--	----

	Literatuur	45
--	------------	----

	Bijlagen	47
A	Totstandkoming van dit rapport	49
B	Voorgeschreven waarschuwingsteksten volgens IEC-60825-1	51
C	Beschrijving van de klasse-indeling volgens IEC-60825-1	53
D	Afleiding van de NOHD	55

Samenvatting

Sinds enkele jaren zijn er kleine lasers op de markt, onder andere in de vorm van sleutel-hangers, zakmessen, pennen en creditcards. Het zijn diodelasers die rood licht uitzenden, veelal met een vermogen van 1 tot 5 mW. Dergelijke lasers fungeren bij voordrachten en lessen als de moderne versie van de aanwijsstok: laserpointers. Door de lage prijs en de vormgeving worden ze echter in toenemende mate als speeltje gebruikt en komen we ze tegen op straat, in de discotheek en in de schoolbanken. Deze lasers zijn vaak gelabeld volgens het Amerikaanse classificatiesysteem, en vallen dan in veiligheidsklasse 3A. Volgens het in Europa gehanteerde systeem moet dit echter 3B zijn, hetgeen wijst op een potentieel gevaar voor de ogen.

Lasers met voldoende vermogen kunnen netvliesverbranding veroorzaken. Om dit te voorkomen zijn, voor het eerst rond 1970, blootstellingslimieten opgesteld. Uit het vermogen, de uittreediameter en de divergentie van de bundel van de laser kan de minimale veilige afstand (NOHD, *nominal ocular hazard distance*) worden berekend, waarbuiten de blootstellingslimiet niet wordt overschreden. Deze ligt voor de meeste laserpointers in de orde van 5 tot 15 meter.

De blootstellingslimieten zijn gebaseerd op ED₅₀-waarden voor proefdieren (ED₅₀-waarden zijn bestralingsniveaus waarbij de helft van de proefdieren schade oploopt). De analyse van de relatie tussen deze en andere waarden en de blootstellingslimieten toont aan dat de kans op blijvend oogletsel zeer gering is bij blootstelling rond de limiet.

Verscheidene Europese landen, waaronder Nederland, achten klasse 3A- en 3B-lasers slechts geschikt voor professioneel gebruik door daarvoor opgeleid personeel,

en hebben inmiddels de verkoop van laserpointers in klasse 3A en 3B en de toepassing van klasse 2-lasers in speelgoed verboden. Dit is in de meeste gevallen ingegeven door meldingen van vermeend oogletsel. In de internationale ‘peer-reviewed’ literatuur is echter nog geen enkel geval van blijvend oogletsel door laserpointers aangetroffen. Uit onderzoek onder Nederlandse oogartsen is ook gebleken dat er nog geen geval van permanente schade is geconstateerd.

Wel kan bij blootstelling aan lagere vermogens hinder in de vorm van tijdelijke verblinding en hevige schrikreacties optreden. De mate van hinder is afhankelijk van het vermogen van de laser, maar ook van de hoeveelheid omgevingslicht en de duur van de blootstelling. Wanneer een dergelijke blootstelling onverwacht plaatsvindt, kan dit leiden tot gevaarlijke situaties, vooral als de blootgestelde zich in een situatie bevindt waar de volle concentratie vereist is (bijvoorbeeld het besturen van een auto).

Het in Nederland uitgevaardigde verkoopverbod draagt bij aan het reduceren van de kans op misbruik of hinder. Tevens voorkomt het dat in de toekomst lasers met steeds hogere vermogens op de markt verschijnen die wel degelijk blijvend oogletsel kunnen veroorzaken.

Summary

For several years small hand-held lasers are available to the general public, for instance in pens, keychains, knives and creditcards. These small diodelasers emit red light with a power varying from 1-5 mW. Originally they were intended as pointer, replacing the traditional wooden stick in the lecture hall and during presentations. Because of their low price they are now sold as toys and can be found everywhere: on the street, in discotheques and in classrooms. These lasers are often labelled as class 3A according to the American ANSI classification system. According to the European system this should be 3B, implying that they are potentially dangerous for the eye.

Sufficiently high powered lasers can cause retinal burns. To avoid this, exposure limits have been formulated as of 1970. From the output power, aperture and divergence of the beam the nominal ocular hazard distance (NOHD) can be calculated. At greater distances the maximum permissible exposure levels will not be exceeded. For most laserpointers the NOHD is between 5 and 15 metres.

The exposure levels are based on ED_{50} for laboratory animals (an ED_{50} represents the exposure level at which 50% of the animals sustains a lesion). An analysis of the relation between these values and the exposure limits shows that the probability of permanent eye damage at levels around the limits is very low.

Several European countries, including the Netherlands, regard class 3A and 3B lasers to powerful for general us as laserpointers and suitable for professional use only. They prohibited the trade of class 3A and 3B laserpointers and the application of class 2 lasers in toys. In most cases these measures are based on case-reports of alleged eye damage. However, in the international peer-reviewed literature not a single case of

permanent eye damage due to laserpointers could be found. A review among Dutch ophthalmologists also revealed no case of permanent eye damage.

Nevertheless, exposure at these low power levels can cause strong aversion reactions and temporary changes in visual sensitivity, flashblindness, dazzle, glare and afterimages. The level of nuisance depends on the output power of the laser, the ambient luminance level and the exposure duration. Unexpected exposures can give rise to dangerous situations, especially when the exposed is in a situation where full concentration is important, such as driving.

The enacted trade ban contributes to the reduction of misuse and nuisance. It also prevents that in the near future increasingly powerful laserpointers enter the market that can cause retinal damage.

Inleiding

Sinds eind 1997 verschijnen er in de Europese en Amerikaanse media regelmatig artikelen over incidenten waarbij laserpointers geleid zouden hebben tot oogletsel.

Laserpointers zijn relatief goedkoop. Door ze toe te passen in speelgoed of te presenteren als pennen of sleutelhangers komen ze in handen van een breed publiek, dat doorgaans niet deskundig is op het gebied van lasers. Niet elke gebruiker zal namelijk goed op de hoogte zijn van de risico's en de kans bestaat dat het apparaat gebruikt wordt voor een ander doel dan waarvoor het is gemaakt.

De hedendaagse laserpointers zijn — behalve goedkoop — klein en ze leveren een krachtige lichtbundel bij een gering energieverbruik. Dat lijkt prachtig, maar het heeft ook een keerzijde. Door de relatief hoge vermogens (enkele milliwatts, tot zelfs 11 mW) kunnen energiedichtheden worden bereikt die de drempelwaarde voor oogletsel overschrijden.

Nu bestaat er al heel lang een classificatiesysteem voor lasers. Dat systeem moet waarborgen dat de gebruiker op de hoogte is van de risico's en van de mogelijkheden om letsel te voorkomen.

Zowel in de Verenigde Staten als in Europa (EU) is de producent verplicht de door hem op de markt gebrachte lasers te voorzien van een etiket met daarop onder meer het laserveiligheidssteken, de klasse-aanduiding en, afhankelijk van de klasse, een waarschuwing. Hoewel de basis voor de Amerikaanse richtlijn dezelfde is als die voor de Europese, bestaat er een klein verschil in de getalsmatige invulling van beide standaarden. Mede daardoor zijn er foutief geclassificeerde laserpointers op de Europese markt.

In dit rapport wordt het probleem rond laserpointers gesignaleerd en de oorzaak van de onduidelijkheid over de risico's uiteengezet. Het verschil tussen het Europese en Amerikaanse classificatiesysteem wordt beschreven en aangegeven wordt tot welke misclassificatie dit kan leiden. Beide classificatiesystemen zijn gebaseerd op de biologische effecten die lasers kunnen veroorzaken. Om permanente schade aan oog en huid te voorkomen zijn limietwaarden opgesteld. Aangegeven wordt hoe deze blootstellingslimieten kunnen worden vertaald naar veilige afstanden waarbuiten de limietwaarden niet overschreden worden.

Een afzonderlijk hoofdstuk is gewijd aan de aspecten die een rol spelen bij het risico dat men loopt en aan de grootte van de kans op blijvend letsel. Het rapport wordt besloten met een overzicht van de maatregelen en adviezen die verschillende (Europese) landen of internationale adviescommissies inmiddels hebben genomen naar aanleiding van gerapporteerde (vermeende) schadegevallen.

De totstandkoming van het rapport is beschreven in bijlage A.

Fysische eigenschappen van laserpointers

2.1 Afmetingen en golflengte

Sinds het begin van de jaren tachtig worden lasers gebruikt als vervanger van de aanwijsstok tijdens voordrachten en lessen ('pointers'). De eerste jaren zijn voornamelijk pointers met gasgevulde heliumneonlasers gebruikt. Deze laserpointers van de eerste generatie produceerden een heldere roodoranje lichtbundel (golflengte 632,8 nm) en hadden veelal het formaat van een forse zaklamp. Door het relatief lage rendement moesten ze gevoed worden vanuit het lichtnet of door een paar flinke batterijen.

Aan het eind van de jaren tachtig kwamen diodelasers beschikbaar, die licht uitzenden met een golflengte van 670 nm. De afmetingen van deze lasers waren aanzienlijk kleiner. De hogere golflengte maakte de meer donkerrode aanwijsvlek echter minder goed zichtbaar.

Vervolgens werden diodelasers ontwikkeld die een beter rendement hadden en licht van een kortere golflengte leverden. Momenteel zijn er diodelasers beschikbaar in het gebied van 640-670 nm. Omdat diodelasers relatief goedkoop zijn, zijn de prijzen van deze laserpointers van de 'tweede generatie' aanzienlijk lager dan die van de helium-neonlaserpointers. Bovendien zijn door de toepassing van penlight-batterijen of knoopcellen als voeding de afmetingen inmiddels gereduceerd tot die van een pen, sleutelhanger of creditcard.

Momenteel zijn overigens ook laserpointers beschikbaar die een helder groen licht (532 nm) uitzenden. Deze zijn echter nog erg duur (700 tot 1000 gulden per stuk). Deze lasers kunnen veel hogere vermogens bereiken. Omdat het oog veel gevoeliger is voor

groen licht dan voor rood licht, en de vermogens hoger kunnen zijn, is de kans op verblinding en blijvend letsel groter.

2.2 Vermogens en classificatie

De laserpointers van de eerste generatie hadden een vermogen van maximaal 1 mW. Als gevolg van het hogere rendement van de diodelasers kon het vermogen van de laserpointers van de tweede generatie, zelfs bij gebruik van batterijen als voeding, opgevoerd worden tot een veelvoud hiervan.

Zowel in de Verenigde Staten als in Europa (EU) is de producent verplicht lasers te voorzien van een etiket met daarop onder meer het laserveiligheidsteken, de klasseaanduiding en, afhankelijk van de klasse, een waarschuwing (zie afbeelding 1)*.



Figuur 1 Voorbeeld van waarschuwingsetiket op een laser.

De International Electrotechnical Commission (IEC) heeft een internationale standaard (IEC-60825-1) opgesteld voor de classificatie, de vereisten en het gebruik van lasers. Hierin zijn ook blootstellingslimieten opgenomen (IEC93). Deze standaard is als Europese norm uitgebracht. (EN-60825-1). In Nederland is deze norm voorzien van een voorblad, en daarmee omgezet tot de Nederlandse norm NEN-EN-60825-1(NEN94). De IEC-standaard is in 1998 voorzien van een amendement (IEC98), met nadere details over de vaststelling van de klasse. In de VS is de American National Standard for Safe Use of Lasers Z136.1-1993 van kracht (ANSI93).

De klasse-indeling is bij beide standaarden gebaseerd op de mate waarin het laserlicht bepaalde vormen van oog- of huidschade kan veroorzaken**. Daarbij is voor lasers die uitzenden in het gebied van 400-760 nm (zichtbaar licht) uitgegaan van een maximale pupildiameter van het menselijk oog van 7 mm en een normale knipperreflex, die de

* Zie bijlage B voor een overzicht van de waarschuwingsteksten.

** Zie bijlage C voor de letterlijke tekst van de indeling.

blootstellingstijd beperkt tot maximaal 0,25 seconden (door het sluiten van de ogen of het afwenden van het hoofd).

Klasse 1-lasers: intrinsiek veilige lasers. Het vermogen van deze lasers is zo laag dat ze geen oog- of huidletsel kunnen veroorzaken (ook niet bij langdurige blootstelling aan de directe bundel). Voor het gebruik van dergelijke lasers gelden geen beperkende voorwaarden en worden geen beschermende maatregelen of middelen noodzakelijk geacht.

Klasse 2-lasers zijn lasers die zichtbare straling uitzenden met een golflengte tussen 400 en 700 nm en die geen oogletsel (netvliesverbranding) kunnen veroorzaken wanneer de blootgestelde een normale knipperreflex heeft. De Amerikaanse richtlijn onderscheidt nog een subklasse 2a, voor zichtbaar-lichtlasers die niet gemaakt zijn om in te kijken en waarbij limieten van de klasse 1 niet overschreden worden binnen een blootstellingstijd van ten hoogste 1000 seconden.

Klasse 3-lasers. Er wordt onderscheid gemaakt tussen klasse 3A en 3B:

- *Klasse 3A lasers** zijn lasers waar men met het blote oog veilig in kan kijken. Voor lasers die licht uitzenden betekent dit dat de knipperreflex voldoende bescherming biedt tegen oogschade. Kijken in de bundel met behulp van optische hulpmiddelen, zoals verrekijkers, microscopen en telescopen, kan wel netvliesschade opleveren.
- *Klasse 3B lasers*. Blootstelling van het oog aan de directe bundel is altijd gevaarlijk. Blootstelling aan de diffuse reflectie van de bundel is normaliter veilig.

Klasse 4-lasers hebben een dermate hoog vermogen dat ook de diffuse reflectie gevaarlijk kan zijn. Zij kunnen huid- en oogletsel veroorzaken. Bovendien bestaat bij bestraling van andere materialen brandgevaar. Het gebruik vereist uiterste voorzichtigheid.

Hoewel de basis voor de Amerikaanse richtlijn dezelfde is als die voor de Europese, zijn er enkele niet onbelangrijke verschillen in de getalsmatige invulling van beide standaarden. De belangrijkste, voor zover van toepassing op laserpointers (640-670 nm), is het onderscheid tussen klasse 3A en 3B. De ANSI stelt als grens tussen klasse 3A en 3B een maximaal vermogen van 5 mW. Minder dan 5 mW is 3A, van 5 tot 500 mW is klasse 3B. De IEC hanteert deze grenzen ook, maar heeft daarbij een tweede eis, namelijk dat de vermogensdichtheid bij klasse 3A-lasers niet hoger mag zijn dan 25 W/m^2 .

* Uit artikel 4.7.4.2. van de ANSI-richtlijn blijkt dat binnen klasse 3A nog onderscheid wordt gemaakt in lasers die wel en die niet binnen 0,25 s de MPE-waarden (*Maximum Permissible Exposure*) kunnen overschrijden. De waarschuwing op de labels dient in het eerste geval te luiden: 'Do Not Stare into Beam or View Directly with Optical Instruments'; in het tweede geval: 'Avoid Direct Eye Exposure'.

Bij het vaststellen van de laserklasse moet dus niet alleen het uitgangsvermogen worden vastgesteld, ook de vermogensdichtheid speelt een rol. Deze moet volgens de richtlijn worden gemeten op de kleinste afstand waar blootstelling kan plaatsvinden, maar op niet minder dan 10 cm afstand van de bron.

Het doel van de extra eis die de IEC formuleert voor klasse 3A-lasers, is het beperken van het vermogen dat door een volledig geopende pupil (diameter 7-8 mm) het netvlies kan bereiken tot 1 mW. Hierdoor wordt onverwachte blootstelling niet gevaarlijker dan van een klasse 2-laser, aangezien de knipperreflex zorgt voor een maximale blootstellingstijd van 0,25 s.

Om aan dit tweede criterium te voldoen moet de bundel van een laser met een vermogen van 1 tot 5 mW sterk divergeren. Op 10 cm afstand (de minimumafstand waarop aan de eis moet worden voldaan) moet een 1 mW-laserbundel ten minste een diameter van 8 mm hebben en dat maakt het apparaat als laserpointer al snel onbruikbaar (voor een 5 mW-laser is dit 16 mm). Bij een uitreediameter van 2 mm betekent dit een divergentie van tenminste 60-140 milliradiaal (zie 1.3). Vrijwel alle laserpointers met een vermogen van meer dan 1 mW vallen dan ook in de (Europese) klasse 3B in plaats van 3A (Egg98, Cot98).

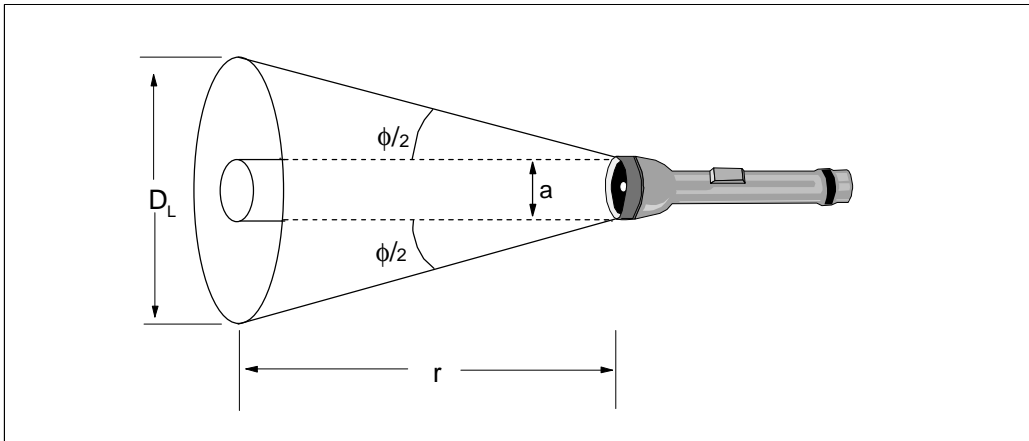
Overigens worden regelmatig niet gelabelde of 'gewoon' verkeerd gelabelde lasers aangetroffen (klasse 2-labels op 3A- of 3B-lasers).

2.3 Divergentie en uitreediameter

Om bruikbaar te zijn als aanwijzer, dat wil zeggen dat de afbeelding van de lichtbron op enige afstand een klein lichtvlekje is, moet de divergentie van de bundel zo klein mogelijk zijn. Bij de meeste laserpointers ligt deze tussen de 0,5 en 2 milliradiaal (dit komt overeen met een vlakke hoek van 0,03 tot 0,12 graden).

De diameter van de bundel bij het verlaten van de pointer wordt de uitreediameter genoemd (zie figuur 2). Deze varieert bij de gangbare laserpointers van 1 tot 3 mm. Het gevolg is dat de doorsnede van de bundel van een laserpointer op 10 meter afstand uiteen kan lopen van 6 mm bij een uitreediameter van 1 mm en een divergentie van 0,5 milliradiaal tot 23 mm bij een uitreediameter van 3 mm en een divergentie van 2 milliradiaal.

Aangezien de laserpointers geen gefocusseerde bundels hebben, bepaalt de uitreediameter de theoretisch maximaal haalbare energiedichtheid. Deze is gelijk aan het uitgangsvermogen gedeeld door het oppervlak van de doorsnede van de uitredende bundel.



Figuur 2 Bundeldivergentie $\phi = (\text{bundeldiameter } D_L - \text{uitreediameter } a) / \text{afstand } r$.

Biologische effecten

3.1 Lichtzien

Optische straling met een golflengte van 400-780 nm wordt nauwelijks geabsorbeerd door het hoornvlies, de lens of het glasachtig lichaam en dringt vrijwel volledig door tot op het netvlies (Sli80).

Bestraling van de fotoreceptoren (lichtgevoelige cellen in het netvlies) leidt daar tot elektrische prikkels, die via de hersenen uiteindelijk een beeld opleveren. Nu zijn deze receptoren niet voor elke golflengte even gevoelig. Het optimum ligt ongeveer bij 560 nm. Bij toenemende golflengte neemt de gevoeligheid snel af en bij 700 nm is deze ongeveer een factor 100 lager dan bij 560 nm (zie figuur 4). Het verschil tussen 633 nm (zoals geproduceerd door helium-neonlasers) en 670 nm (van bepaalde diodelasers) bedraagt ongeveer een factor acht.

Veruit het grootste deel van de ingestraalde energie wordt in het pigment-epitheel en het vaatvlies van de retina omgezet in warmte. Wanneer daardoor de temperatuur in het weefsel te veel stijgt, ontstaat thermische schade. Bij blootstellingstijden langer dan tien seconden kan ook bij lagere intensiteiten fotochemische netvliesschade optreden. Dit treedt echter alleen op bij blauw licht (golflengte kleiner dan 440 nm) en speelt dus bij laserpointers geen rol.

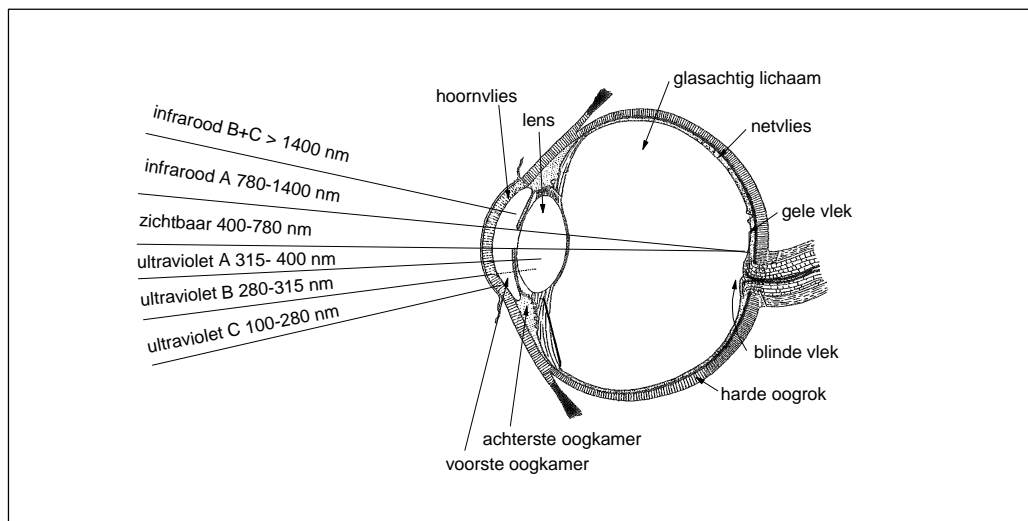
In de ooglenzen wordt slechts een zeer gering deel van de straling geabsorbeerd; pas bij een bestralingssterkte van meer dan 1 à 2 kW/m² kan schade ontstaan (GR93). Dergelijke energiedichtheden zijn met laserpointers niet haalbaar.

Laserpointers kunnen niet leiden tot huidschade. Hoewel enigszins afhankelijk van de golflengte van het licht en van de huidkleur, ligt de drempelwaarde in het golflengtegebied van 630-700 nm rond 20 kW/m².

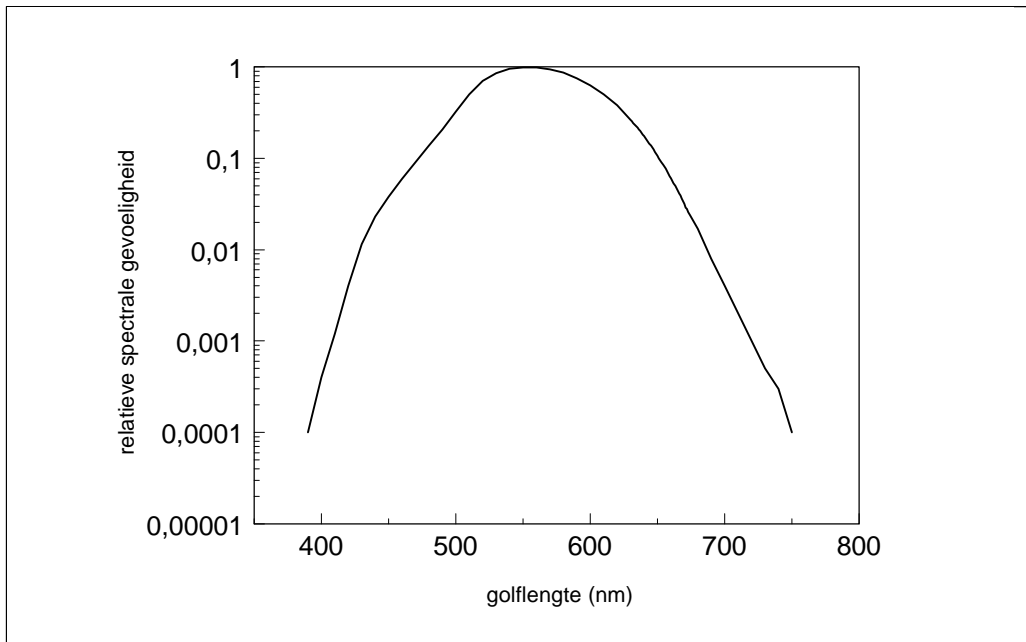
3.2 Puntbeeld of veldbeeld?

De temperatuurstijging in het netvliesweefsel hangt samen met de grootte van de afbeelding en de duur van de bestraling. Bij kleine netvliesbeelden kan de warmte sneller worden afgevoerd dan bij grote afbeeldingen, aangezien dan de verhouding tussen bestraald volume en warmteafgevend oppervlak gunstiger is.

Uit onderzoek naar netvliesschade is gebleken dat bij heel kleine afbeeldingen de hoeveelheid energie die in het netvlies wordt geabsorbeerd (in joule, J), de schadebepalende grootte is. Bij grote afbeeldingen is dat de bestralingsdosis (in J/m²). In de praktijk is de grens gelegd bij een beeld diameter van circa 70 µm. Beelden kleiner dan 70 µm op het netvlies noemt men puntbeelden, afbeeldingen groter dan 70 µm noemt men veldbeelden. Door de optische eigenschappen van het oog bedraagt de minimale afmeting van een beeld op het netvlies overigens 10 - 20 µm. Een object dat, vanuit het oog gezien, een hoek van 1 milliradiaal beslaat, levert een afbeelding op het netvlies van 17 µm (Sli80). Een laserpointer levert normaal gesproken een puntbeeld op het netvlies op. Slechts wanneer men van zeer dichtbij in een laserpointer kijkt, zal de afbeelding op het netvlies groter zijn dan 70 µm.



Figuur 3 Schematische weergave van het oog.



Figuur 4 Relatieve spectrale gevoeligheid van het menselijk oog voor optische straling als functie van de golflengte.

In de praktijk geldt dat, wanneer de hoek die de bron beslaat kleiner is dan circa 10 milliradiaal, de afbeelding te beschouwen is als een puntbron. Voor een laserpointer met een uitreediameter van 2 mm komt dit overeen met een afstand van ten minste 10 cm.

3.3 Thermische schade aan het netvlies

Wanneer voldoende energie wordt omgezet in warmte kan — zie 2.1 — de temperatuur van het weefsel dusdanig stijgen dat schade ontstaat. Het lichaam kan geringe schade na enige tijd herstellen. Herstel van lichte schade aan de fotoreceptoren en het pigmentepitheel duurt circa een week (Min95). Als de temperatuurstijging echter te groot is geweest, kan het pigmentepitheel en het netvlies permanent beschadigd zijn. Wanneer de schade in het centrum van het netvlies, en dan met name in de gele vlek (*fovea centralis**) ligt, leidt dit zeker tot een vermindering van de gezichtsscherpte. Een schadeplek in de periferie van het netvlies daarentegen hoeft niet tot een vermindering van de gezichtsscherpte te leiden. Herstel van ernstige schade, waarbij meerdere weefseltypes betrokken zijn, duurt al snel enkele weken tot maanden (Min95).

* De *fovea centralis* of gele vlek is het kleine deel op het netvlies dat het centrum van het gezichtsveld vormt, en waarmee gefixeerd wordt. Beschadigingen hieraan leiden tot verminderingen van de gezichtsscherpte.

Thermische netvliesschade is met behulp van oogspiegelen zichtbaar als een kleine verkleuring van de oogbodem. De mate van verkleuring is afhankelijk van de ernst van de schade, dat wil zeggen van de bereikte temperatuurverhoging.

In figuur 5 is de relatie weergegeven tussen blootstellingstijd en ingestraalde energie voor een groot aantal extern juist waarneembare schades aan het netvlies, veroorzaakt door minimale afbeeldingsgrootte (puntbeelden*) (GR78). De met een sterretje aangegeven waarden zijn schadepunten van recenter datum en niet betrokken bij de vaststelling van gezondheidkundige advieswaarden (GR78, GR93, Sli80). Zij liggen echter alle boven de advieswaarde van 1 mW. De doorgetrokken lijn in deze figuur geeft de berekende isotherm voor een temperatuurstijging van 10 °C, voor een puntbeeld met een doorsnede van 20 µm. De diagonale lijnen representeren een ingestraald vermogen van resp. 1 kW, 1 W en 1 mW.

Met de steeds verbeterende technieken is het mogelijk al bij kleinere bestralingsdoses tekenen van schade waar te nemen. Zo ligt de drempelwaarde voor histologisch detecteerbare schade (aan de hand van weefselpreparaten) ongeveer een factor drie lager dan die voor extern detecteerbare schade (afwijkingen in vorm of kleur, bijvoorbeeld vast stellen met behulp van een spleetlamp) (Bir83). Ook externe juist waarneembare schade behoeft nog niet tot een merkbare vermindering van de gezichtsscherpte te leiden en kan als gevolg van herstelmechanismen van het lichaam na verloop van tijd verdwijnen.

De doorgetrokken lijn in figuur 5 geeft de isotherm voor een temperatuurstijging van 10 °C, voor een puntbeeld met een doorsnede van 20 µm. Deze kan worden beschreven met behulp van de empirische formule:

$$Q_{drempel, netvlies, puntbeeld} = 10^{-6} + 3 \times 10^{-3} t \text{ (in J)} \quad (1)$$

Deze drempel komt voor een bestralingsduur t groter dan 0,01 s bij benadering overeen met een gedissipeerd vermogen op het netvlies van 3 mW. Uit de figuur blijkt ook dat wanneer een bron niet binnen enkele milliseconden schade toebrengt, langduriger blootstelling niet alsnog leidt tot thermische schade. Dit houdt dus in dat de knipperreflex (maximale blootstellingstijd van 0,25 s) in een gegeven situatie niet limiterend is.

Bij de vaststelling van gezondheidkundige advieswaarden heeft de Gezondheidsraad deze isotherm gehanteerd als beschrijving van minimale thermische schade veroorzaakt door puntbeelden (GR78, GR93). De zo afgeleide advieswaarden komen goed overeen met de waarden die in de IEC- and ANSI-standaarden — zie 1.2.1 — worden geadviseerd.

* Voor veldbeelden blijkt dat de energiedichtheid op het netvlies de schadebepalende grootte is. Aangezien laserpointers uitsluitend puntbeelden opleveren, wordt hierop in dit rapport niet verder ingegaan.

Naast de IEC en ANSI-standaarden hebben ook de ICNIRP* en de ACGIH** richtlijnen opgesteld voor het gebruik van lasers, met daarin blootstellingslimieten (ICN96, ACG93). De onderlinge verschillen tussen deze standaarden en richtlijnen zijn gering.

De limieten zijn afgeleid van ED₅₀-waarden, veelal voor netvliesschade bij rhesusapen en konijnen (Bir83, Bre71, Sli80). Deze lopen in het bereik van 0,1 - 2 s uiteen van circa 5 mW tot 10 mW.

Het gebruik van ED₅₀-waarden houdt in dat ook bij lagere waarden nog schade kan optreden, zij het dat de kans daarop geringer is. Met behulp van licht- en elektronenmicroscopie kan inderdaad bij lagere waarden (25-50% van de ED₅₀) schade worden gevonden. Bij waarden die een factor 10 lager zijn dan de ED₅₀ is geen schade aangetroffen (ICN96).

In verschillende onderzoeken is ook de kans op schade bij hogere en lagere waarden vastgesteld. In beide gevallen is sprake van een normale verdeling (Sli80, Bir83). Figuur 6 geeft voor een aantal combinaties van golflengte, blootstellingsduur en proefdier de resultaten. De helling van de lijn wordt bepaald door de steilheid van de S-curve. Met behulp van een dergelijke weergave kan nu worden vastgesteld hoe groot de kans op juist herkenbare schade bij een bepaalde dosis is. Men moet zich echter wel realiseren dat de helling van de lijn sterk afhankelijk is van de beschikbaarheid van betrouwbare uiterste waarden. Anders gezegd: de ligging van de ED₂₀- en ED₈₀-punten zijn belangrijker dan die van de ED₅₀. De betrouwbaarheid van deze punten is echter aanzienlijk kleiner (Bir83, ICN96, Sli80). Omdat deze waarden uit dierproeven zijn afgeleid en de gebruikte dieren ruwweg een factor drie gevoeliger blijken te zijn dan mensen, zouden de gevonden drempelwaarden als advieswaarden voor de mens kunnen gelden. Op basis van deze overwegingen wordt vaak uitgegaan van een ED₅₀ van 10 mW voor juist waarneembare netvliesschade.

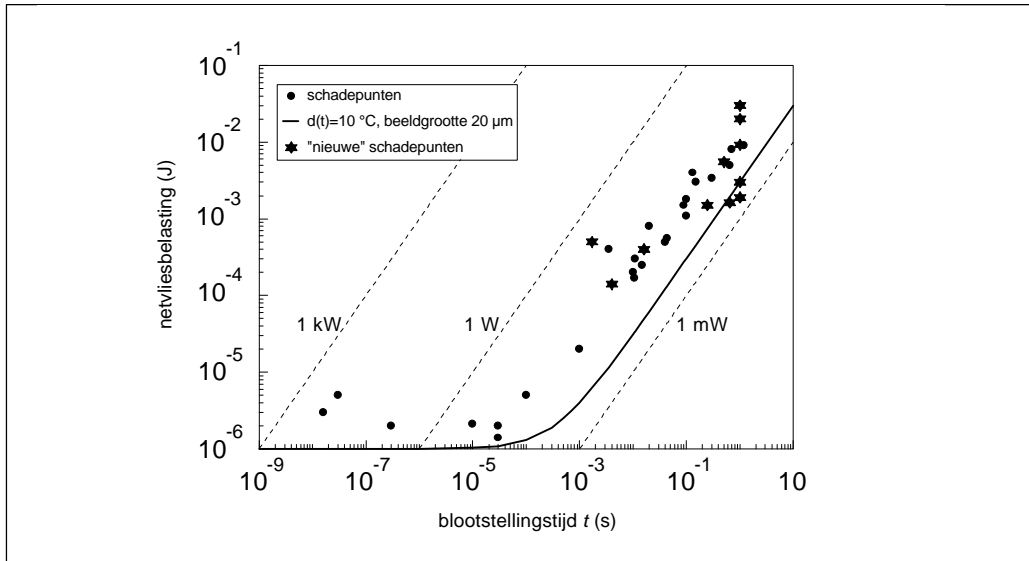
3.4 Tijdelijke effecten en hinder

Bij lagere energiedichtheden dan die waarbij thermische schade ontstaat, kan al sprake zijn van (ernstige) hinder. In eerste instantie is er sprake van verblinding. Bij grotere helderheid van de bron kunnen de lichtgevoelige cellen tijdelijk uitgeschakeld zijn, waarbij nabeelden optreden. Deze nabeelden kunnen enige tijd aanwezig blijven (tot enkele minuten) en als vlekken voor de ogen zweven (Sli80, Mar97b).

Personen die onverwacht worden blootgesteld aan de straling van laserpointers melden het optreden van (vaak groene) nabeelden, tijdelijke verblinding, pijn in of achter de

* International Commission on Non-Ionizing Radiation. Vóór 1992 het International Non-Ionizing Radiation Committee van de International Radiological Protection Association, INIRC/IRPA.

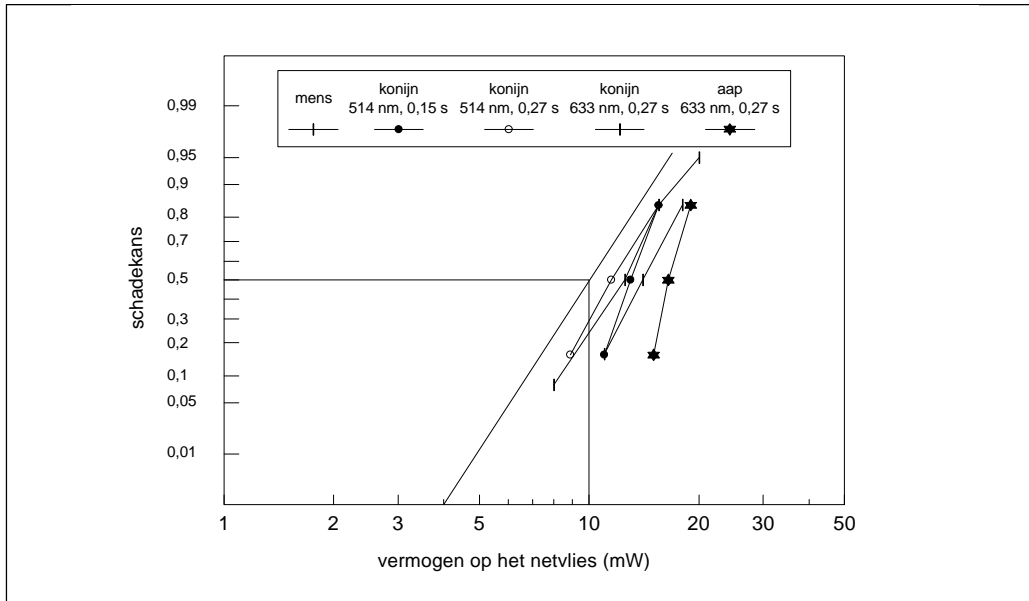
** American Conference of Governmental Hygienists.



Figuur 5 Netvliesbelastingen als functie van de blootstellingstijd, die leiden tot juist waarneembare schade aan het netvlies (ED_{50}). Doorgetrokken lijn: de voor de gesloten cirkels berekende isotherm voor een temperatuurstijging van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, voor een puntbeeld met een doorsnede van $20\text{ }\mu\text{m}$. De met een sterretje aangegeven waarden zijn niet betrokken bij de vaststelling van gezondheidskundige advieswaarden. Diagonale onderbroken lijnen: ingestraald vermogen van resp. 1 kW, 1 W en 1 mW. (Bron: GR78).

ogen, hitte in het oog, irritatie van het oog, hoofdpijn en rode ogen (Mar97a, Mar97b, Nor98). Omdat in het oog geen pijnreceptoren aanwezig zijn, kan de pijn slechts het gevolg zijn van wrijven in de ogen (Nor98).

De mate van irritatie of hinder is afhankelijk van de hoeveelheid omgevingslicht. Is er weinig omgevingslicht dan is de pupildiameter groot en zal relatief veel licht het netvlies bereiken. Ook is bij lage lichtsterkte het contrast tussen de felle lichtflits en de lichtsterkte waarop het oog op dat moment is ingesteld zo groot dat een schrikreactie voor de hand ligt. Zo kan een niveau van 25 W/m^2 overdag al als een zeer helder licht worden waargenomen en voor sommige mensen al verblindend zijn. 's Nachts is zo'n lichtsterkte zonder uitzondering zeer hinderlijk. Niveaus van circa 1 mW/m^2 kunnen 's nachts al als zeer verblindend worden ervaren en tot langdurige nabeelden leiden (Mar97a).



Figuur 6 Kans op extern herkenbare schade op het netvlies, als functie van het ingestraalde vermogen in mW. (Bron: Bir83, Sli80.) De door het 10 mW punt getrokken schuine lijn geeft de hypothetische kans op schade in relatie tot het vermogen op het netvlies.

Gezondheidskundige advieswaarden en veilige afstanden

4.1 Vaststelling van de gezondheidskundige advieswaarde of blootstellingslimiet

Omdat laserpointers een vrijwel evenwijdige lichtbundel uitzenden (de divergentie varieert van 0,5 - 2 milliradiaal, zie 1.3), en de uitreediameter altijd enkele millimeters groot is, leidt blootstelling tot een puntbeeld op het netvlies — zie 2.2. De in 2.3 gegeven formule is in het Gezondheidsraadadvies van 1993 als uitgangspunt gekozen voor de vaststelling van advieswaarden (GR93). Om een en ander hanteerbaar te maken in de praktijk is de energie op het netvlies omgerekend naar de energiedichtheid H op het hoornvlies:

$$H_{drempel,hoornvlies,puntbeeld} = \frac{Q_{drempel,puntbeeld}}{Opp_{pupil} \times F_{\lambda}} \quad [\text{in J/m}^2] \quad (2)$$

$Q_{drempel, puntbeeld}$ drempelwaarde voor puntbeelden op het netvlies (in J)
 F_{λ} de transmissie door de oogmedia. In het traject van
640-670 nm bedraagt deze 0,91 (GR93)

Opp_{pupil} oppervlakte van de pupil in m^2

Bij de vaststelling van de advieswaarde is men uitgegaan van een volledig geopende pupil (de Gezondheidsraad rekent hierbij met een pupildiameter van 8 mm, oppervlak circa 50 mm^2). Dit leidt tot onderstaande formule:

$$H_{drempel, \text{hoornvlies, puntbeeld}} = 2,2 \times 10^4 * Q_{drempel, \text{puntbeeld}} \text{ [in J/m}^2\text{]} \quad (3)$$

De ANSI, IEC en ICNIRP gaan overigens uit van een maximale pupildiameter van 7 mm, hetgeen een oppervlakte van 38 mm² oplevert.

Het advies *Optische Straling* (GR93) stelt dat, omdat deze drempelwaarden uit dierproeven zijn afgeleid en de gebruikte proefdieren ruwweg een factor drie gevoeliger blijken te zijn dan mensen, de gevonden drempelcurven als advieswaarden voor de mens kunnen gelden. Het stelt de advieswaarde voor puntbeelden vast op

$$H_{advies, \text{hoornvlies, puntbeeld}} = \frac{0,006 + 20t}{F_\lambda} \text{ [in J/m}^2\text{]} \quad (4)$$

waarbij

$H_{advies, \text{hoornvlies, puntbeeld}}$	advieswaarde in J/m ²
t	blootstellingstijd in s
F_λ	de transmissie door de oogmedia.

De Gezondheidsraad voert daarmee impliciet een veiligheidsfactor in. Deze factor is enigszins afhankelijk van de blootstellingsduur en de pupildiameter en bedraagt 3 à 4, hetgeen voor $t > 0,01$ s neerkomt op een netvliesbelasting van 1 mW.

4.2 Minimale veilige afstand

Uitgaande van de zojuist genoemde advieswaarde kan nu berekend worden binnen welke afstand van een laser deze waarde overschreden wordt. In de internationale literatuur staat deze afstand bekend als de NOHD* (*nominal ocular hazard distance*):

$$\text{NOHD} = \frac{1}{\phi} \left[\sqrt{\frac{4P_0}{\pi E_{MPE}}} - a \right] \text{ [in m]} \quad (6)$$

E_{MPE}	blootstellingslimiet (<i>maximum permissible exposure level</i>) of gezondheidskundige advieswaarde in W/m ²
P_0	vermogen in watt
a	uittreediameter in m
ϕ	divergentie in radialen

* Voor een afleiding van deze formule wordt verwezen naar bijlage C.

Wanneer de limietwaarde is gegeven in J/m^2 — zoals het geval in bij de gezondheidskundige advieswaarden van de Gezondheidsraad — wordt de formule:

$$\text{NOHD} = \frac{1}{\phi} \left[\sqrt{\frac{4P_0 t}{\pi H_{MPE}}} - a \right] \quad [\text{in m}] \quad (7)$$

Substitutie van formule (4) in (7) levert nu:

$$\text{NOHD} = \frac{1}{\phi} \left[\sqrt{\frac{4 P_0 t F_\lambda}{\pi (0,006 + 20t)}} - a \right] \quad [\text{in m}] \quad (8)$$

Voor $t > 0,01$ geldt dat 0,006 verwaarloosbaar is ten opzichte van $20t$. Voorts geldt in het golflengtegebied van 640 - 670 nm $F_\lambda = 0,91$. Dit levert:

$$\text{NOHD} = \frac{1}{\phi} \left[0,24 \sqrt{P_0} - a \right] \quad [\text{in m}] \quad (9)$$

In figuur 7 is voor verschillende divergenties en vermogens weergegeven hoe groot de minimale afstand tot een laserpointer (met een uitreediameter van 2 mm en een golflengte van 640 - 670 nm) moet zijn, wil men de advieswaarde niet overschrijden. Hieruit blijkt dat bij een divergentie van 1 milliradiaal (de meest voorkomende divergentie bij laserpointers) en een geheel geopende pupil de minimale afstand varieert van 5,50 meter tot 15 meter.

Omdat de uitreediameter bij laserpointers zeer klein is (in de orde van enkele millimeters) heeft deze slechts een geringe invloed is op de minimale afstand. Duidelijk is dat de divergentie van de laserbundel van grotere invloed is op de afstand. Overigens is de veilige afstand voor lasers met een vermogen minder dan 1 mW gelijk aan nul, omdat dan het totale vermogen kleiner is dan de limietwaarde.

Ook de ANSI, de ICNIRP en de IEC geven in hun standaarden blootstellingslimieten (MPE-waarden, *maximum permissible exposure levels*), voor alle combinaties van golflengte en blootstellingstijd. Zij bevelen aan om bij de bepaling van de risico's van lasers die licht uitzenden, uit te gaan van een blootstellingstijd van 0,25 s en een geheel geopende pupil (ANSI93, ICN96, IEC98).

Uit formule (2) en het bovenstaande blijkt dat de pupildiameter van grote invloed is op de drempelwaarde, maar dat voor $t > 0,01$ s de blootstellingstijd geen rol van betekenis speelt. De limietwaarde komt dan namelijk overeen met een constant vermogen en dit is niet tijdafhankelijk.

Risico van oogletsel door laserpointers

Het risico dat men loopt bij het gebruik van bepaalde lasersystemen wordt bepaald door drie determinanten:

- de fysische specificaties van een laser
- de gebruiksomgeving
- de gebruikers en de blootgestelden.

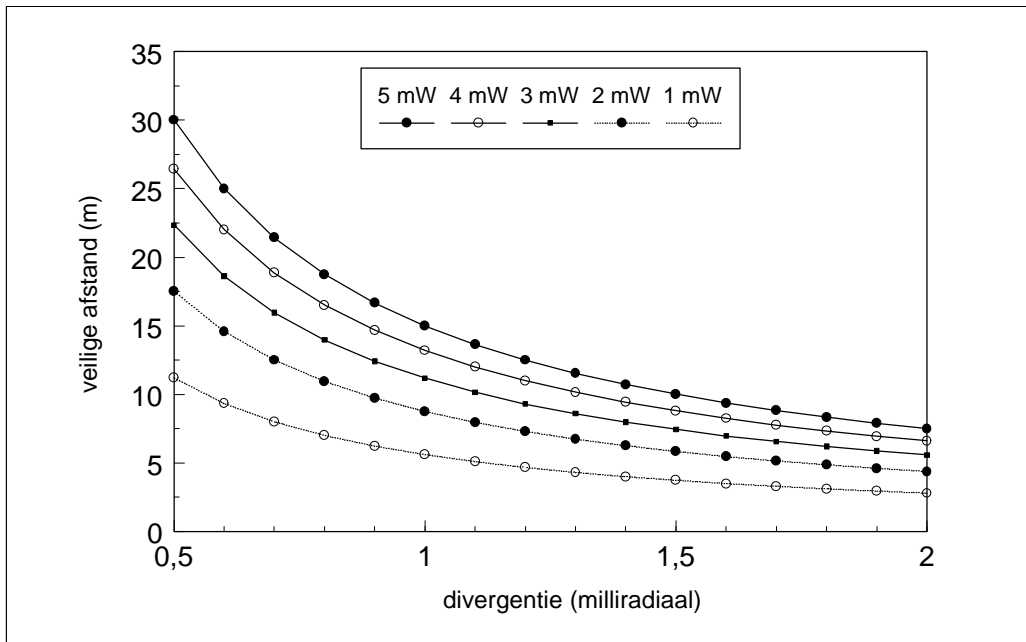
De klasse-indeling voor lasersystemen (zie 1.2) is uitsluitend gebaseerd op het eerste punt. De tweede en derde determinant verschillen per laser en per situatie en lenen zich daarom niet voor standaardisering. Bij een risico-evaluatie moeten deze determinanten uiteraard wel in overweging worden genomen.

5.1 Fysische specificaties van een laser

Zoals vermeld in 1.2 vallen laserpointers voornamelijk in de (Europese) klasse 2 en 3B. Het vermogen van klasse 2-lasers bedraagt maximaal 1 mW en kan dus de blootstellingslimiet niet overschrijden. Het vermogen van klasse 3B-lasers is echter dermate hoog, dat overschrijding van de blootstellingslimiet wel degelijk mogelijk is.

5.2 De gebruiksomgeving

De laserpointer is van oorsprong bedoeld als optische aanwijzstok, te gebruiken tijdens voordrachten en lessen. In veel gevallen zal dat binnenshuis gebeuren in een betrekkelijk



Figuur 7 Minimaal veilige afstand tot een laserpointer ($640 \text{ nm} < \lambda < 670 \text{ nm}$, $a = 2 \text{ mm}$) als functie van de divergentie voor verschillende uitgangsvermogens.

lichtarme omgeving. Doorgaans zitten de aanwezigen tegenover de gebruiker van de laserpointer. De afstand tot het publiek is in de meeste gevallen één tot enkele meters. Door de meestal geringe hoeveelheid omgevingslicht zijn de pupillen van de aanwezigen groot, hetgeen een verhoogd risico inhoudt. In bioscopen of discotheken is er sprake van een vergelijkbare situatie: een donkere omgeving, waardoor de aanwezigen een grote pupildiameter hebben. Alcohol en andere verdovende of stimulerende middelen kunnen overigens van invloed zijn op de pupildiameter (pupilverwijding).

In andere situaties, bijvoorbeeld in klaslokalen, is er daglicht. De oogpupillen van de aanwezigen zijn dan relatief klein. Hierdoor is de maximale hoeveelheid energie op het netvlies weliswaar beperkt, maar dit voordeel kan door de mogelijk (veel) kortere afstand tot de blootgestelden teniet worden gedaan.

Als de laserpointers buiten worden gebruikt, is de kans op ongecontroleerde blootstelling groot. In verband met de grote reikwijdte van de bundel (enkele tientallen meters) kan blootstelling tot op grote afstand leiden tot een schrikreactie. De energiedichtheid is dan echter dermate laag dat deze in de meeste gevallen niet in de buurt van de blootstellingslimiet zal komen.

5.3 Gebruikers en blootgestelden

De laserpointers die als ‘speeltje’ verkocht worden, komen in veel gevallen in handen van mensen die niet op de hoogte zijn van de betekenis van een klasse-indeling, noch van de risico's van blootstelling. Onoordeelkundig gebruik is dan niet uit te sluiten en zelfs waarschijnlijk als het gaat om kinderen of jongeren.

Door de intensiteit en de kleur van de bundel zal blootstelling in vrijwel alle gevallen bij de blootgestelde leiden tot een schrikreactie, verblinding en nabeelden. Afhankelijk van de intensiteit van de bundel en de plaats van de afbeelding op het netvlies leiden nabeelden of (tijdelijk) verblinding in meer of mindere mate tot irritatie of gevaar. Zo zal onverwachte blootstelling tijdens deelname aan het verkeer een groter risico opleveren dan tijdens een terrasbezoekje of een wandeling in het park. Bij verblinding van mensen in hun beroepsuitoefening, bijvoorbeeld chauffeurs van het openbaar vervoer, kunnen zelfs zeer gevaarlijke situaties ontstaan.

5.4 Potentiële blootstelling versus actuele blootstelling

Aan de hand van de fysische eigenschappen van de laser is eenvoudig de potentiële blootstelling als functie van de afstand te bepalen.

Figuur 8 geeft voor een aantal situaties de relatie tussen netvliesbelasting en afstand. Ter vergelijking is de schadedrempel voor juist waarneembare netvliesverbranding weergegeven (3 mW in het traject van 0,01 tot 10 s; zie figuur 5).

Het plateau in de netvliesbelasting vormt de maximale hoeveelheid energie die het oog kan binnentreden (de gehele bundel treedt dan het oog binnen). Vanaf een gegeven afstand zal de bundeldiameter groter zijn dan de pupildiameter. De pupil zal dan als diafragma gaan optreden. Bij de gegeven voorbeelden (pupildiameter van 7 mm) treedt dit op vanaf 5 meter van de bron. Bij een pupildiameter van 3 mm zal dit reeds op 1 m afstand van de bron plaats vinden.

De meeste laserpointers hebben een uitgangsvermogen tot 5 mW, maar er zijn ook exemplaren met een uitgangsvermogen tot 11 mW aangetroffen (Bar98).

De curves voor de netvliesbelastingen (figuur 8) geven de potentiële blootstelling. In de praktijk kan de *actuele* blootstelling om verschillende redenen minder zijn: afhankelijk van de hoeveelheid omgevingslicht is de pupildiameter kleiner, waardoor de hoeveelheid energie die uiteindelijk op het netvlies terecht komt (eerder) wordt beperkt.

Daarnaast kunnen individuele verschillen tussen blootgestelden van invloed zijn op het uiteindelijke effect. Zo kan bepaald medicijngebruik de pupildiameter beïnvloeden. Dit geldt ook voor alcohol- en drugsgebruik.

NB: Vaak wordt gesteld dat het uiterst moeilijk is om gedurende 0,25 s een laserbundel in het oog van een mens te schijnen, zeker vanaf enige afstand. Dit aspect speelt echter geen rol, aangezien bij een blootstellingsduur tussen circa 0,01 s en 10 s geldt dat de hoeveelheid energie op het netvlies die leidt tot juist waarneembare netvliesschade recht evenredig is met de blootstellingsduur. De blootstellingsduur is dan niet van belang voor het optreden van schade, alleen de netvliesbelasting.

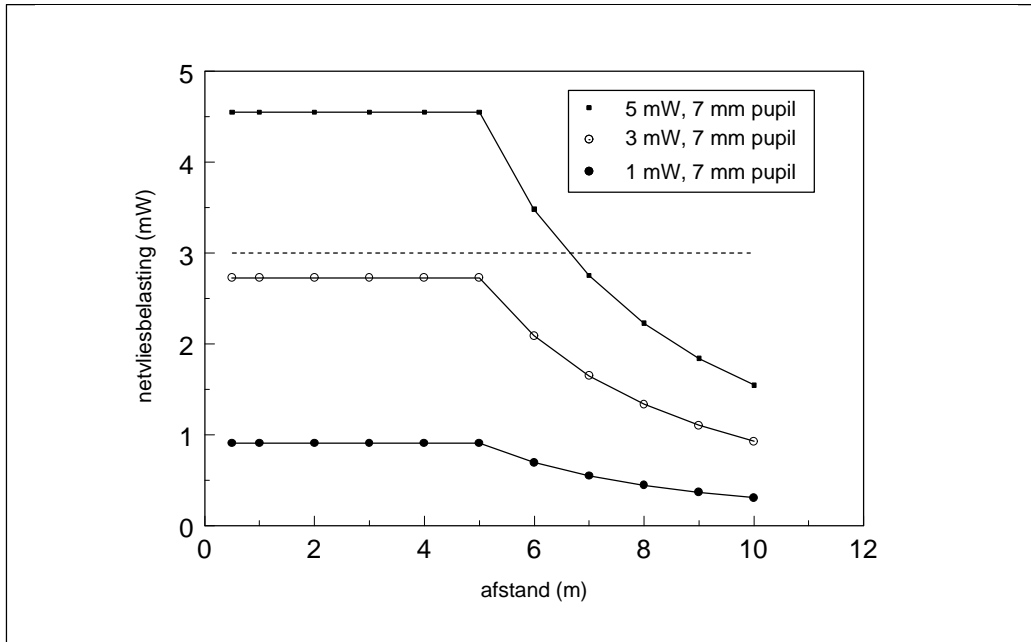
5.5 Kans op schade

In 2.3 is ingegaan op de drempelwaarde en op het feit dat deze is afgeleid van ED_{50} -waarden. Bij de vaststelling van blootstellingslimieten voor de mens gaat de Gezondheidsraad, zoals beschreven in 2.3, uit van een ED_{50} van 3 mW voor minimale netvliesschade. De daarvan afgeleide gezondheidskundige advieswaarde, die in het traject van 0,01 tot 10 s neerkomt op een maximale netvliesbelasting van 1 mW, leidt in dit geval dus tot een zeer geringe schadekans.

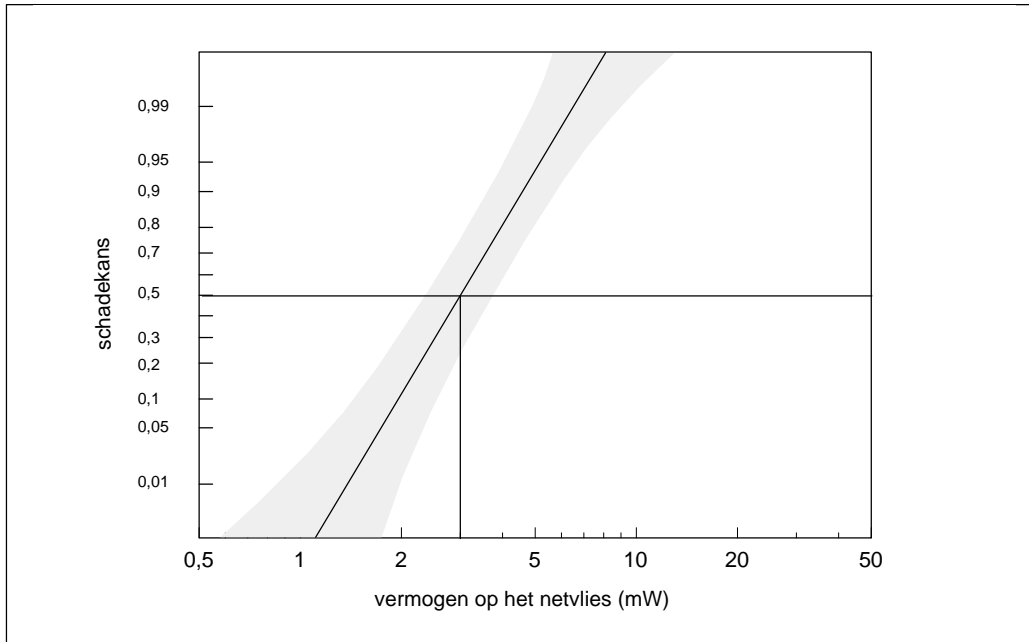
Met behulp van figuur 8 en 9 kan nu een schatting worden gemaakt van de kans op netvliesschade bij een gegeven blootstelling. Als gevolg van de grotere onzekerheid in de getallen bij grote en kleine schadekansen neemt de onzekerheid bij lage en hoge vermogens ook toe (de grijze band in figuur 9).

Blootstelling in daglichtsituaties, waarbij de pupildiameter veel kleiner is, leidt tot schadekansen die aanmerkelijk lager liggen. Daarbij moet men tevens bedenken dat het hier veelal gaat om minimale schade, die slechts met speciale apparatuur is te onderscheiden. Zeker wanneer het netvlies wordt getroffen buiten de gele vlek, zal men hier veelal weinig van merken. Dit geldt overigens niet voor de tijdelijke hinder.

Uit onderzoek van Van Norren *cs*, gehouden onder Nederlandse oogartsen, is gebleken dat er in Nederland nog geen enkel geval van permanente schade is vastgesteld. Ook in de internationale *peer reviewed* literatuur zijn geen meldingen aangetroffen van blijvend letsel door laserpointers (Nor98).



Figuur 8 Netvliesbelasting veroorzaakt door laserpointers met een uitreediameter van 2 mm en een divergentie van 1 milliradiaal. De stippellijn is de schadedrempel (3 mW) voor juist waarneembare netvliesverbranding (GR93).



Figuur 9 Kans op netvliesschade als functie van het vermogen op het netvlies. De schuine lijn is afgeleid van de lijn die in figuur 6 door het 10 mW-punt loopt. Deze is naar links verschoven zodat het snijpunt met een schadekans van 0,5 bij 3 mW ligt, de in 2.4 vastgestelde drempel voor thermische netvliesschade. De grijze band geeft de, op grond van de in figuur 6 getoonde experimentele gegevens geschatte spreiding.

Hoofdstuk **6**

Internationale adviezen en voorschriften

In de Verenigde Staten heeft de Food and Drug Administration (FDA) eind 1997 gewaarschuwd voor misbruik van laserpointers (FDA97). De FDA acht deze apparaatjes uitsluitend geschikt voor gebruik door volwassenen en vermeldt daarbij dat kortstondige blootstelling weliswaar slechts zal leiden tot tijdelijk verlies van het gezichtsvermogen of gezichtscherpte, maar dat ook dit niet zonder gevaar is, zeker wanneer de blootgestelde zich op het moment van blootstelling in een situatie bevindt waarin het gezichtsvermogen een belangrijke rol speelt (zoals tijdens het besturen van een auto).

Ook de Wereldgezondheidsorganisatie heeft in een voorlichtingsblad gewezen op de gezondheidsrisico's van laserpointers (WHO98). Zij waarschuwt tegen de vaak voorkomende verkeerde labeling (klasse 2-vermelding op klasse 3A-lasers), acht klasse 3-lasers niet geschikt voor de consument en uitsluitend klasse 1-lasers geschikt als kinderspeelgoed. Zij adviseert klasse 2-lasers niet te verkopen aan kinderen. In reactie op een soortgelijk advies van de Britse National Radiological Protection Board (NRPB) heeft het Ministerie voor Handel en Industrie in het Verenigd Koninkrijk een verkoopverbod uitgevaardigd voor potentieel gevaarlijke laserpointers (klasse 3 en 4) (OHa98).

In veel Europese landen zijn inmiddels maatregelen getroffen om het gebruik van laserpointers te beperken. In een aantal landen, waaronder Nederland, is de handel in laserpointers van klasse 3A of hoger verboden (Abb97, VWS98). Ook de toepassing van klasse 2-lasers in speelgoed en de verwerking hiervan in sleutelhangers, pennen en dergelijke is in Nederland inmiddels verboden. De overheid stelde op basis van onderzoek van de Inspectie voor de Gezondheidsbescherming dat klasse 3a- en klasse 2-laserpointers, ook bij normaal gebruik, gevaarlijk zijn (Beu98, VWS98). Beide verboden zijn uitgevaardigd in het kader van artikel 18c van de Warenwet. Volgens de wet is het verboden:

... waren, niet zijnde eet- of drinkwaren, naar hun aard bestemd of geschikt om in de sfeer van de particuliere huishouding te worden gebruikt, te verhandelen, waarvan degene die de waren verhandelt, weet of redelijkerwijs moet vermoeden dat zij bij het gezien hun bestemming te verwachten gebruik bijzondere gevaren kunnen opleveren voor de gezondheid of veiligheid van de mens.

Ook volgens de Britse NRPB en het Duitse Bundesamt für Strahlenschutz zijn uitsluitend klasse 1- en klasse 2-lasers geschikt voor gebruik als laserpointer. Klasse 3B-lasers zijn slechts toegestaan voor bepaalde toepassingen en dan nog uitsluitend in handen van speciaal opgeleide personen. Beide instanties adviseren de verkoop aan het publiek te beperken tot klasse 1- en klasse 2-lasers, en deze daarbij te voorzien van voldoende informatie (Abb97, BfS98, NRPB98, OHa98, SSK98).

Literatuur

-
- Abb97 Abbasi K. UK bans powerful laser pointers, *Br Med J* 1997; 315:1253
- ACG93 American Conference on Governmental Industrial Hygienists. Documentation for the threshold limit values for chemical substances and physical agents in the work environment. Cincinnati, OH: American Conference on Governmental Industrial Hygienists, 1993.
- ANSI93 American National Standards Institute. American National Standard for Safe Use of Lasers. Orlando: American National Standards Institute, 1993; (Report Z136.1-1993).
- Bar98 Barrett M, Davies B, Green M, Henderson R, Tozer B. Laser pointers do not injure eyes. *Opto Laser Eur* 1998; 54: 8.
- Beu98 Beugels LJM, Smolders J. Laserpointers, probleemoriëntatie. Den Bosch: IGB / Keuringsdienst van Waren, afdeling Produktveiligheid, 1998; (rapport 9805).
- Bre71 Bresnick GH, Frisch GD, Powell JO, e.a. Ocular effects on argon laser radiation. I. Retinal damage threshold studies. *Invest Ophtal* 1971; 9: 901-10.
- BfS98 Bundesamt für Strahlenschutz. Bürgertelefon zum Umgang mit Laserpointern. Pressemitteilung 5/98, 31 März 1998. Bonn: Bundesamt für Strahlenschutz, 1998.
- Bir83 Birngruber R, Gabel VP, Hillenkamp F. Experimental studies of laser thermal retinal injury. *Health Phys* 1983; 44(5); 519-31.
- Cot98 Cotton A. Pointer abuse is 'cause for concern', *OLE* february, 1998.
- Egg98 Eggink GJ. Verkoop laserpointers onmiddellijk verboden. *NVS Nieuws* 1998; 23:30-2.
- FDA97 Food and Drug Administration. FDA Warning on Misuse of Laser Pointers. Press release, December 18, 1997.
- GR78 Gezondheidsraad. Acceptable levels of micrometre radiation. Report compiled by the Health Council of the Netherlands. Rijswijk: Health Council of the Netherlands, 1978; publikatie nr. VAR 1978/65E.
-

- GR93 Gezondheidsraad, Commissie Optische Straling. Optische Straling. Gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan elektromagnetische straling met golflengten tussen 100 nanometer en 1 millimeter. Den Haag: Gezondheidsraad, 1993; publikatie nr. 1993/09.
- OHa98 O'Hagan J, Hill R. Laser Pointers. Biol Radiat Bull 1998; (March).
- ICN96 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelenghts between 180 nm and 1000 µm. Health Phys 1996;71(5):804-19.
- IEC93 International Electrotechnical Commission. Safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide. Geneva: International Electrotechnical Commission, 1993; (Publicatie IEC 60825-1).
- IEC98 International Electrotechnical Commission. Safety of laser products Part 1. Equipment classification, requirements and user's guide. Geneva: International Electrotechnical Commission, 1998; (Publicatie IEC 60825-1, Edition 1.1).
- Mar97a Marshall WJ, Sliney DH. Transient visual effects and laser safety standards. J Radiol Prot 1997; 17(4): 229-30.
- Mar97b Marshall WJ. Blinding laser weapons still available on the battlefield. Br Med J 1997; 315:1392.
- Min95 Minckler, D. Retinal light damage and eye surgery. Ophthalmology 1995; 12(102): 1741-2.
- NEN94 Nederlands Electrotechnisch Comité. Veiligheid van laserproducten. Deel 1: Apparatuurclassificatie, eisen en gebruikershandleiding (IEC 825-1: 1993). Delft: Nederlands Normalisatie Instituut, 1994; (Publicatie NEN-EN 60825-1).
- Nor98 van Norren D, Keunen JEE, Vos JJ. De laserpen als aanwijsstok niet aangetoond gevaarlijk voor de ogen. NTG 1998; 36 (142):1979-82.
- NRPB98 National Radiological Protection Board. Laser pointers. Information Sheet No 1/98, 28 January 1998.
- OHa98 O'Hagan J, Hill R. Laser pointers. Radiol Prot Bull 1998; (March):15-20.
- Sli80 Sliney D, Wolbarsht M. Safety with Lasers and other Optical Sources. New York: Plenum Press, 1980.
- SSK98 Strahlenschutzkommission beim Bundesamt für Strahlenschutz. Gefahren durch Laserpointer. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Bonn: Bundesamt für Strahlenschutz, 1998.
- VWS98 Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport. Terpstra verbiedt aantal laserpointers. Persbericht nr 42, maandag 27 april 1998. Rijswijk: VWS, 1998.
- WHO98 World Health Organisation. Health Risks from the Use of Laser Pointers. Geneva: WHO, 1998; (Fact Sheet No 202).
-

-
- A Totstandkoming van dit rapport
-
- B Voorgeschreven waarschuwingsteksten volgens IEC-60825-1
-
- C Beschrijving van de klasse-indeling volgens IEC-60825-1
-
- D Afleiding van de NOHD

Bijlagen

Totstandkoming van dit rapport

Dit rapport is in opdracht van de Voorzitter van de Gezondheidsraad opgesteld door drs GJ Eggink, werkzaam bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, die daartoe gedurende drie maanden gedetacheerd was bij het Secretariaat van de Gezondheidsraad.

Bij het opstellen van het rapport zijn de volgende deskundigen geraadpleegd:

- ir JWN Tuyn, fysicus, Zwinderen
- dr D van Norren, fysicus, hoogleraar oogheelkunde, Universiteit Utrecht; directeur Aeromedisch Instituut, Soesterberg
- dr ir RM Verdaasdonk, laser-fysicus, Academisch Ziekenhuis Utrecht.

Het rapport is ter toetsing voorgelegd aan de Beraadsgroep Stralingshygiëne van de Gezondheidsraad.

Voorgeschreven waarschuwingsteksten volgens IEC-60825-1

Klasse 1 lasers:

CLASS 1 LASER PRODUCT

Klasse 2 lasers:

LASER RADIATION

DO NOT STARE INTO BEAM

CLASS 2 LASER PRODUCT

Klasse 3A:

LASER RADIATION

DO NOT STARE INTO BEAM OR VIEW

DIRECTLY WITH OPTICAL INSTRUMENTS

CLASS 3A LASER PRODUCT

Klasse 3B:

LASER RADIATION

AVOID EXPOSURE TO BEAM

CLASS 3B LASER PRODUCT

Klasse 4:

LASER RADIATION

AVOID EYE OR SKIN EXPOSURE TO
DIRECT OR SCATTERED RADIATION
CLASS 4 LASER PRODUCT

Beschrijving van de klasse-indeling volgens IEC-60825-1

Class 1:

Lasers which are safe under reasonably foreseeable conditions of operation.

Class 2:

Lasers emitting visible radiation in the wavelength region from 400 nm to 700 nm. Eye protection is normally afforded by aversion responses including the blink reflex.

Class 3A:

Lasers which are safe for viewing with the unaided eye. For lasers emitting in the wavelength range from 400 nm to 700 nm protection is afforded by aversion responses including the blink reflex. For other wavelengths the hazard to the unaided eye is no greater than for Class 1. Direct intrabeam viewing of Class 3A lasers with optical aids (e.g. binoculars, telescopes, microscopes) may be hazardous.

Class 3B:

Direct intrabeam viewing of these lasers is always hazardous. Viewing diffuse reflections is normally safe.

Class 4:

Lasers which are also capable of producing hazardous diffuse reflections. They may cause skin injuries and could also constitute fire hazard. Their use requires extreme caution.

Afleiding van de NOHD

De NOHD geeft de afstand aan waarbinnen, onder ideale situaties, de bestralingssterkte en de vermogensdichtheid lager zijn dan het maximaal blootstellingsniveau of de gezondheidskundige advieswaarde. Deze kan als volgt worden afgeleid:

De diameter van de afbeelding van een laserspot bedraagt (zie figuur 2)

$$D_L = r \sin(\phi/2) + r \sin(\phi/2) + a$$

Voor kleine hoeken geldt dat: $\sin \beta \cong \tan \beta \cong \beta$, waardoor

$$\begin{aligned} D_L &= (r \phi/2) + (r \phi/2) + a \\ &= a + r \phi \end{aligned}$$

Voor het oppervlak A_L van een cirkelvormige bundel geldt nu

$$\begin{aligned} A_L &= (\pi/4)(D_L^2) \\ &= (\pi/4)(a + r \phi)^2 \end{aligned}$$

Gegeven een uitgangsvermogen P_0 is de bestralingssterkte E op afstand r van een laser nu:

$$E = P_0 / A_L \quad \text{W/m}^2$$

Substitutie levert nu

$$E = \frac{4 P_0}{\pi (a + r \phi)^2} \quad \text{W/m}^2$$

Wanneer E wordt vervangen door E_{MPE} , de maximaal toelaatbare stralingssterkte, wordt r gelijk aan de NOHD en de formule kan worden herschreven tot:

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{4 P_0 / \pi E_{MPE}} - a}{\phi} = \frac{1}{\phi} \left[\sqrt{\frac{4 P_0}{\pi E_{MPE}}} - a \right] \quad [\text{in m}]$$

Wanneer de blootstellingslimiet is gegeven als de energiedichtheid H in J/m^2 betekent dit

$$\text{NOHD} = \frac{1}{\phi} \left[\sqrt{\frac{4 P_0 t}{\pi H_{MPE}}} - a \right] \quad [\text{in m}]$$