

Optische straling in arbeidssituaties

juni 2006





Ministerie van Sociale zaken
en Werkgelegenheid

Optische straling in arbeidssituaties

Praktische aspecten bij implementatie in Nederland
van de EU-richtlijn betreffende de blootstelling aan
bronnen van kunstmatige optische straling

F.P. Wieringa, C.J.P.M. Teirlinck en J.W.A.M. Alferdinck

Review: prof. D. van Norren



30 juni 2006

TNO-Rapportnummer KZ/2005.190

| | |
|-------------------|---|
| Aantal pagina's | 116 |
| Aantal bijlagen | 5 |
| Opdrachtgever | Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) Directie Arbeidsomstandigheden |
| TNO-Projectnaam | SZW Optische Straling |
| TNO-Projectnummer | 011.85503/01.01 |

Samenvatting

Licht is onontbeerlijk voor de mens. Werknemers kunnen echter tijdens hun werk in sommige gevallen blootgesteld worden aan *teveel* “licht”, waardoor ogen en/of huid beschadigd kunnen worden. Voor dit soort situaties is de recent verschenen EU-Richtlijn 2006/25/EG over kunstmatige optische straling (9) bedoeld, die beschrijft welke effecten kunnen optreden en wat de grenswaarden voor blootstelling zijn. De term optische straling omvat het zichtbare, ultraviolette en infrarode spectrum. De term licht is een lossere term waarmee over het algemeen het zichtbare deel van het optische spectrum wordt aangeduid.

Dit rapport is geen uittreksel van de betreffende EU-Richtlijn, maar vormt een praktisch hulpmiddel bij de interpretatie ervan. Het doel van dit rapport is om gebruikers van kunstmatige optische stralingsbronnen te helpen inschatten of er problemen zijn te verwachten met de bronnen waarmee zij werken; en zo ja hoe hiermee om te gaan.

Indien alleen gewerkt wordt met algemene verlichting dan zal de EU-Richtlijn aangaande kunstmatige optische straling over het algemeen géén extra maatregelen vragen.

Voor optische straling in het algemeen is helaas (nog) geen model RI&E beschikbaar. Dit is tevens één van de redenen waarom het ministerie SZW dit rapport als hulpmiddel beschikbaar stelt. Wel zijn er branche-organisaties die zeer veel nuttige informatie aanbieden. In bijlage C van dit rapport is een overzicht opgenomen van adressen waar u nadere informatie kunt vinden.

Het rapport is opgesplitst in 2 delen.

Deel 1 beschrijft naast wat algemene informatie vooral de procedure om een werkomgeving te beoordelen. Verschillende in de praktijk voorkomende werkomgevingen zijn ingedeeld in 4 categorieën (gebaseerd op de EN 12198 normenreeks) en samengevat in een tabel. Door de toegekende categorie in een stroomdiagram in te vullen kan worden vastgesteld wat in een bepaalde werkomgeving moet worden gedaan om aan de Richtlijn te voldoen. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt of een bron wordt geopend (b.v. service/onderhoud). Als een bron geopend wordt (of uw specifieke werksituatie staat niet in de tabel) dan kan worden overgegaan op beoordeling van de bron, waarvoor een tweede stroomdiagram is opgenomen.

Deel 2 bevat gedetailleerdere achtergrondinformatie, zo wordt van typische werkomgevingen behandeld waar zoal op gelet moet worden en hoe tot een categorie indeling is gekomen.

Omdat industriële toepassingen voor kunstmatige optische straling doorlopend in ontwikkeling zijn, kunnen niet alle mogelijke werkomgevingen en situaties worden voorzien. Een aanvullende doelstelling

van dit rapport is dan ook om werkgevers, preventiemedewerkers en arbeidshygiënisten praktische aanknopingspunten te geven om zo eenvoudig mogelijk na te kunnen gaan of een beoordeling volgens de richtlijn optische straling nodig is of niet. Hiertoe wordt voor de spectrale deelgebieden UVC, UVB, UVA, VIS (het zichtbare gebied), IRA, IRB en IRC kort uitgelegd wat de specifieke kenmerken voor dat deelspectrum zijn, wat de belangrijkste soorten bronnen zijn en welke effecten bij ogen en huid kunnen optreden bij overschrijding van limietwaarden. De limietwaarden zelf staan in de EU-Richtlijn.

De verschillen tussen lasers en incoherente bronnen worden kort uitgelegd, ook wordt een groot aantal veel voorkomende bronnen en toepassingen behandeld.

Er zijn enkele praktische vuistregels opgenomen om verschillende lamptypen te herkennen en de classificering van lasers wordt kort uiteengezet.

Hierna wordt een overzicht gegeven van de toegepaste arbeidshygiënische strategie samen met de mogelijkheden tot inschatting van werkomgevingen middels software-modellen voor zowel lasers als incoherente bronnen. Voor gevallen waarin metingen noodzakelijk zijn wordt aangegeven welke normen van toepassing zijn, inclusief een samenvatting van de daarin vermelde eisen.

Tenslotte worden verschillende voorlichtings- en kennisniveaus omschreven alsmede waarvandaan eventueel kennis van derden betrokken kan worden.

Er zijn 5 bijlagen opgenomen, getiteld:

- A. Gebruikte afkortingen van organisaties
- B. Terminologie aangaande optische straling
- C. Overige informatiebronnen
- D. Lijst met fotogevoeligheid versterkende stoffen
- E. Vergelijking categorie-indeling tussen de implementatie van de richtlijnen “optische straling” en “elektromagnetische velden”.

De EU-Richtlijn aangaande kunstmatige optische straling in arbeidssituaties is in zijn geheel te verkrijgen via:

http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/nl/oj/2006/l_114/l_11420060427nl00380059.pdf

Summary

Light is indispensable for mankind. However, in some cases employees can be exposed to excessive levels of “light” during work, so that the skin and/or the eyes can be injured. For this kind of situations, the recently published EU-Directive 2006/25/EG concerning optical radiation exposure by artificial sources (9) is intended. The pertaining Directive describes which effects can arise and what the exposure limit values are. Optical radiation covers the visible, ultraviolet and infrared parts of the spectrum. The term light is somewhat looser and generally is used to indicate the visible part of the spectrum.

This report is not an abstract of the pertaining EU-Directive, but forms a practical guide for interpretation. The purpose of this report is to provide users of artificial sources of optical radiation with help to find out whether problems can be expected with the sources they use; and if so, how to deal with them.

In cases where only general lighting is applied, the EU-Directive will generally not require extra precautions or measures.

A general standardised risk estimation model for optical radiation hazards is not yet available in the Netherlands. This is one of the reasons that the Dutch Ministry of Social affairs and Employment offers this report as a tool to the field. There are, however, branche organisations that offer useful information. Annex C of this report contains a list of adresses from which further information can be obtained.

The report is split up in 2 Parts.

Part 1 provides some general information but in particular the procedure to assess a work environment. Several work environments which are commonly seen in practice are assigned with one of 4 categories (based upon the EN12198 series of standards) and summarized in a table. Filling in the assigned category into a flow diagram, reveals what is to be done within a particular work environment in order to comply with the Directive. The procedure distinguishes between normal use and maintenance. If a source is opened (or your specific work environment is not listed within the table) than the source can be assessed, for which a second flow diagram has been provided.

Part 2 contains more detailed background information. Specific points of attention and a motivation for the assigned category are given for the listed typical encountered work environments.

Because industrial applications for artificial optical radiation are constantly evolving, not all possible work environments can be foreseen. An additional aim of this report therefore is to provide enough clues for employers, prevention co-ordinators and labour hygienists to be able to assess situations

themselves in order to judge whether a detailed test according to the optical radiation Directive is necessary or not.

For the spectral bands of UVC, UVB, UVA, VIS (the visible band), IRA, IRB and IRC a short explanation is given of the specific characteristics of those spectral bands, along with the most important sources and the biological effects that can arise due to over-exposure. For the actual limit values, see the EU-Directive.

The differences between lasers and incoherent sources are briefly explained, as well as a great variety of sources and applications thereof.

A number of practical rule-of-thumbs of how to recognize various lamp types are included. The classification system of lasers is also briefly explained.

Subsequently an overview of the applied labour hygienic strategy is presented, along with the possibilities to use software models for hazard assessment of lasers and incoherent sources. In case that measurements may be required, the applicable standards are listed, including a summary of the essential requirements.

Finally several educational and knowledge levels are described, including third party sources that can supply such knowledge.

5 appendices have been added, titled:

- A. Used abbreviations of organisations
- B. Terminology pertaining to optical radiation
- C. Other sources of information
- D. List with photosensitizing substances
- E. Comparison between the categorization system for implementation of the EU-Directives for “optical radiation” and “electromagnetic fields”.

The complete EU-Directive pertaining to artificial optical radiation exposure in the workplace can be downloaded via:

http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/en/oj/2006/l_114/l_11420060427en00380059.pdf

Inhoudsopgave

| | |
|--|-----------|
| Samenvatting | 2 |
| Summary | 4 |
| DEEL I PRAKTISCHE TOEPASSING VAN DE RICHTLIJN | 10 |
| 1 Inleiding | 11 |
| 1.1 Licht in een wat bredere zin: Optische straling..... | 11 |
| 1.2 Doel van dit rapport | 12 |
| 1.3 Inpassing in de RI&E systematiek..... | 13 |
| 1.4 Leeswijzer (met korte toelichting rapportstructuur) | 13 |
| 2 Procedure voor de beoordeling | 15 |
| 2.1 Categorieën werkomgevingen | 15 |
| 2.2 Procedure | 16 |
| 2.3 Lijst van typische werkomgevingen met optische stralingsbronnen..... | 18 |
| DEEL II ACHTERGROND-INFORMATIE | 21 |
| 3 Achtergronden van het onderzoek | 22 |
| 3.1 Aanleiding tot het onderzoek: voorstel EU-Richtlijn Optische Straling..... | 22 |
| 3.2 Doel van het onderzoek | 22 |
| 3.3 Gehanteerde werkwijze..... | 23 |
| 3.3.1 Literatuuronderzoek..... | 23 |
| 3.3.2 Meetdossiers TNO en veelgestelde vragen..... | 23 |
| 3.3.3 Klankbordgroep betrokken partijen | 23 |
| 3.3.4 Totstandkoming van de gehanteerde categorie-indeling | 24 |
| 3.3.5 De EU-Richtlijn aangaande kunstmatige optische straling | 25 |
| 4 Eigenschappen van optische straling (“licht”) | 28 |
| 4.1 Wat is "licht" en wat is “optische straling” ? | 28 |
| 4.2 De plaats van optische straling in het elektromagnetische spectrum | 28 |
| 4.3 Ultraviolette straling (UV; 100 – 400 nm)..... | 30 |
| 4.3.1 UVA-straling (400 - 315 nm) | 30 |
| 4.3.2 UVB-straling (315 - 280 nm) | 30 |
| 4.3.3 UVC-straling (280 - 100 nm) | 31 |
| 4.4 Zichtbaar licht (VIS; 400 – 780 nm)..... | 31 |
| 4.5 Infrarode straling (IR; 780 – 10 ⁶ nm)..... | 32 |
| 4.5.1 IRA-straling (780 – 1400 nm) | 32 |
| 4.5.2 IRB-straling (1400 – 3000 nm)..... | 32 |
| 4.5.3 IRC-straling (3000 – 10 ⁶ nm)..... | 32 |
| 4.5.4 Terahertz straling..... | 33 |
| 4.6 Wat is er speciaal aan laserstraling ? | 33 |
| 5 Biologische invloeden van optische straling | 35 |
| 5.1 Het menselijk oog | 35 |
| 5.2 De menselijke huid | 38 |
| 5.2.1 Algemeen..... | 38 |
| 5.2.2 Huidkanker in het kort..... | 41 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3 | Actiespectra | 42 |
| 5.3.1 | Toepassing van actiespectra bij metingen | 44 |
| 5.3.2 | Niet alleen spectrale maar ook geometrische eigenschappen zijn belangrijk | 45 |
| 5.3.3 | Afwijkingen ten opzichte van actiespectra | 45 |
| 6 | Bronnen van optische straling | 46 |
| 6.1 | Wanneer geeft iets "licht" ? | 46 |
| 6.1.1 | Zwarte stralers (black body radiators) | 46 |
| 6.1.2 | Karakteristieke emissies | 47 |
| 6.2 | Kunstmatige bronnen | 48 |
| 6.2.1 | Lasers | 48 |
| 6.2.2 | Lampen | 50 |
| 6.2.3 | LED's | 57 |
| 6.2.4 | Verschil tussen LED's en laserdiodes | 58 |
| 6.2.5 | Open bronnen | 59 |
| 7 | Bedrijfstakken & blootstellingsniveaus | 60 |
| 7.1 | Algemeen | 60 |
| 7.2 | Doelgerichte toepassingen van optische straling | 60 |
| 7.2.1 | Industrie: Lasers | 60 |
| 7.2.2 | Industrie: Incoherente bronnen | 61 |
| 7.2.3 | Gezondheidszorg: Lasers | 66 |
| 7.2.4 | Gezondheidszorg: Incoherente bronnen | 67 |
| 7.2.5 | Handel, Horeca en Amusement | 69 |
| 7.2.6 | Hygiënische toepassingen | 72 |
| 7.2.7 | Warmhouden van voedsel | 73 |
| 7.2.8 | Laboratoria: Lasers | 73 |
| 7.2.9 | Laboratoria: Incoherente bronnen | 74 |
| 7.2.10 | Kassenbouw | 75 |
| 7.2.11 | Defensie, politie en beveiliging | 76 |
| 7.2.12 | Overig | 77 |
| 7.3 | Optische straling als bijproduct | 77 |
| 7.3.1 | Laserbewerkingen met secundaire emissie | 78 |
| 7.3.2 | Lassen | 78 |
| 7.3.3 | Puntlassen (elektrisch) | 79 |
| 7.3.4 | Snijden (d.m.v. verhitting) | 79 |
| 7.3.5 | Spuiten (onder verhitting) | 79 |
| 7.3.6 | Smelt-, giet- en walsprocessen (metaal, glas) | 80 |
| 7.4 | Speciale aandacht voor onderhoud en reparatie | 81 |
| 7.5 | Voorbeelden van praktische situaties met limietoverschrijding | 82 |
| 8 | Inventarisatie/evaluatie risico's en beheersmaatregelen | 84 |
| 8.1 | Arbeidshygiënische strategie | 84 |
| 8.2 | Bronmaatregelen: de rol van fabrikanten | 84 |
| 8.3 | Hulp bij inschatting "gezondheidsrisico's of niet" | 85 |
| 8.3.1 | Vuistregels voor kunstmatige bronnen: lampherkenning | 85 |
| 8.3.2 | Overige algemene raadgevingen | 86 |
| 8.3.3 | Vuistregels voor omgang met lasers | 87 |
| 8.3.4 | Waarschuwingssymbolen | 88 |
| 8.3.5 | Software-modellen | 89 |
| 8.4 | Meting en beoordeling van blootstelling aan optische straling | 94 |
| 8.4.1 | Metten en beoordelen van kunstmatige bronnen | 94 |

| | | |
|-------------------|--|------------|
| 8.5 | Technische maatregelen aan de bron | 95 |
| 8.5.1 | Juiste keuze van de bronsoort | 95 |
| 8.5.2 | Afscherming en hiervoor veel gebruikte materialen..... | 95 |
| 8.5.3 | Filtering | 96 |
| 8.5.4 | Beveiligingscircuit (interlock)..... | 96 |
| 8.5.5 | Richting van openingen | 97 |
| 8.6 | Organisatorische maatregelen..... | 97 |
| 8.6.1 | Beperking bestralingsduur, toegangsbeleid | 97 |
| 8.6.2 | Vergroting van de afstand..... | 97 |
| 8.6.3 | Waarschuwborden en signaleringen | 98 |
| 8.6.4 | Voorlichting en instructie | 98 |
| 8.7 | Persoonlijke beschermingsmiddelen..... | 98 |
| 8.7.1 | Bescherming van de ogen..... | 98 |
| 8.7.2 | Bescherming van de huid..... | 99 |
| 9 | Deskundigheidsniveaus | 100 |
| 9.1 | Mogelijke doelgroepen voor een EU-Richtlijn optische straling..... | 100 |
| 9.1.1 | Omstanders, leken of gebruikers en categorie 0 gebruikssituaties | 100 |
| 9.1.2 | Gebruikers van kunstmatige optische stralingsbronnen categorie ≥ 1 | 100 |
| 9.1.3 | Werkers aan kunstmatige bronnen..... | 100 |
| 9.1.4 | Arbo-deskundigen | 101 |
| 9.1.5 | Fabrikanten/leveranciers van kunstmatige optische stralingsbronnen..... | 101 |
| 9.2 | Beschrijving kennisniveaus | 101 |
| 9.2.1 | Werknemers algemeen | 102 |
| 9.2.2 | Preventiemedewerker | 103 |
| 9.2.3 | Arbo-deskundige | 103 |
| 9.2.4 | Nationale experts | 103 |
| 9.3 | Expertise-centra aangaande kunstmatige bronnen..... | 104 |
| 9.3.1 | Nationale Commissie Laserveiligheid (NCL) | 104 |
| 9.3.2 | Mikrocentrum | 104 |
| 9.3.3 | TNO Kwaliteit van Leven en TNO Certification Medical | 104 |
| 10 | Literatuurverwijzing | 105 |
| Bijlage A. | Gebruikte afkortingen organisaties..... | 108 |
| Bijlage B. | Terminologie aangaande optische straling | 109 |
| Bijlage C. | Overige informatiebronnen..... | 111 |
| Bijlage D. | Lijst met fotogevoeligheid versterkende stoffen..... | 112 |
| Bijlage E. | Vergelijking categorie-indeling tussen de implementatie van de richtlijnen ‘optische straling’ en ‘elektromagnetische velden’ | 115 |

DEEL I
PRAKTISCHE TOEPASSING VAN DE RICHTLIJN

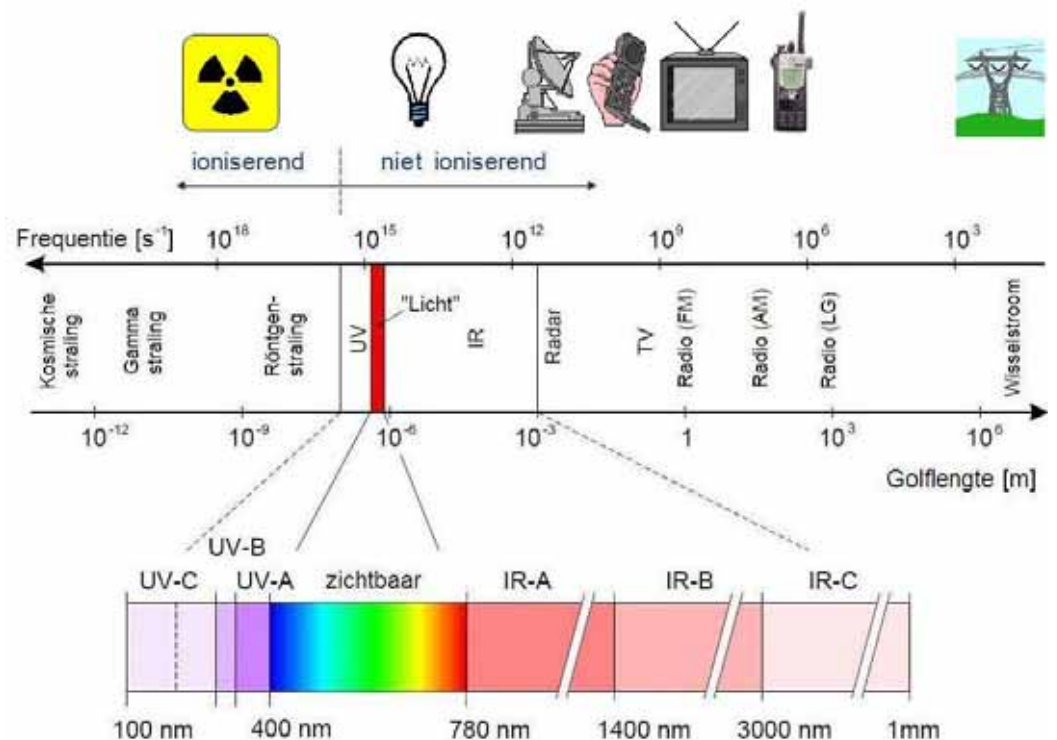
1 Inleiding

Voldoende licht (het zichtbare deel van optische straling) is noodzakelijk om goed te kunnen functioneren. Daglichttoetreding wordt als prettig ervaren, en bij onvoldoende daglicht of gehele afwezigheid ervan maakt de mens gebruik van kunstmatige optische stralingsbronnen voor verlichting (vroeger kaarsen en olielampen, tegenwoordig elektrisch licht). Kunstmatige verlichting wordt overal in de maatschappij toegepast en heeft over het algemeen geen nadelige gevolgen. Integendeel, bij onvoldoende verlichting kunnen juist de grootste ongelukken ontstaan (vooral op het werk).

Werknemers kunnen echter tijdens hun werk in sommige gevallen blootgesteld worden aan *teveel* licht (zichtbaar, ultraviolet of infrarood), waardoor ogen en/of huid beschadigd kunnen worden. Voor dit soort situaties is de EU-Richtlijn 2006/25/EG over kunstmatige optische straling bedoeld, die beschrijft welke effecten kunnen optreden en wat de grenswaarden voor blootstelling zijn (9).

1.1 Licht in een wat bredere zin: Optische straling

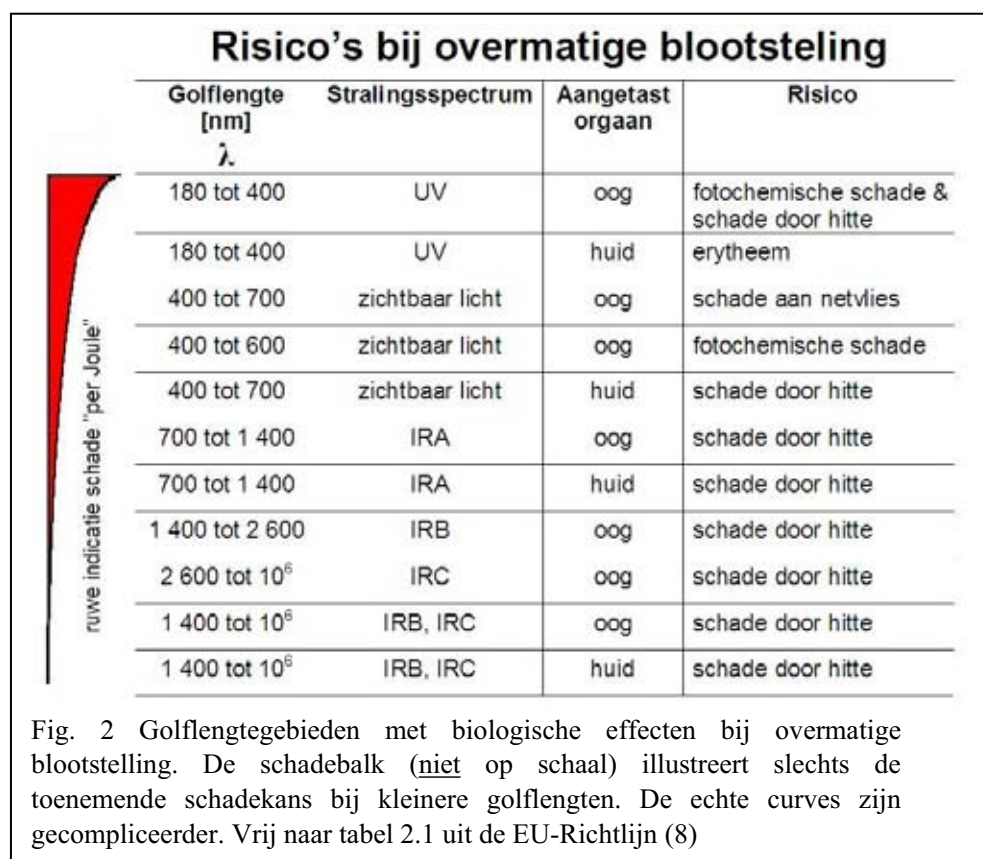
Optische straling is een onderdeel van de familie van elektromagnetische straling (EM-straling). Het elektriciteitsnet zendt EM-velden uit met zeer grote golflengte. Als we de golflengte korter maken komen we via de langegolf, middengolf, kortegolf, ultrakortegolf (FM-radio) uit bij TV, GSM magnetron en radar. *Hierna volgt het optische gebied dat begint met het verre infrarood. Na het infrarood volgt het (vrij smalle) zichtbare gebied en daarna het ultraviolet. Na het harde UVC eindigt het optische gebied en tevens het niet-ioniserende deel van het EM-spectrum. Daarna volgt het ioniserende gebied met Röntgen-, gamma- en kosmische straling (zie fig. 1).*



Figuur 1 Het elektromagnetische spectrum met enkele voorbeelden van toepassingen.

Het gebied waarin we spreken van optische straling is onderaan apart uitvergroot.

In het geval van zichtbaar licht kunnen beschadigingen alleen onder bijzondere omstandigheden of door zeer sterke bronnen ontstaan. Die bronnen kunnen we zien waardoor we geneigd zijn de ogen te beschermen. In het geval van onzichtbaar “licht” (infrarood of ultraviolet) liggen de risico’s anders omdat we dit niet kunnen zien. Infrarood “licht” kunnen we met onze huid nog als een warmtebron voelen, maar bij een te hoge dosis ultraviolet “licht” merken we pas na enkele uren dat we een huidverbranding of oogschade hebben opgelopen. Daarbij komt dat juist ultraviolet “licht” relatief het gevaarlijkst is (zie figuur 2).



1.2 Doel van dit rapport

Dit rapport is bedoeld als een praktisch hulpmiddel bij de interpretatie van de Europese Richtlijn aangaande kunstmatige optische straling en is er vooral op gericht om gebruikers van kunstmatige optische stralingsbronnen een handreiking te geven om snel te kunnen inschatten of er problemen zijn te verwachten met de bronnen waarmee zij werken.

Indien alleen gewerkt wordt met algemene verlichting dan zal de EU-Richtlijn aangaande kunstmatige optische straling over het algemeen géén extra maatregelen vragen.

1.3 Inpassing in de RI&E systematiek

De Arbowet, artikel 5, legt bedrijven de verplichting op om een risico-inventarisatie en evaluatie (RI&E) op te stellen. Deze inventarisatie en evaluatie moet betrekking hebben op alle risico's die de arbeid ten aanzien van de veiligheid, gezondheid en het welzijn van de werknemers met zich meebrengt, dus ook de blootstelling aan optische straling. Het Arbobesluit geeft voor een aantal onderwerpen nadere voorschriften. In deze voorschriften, die rechtstreeks voortvloeien uit Europese richtlijnen, wordt aangegeven welke elementen de inventarisatie en evaluatie voor één specifiek, in dat voorschrift omschreven, risico dient te bevatten.

De RI&E komt stapsgewijs tot stand. Eerst wordt een inventarisatie gemaakt van de risico's die in het bedrijf aan de orde zijn. Vervolgens worden deze risico's geëvalueerd. Dat betekent dat in relatie tot wetgeving, normen en/of richtlijnen een weging van het risico plaatsvindt, zodat de ernst van het risico kan worden bepaald. Daarna kan worden vastgesteld of er beheersmaatregelen nodig zijn om het risico te verminderen en waaruit die beheersmaatregelen moeten bestaan. In een Plan van Aanpak legt de werkgever tenslotte vast welke beheersmaatregelen hij gaat nemen en wanneer en door wie die worden genomen. Elk bedrijf mag de RI&E zelf opstellen en schakelt daarbij deskundige bijstand in.

Voor een aantal branches zijn er door de branche-organisaties zogenoemde model-RI&E's gemaakt, deze zijn bijvoorbeeld te vinden op de algemene website van het Arboplatfom Nederland (www.arbo.nl) en op een gespecialiseerde website www.rie.nl.

Voor optische straling in het algemeen is helaas (nog) geen model RI&E beschikbaar. Dit is tevens één van de redenen waarom het ministerie SZW dit rapport als hulpmiddel beschikbaar stelt. Wel zijn er branche-organisaties die zeer veel nuttige informatie aanbieden. Voorbeelden zijn het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL) en RadTech Europe (RTE, een organisatie die het gebruik promoot van UV- en elektronenstraal-technieken, vooral in de grafische & coating industrie). In dit rapport is een overzicht opgenomen van adressen waar u nadere informatie kunt vinden (zie 9.2.4 en Bijlage C).

1.4 Leeswijzer (met korte toelichting rapportstructuur)

In deze leeswijzer kunt u vinden welke delen van het rapport van belang zijn om snel te beoordelen of de EU-Richtlijn optische straling veranderingen met zich meebrengt voor uw bedrijf of werksituatie. In veruit de meeste gevallen is alleen Deel I van dit rapport relevant (gevormd door de hoofdstukken 1 en 2). In sectie 2.2 is een set flowdiagrammen opgenomen om te bepalen of ook Deel II (gevormd door de verdere hoofdstukken) van toepassing is.

Hiertoe onderscheidt de leeswijzer een aantal verschillende doelgroepen die mogelijk te maken krijgen met de richtlijn. Deze groepen zijn:

- **Werkgevers** in het algemeen, i.v.m. de veiligheid van hun werknemers. Werkgevers dienen kennis te nemen van Deel I van dit rapport en kunnen aan de hand van de flowdiagrammen in sectie 2.2 bepalen of eventueel ook Deel II van toepassing is.

- **Werknemers** in het algemeen, die hun eigen veiligheid en die van collega's, omstanders, etc. in moeten kunnen schatten. Hoofdstuk 2 is voor deze groep het meest relevant. Bij het gebruiken van de flowdiagrammen in sectie 2.2 dient onderscheid gemaakt te worden tussen twee belangrijke groepen:
 - Gebruikers *ván* kunstmatige optische stralingsbronnen
Hiervoor is in sectie 2.2 vooral Diagram A in figuur 3 belangrijk.
 - Werkers *áán* kunstmatige optische stralingsbronnen
Hiervoor is in sectie 2.2 vooral Diagram B in figuur 4 belangrijk, waarbij het voor kan komen dat om de bron in te kunnen delen ook Deel II geraadpleegd moet worden.
- **Arbo-deskundigen**, die de blootstellingslimieten moeten kunnen begrijpen en toepassen op arbeidssituaties. Zowel Deel I als Deel II zijn voor deze groep relevant.
- **Fabrikanten en leveranciers van bronnen** van optische straling, die goede voorlichting over de veiligheid van hun producten moeten geven aan hun klanten. Gaat het puur om normale verlichtingsdoeleinden dan biedt Deel I van dit rapport voldoende informatie, anders is ook Deel II relevant. Voor bronnen met hoge vermogens en sterk geconcentreerde bundels biedt dit rapport echter onvoldoende informatie en is aanvullende expertise noodzakelijk.

Voor de lijst met werkomgevingen uit sectie 2.3 is als achtergrond informatie een onderbouwende beschouwing opgenomen in deel II van dit rapport (de lijst verwijst naar de bijbehorende paragrafen uit hoofdstuk 7).

In de lijst met werkomgevingen wordt alleen gesproken over kunstmatige bronnen en niet over de zon. Dit komt doordat de EU-Richtlijn Optische Straling alleen van toepassing is op kunstmatige bronnen en niet op zonlicht. De blootstellingslimieten van de EU-Richtlijn gelden dus wettelijk alléén voor kunstmatige bronnen in de arbeidssituatie.

Dat houdt niet in dat overmatige zonnestraling geen risico's geeft. De zon is echter een bron waar de mens geen invloed op heeft en de potentiële effecten van zonnestraling zijn zeer sterk afhankelijk van klimaat, locatie, seizoen en zelfs tijdstip op de dag. Per EU-land verschilt de situatie dus enorm (en daarmee ook de mate waarin bescherming nodig is).

Vanuit deze overwegingen laat de EU de omgang met zonnestraling over aan nationale regelingen.

Voor informatie over de invloed van zonlicht is het Koninkrijk Wilhelmina Fonds (KWF) een aanbevolen bron (zie ook paragraaf 5.2.2 en Bijlage C).

In de EU-Richtlijn zijn verder aparte annexen met blootstellingslimieten opgenomen voor lasers enerzijds en incoherente bronnen (b.v. lampen, LEDs, smeltovens, lasbogen, etc.) anderzijds. Daarom worden lasers en incoherente bronnen ook apart behandeld in dit rapport.

2 Procedure voor de beoordeling

2.1 Categorieën werkomgevingen

De gehanteerde categorie-indeling van werkomgevingen is als volgt:

Categorie 0

Er is geen noodzaak voor speciale beschermingsmaatregelen.

Normale verlichting (met gewone TL-buizen, gloeilampen of standaard gefilterde halogeenlampen) is hiervan een typisch voorbeeld.

Categorie 1

In overeenstemming met het technisch fabrikanten-dossier van de machine en informatie aangaande de emissieniveaus van reststraling rondom de machine, dient de fabrikant in de gebruikershandleiding te specificeren welke beschermingsmaatregelen dienen te worden genomen.

Deze categorie is beperkt tot situaties waar sprake is van relatief geringe emissieniveaus waarvoor simpele maatregelen voldoende zijn.

Een voorbeeld is een laserwaterpas op een bouwplaats.

Categorie 2A

Beschermingsmiddelen zijn noodzakelijk, maar blootstellingen tijdens werkzaamheden zijn voorspelbaar en zo in te richten dat de werknemer (naast deze beschermingsmiddelen) voldoende heeft aan specifieke voorlichting en onderricht over de gevaren, risico's en secundaire effecten in zijn/haar situatie om veilig te kunnen werken.

In deze categorie is sprake van hoge emissieniveaus, de nadruk ligt echter op een zodanige voorspelbaarheid dat de risico's kunnen worden ondervangen door goed vakmanschap.

Laswerkzaamheden zijn hiervan een typisch voorbeeld.

Categorie 2B

Beschermingsmiddelen zijn noodzakelijk, maar omdat de blootstellingen tijdens werkzaamheden onvoorspelbaar (en hoog) kunnen zijn dient de werknemer zodanig getraind te zijn dat deze de keus van beschermingsmiddelen zelf kan bepalen aan de hand van voldoende algemene kennis over de gevaren, risico's en secundaire effecten van optische straling om veilig te kunnen werken.

In deze categorie is sprake van hoge emissieniveaus en is de voorspelbaarheid van risico's te beperkt om zonder specifieke kennis over optische straling te kunnen werken.

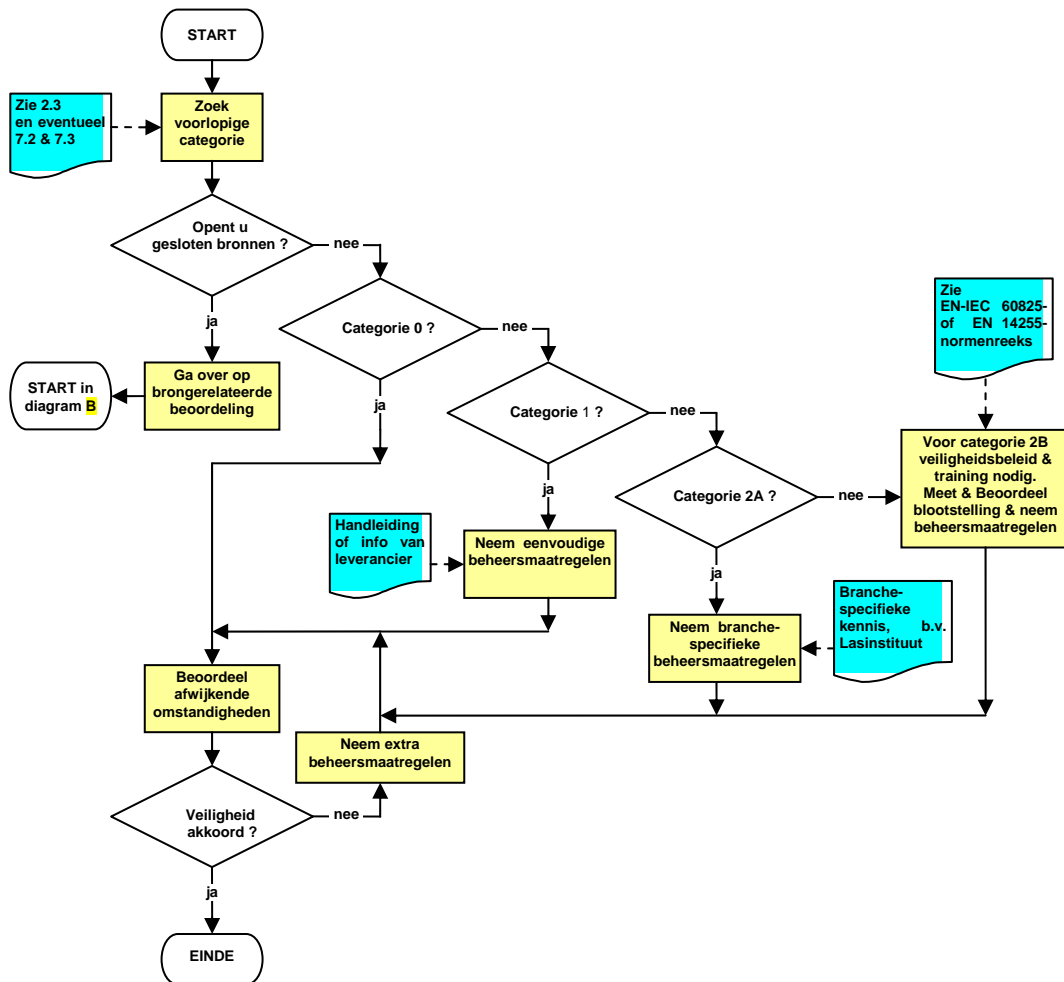
Voorbeelden zijn veiligheidsmetingen of service/onderhoud aan diverse (zware) bronnen van optische straling (b.v. lasers, smeltovens, etc.).

Een nadere toelichting over de herkomst van deze indeling is opgenomen in Deel II, paragraaf 3.3.4.

2.2 Procedure

De procedure die een werkgever bij de beoordeling in de zin van de richtlijn kan gebruiken, is schematisch weergegeven in 2 stroomschema's (A & B). Deze schema's bevatten naast een begin en een eind drie soorten symbolen: rechthoeken, ruiten en 'lijsten' (rechthoek met golvende onderkant). In de rechthoeken staan acties en in de ruiten vragen die met ja (ga verder naar beneden) of nee (ga opzij) worden beantwoord. De 'lijsten' bevatten informatie die voor de uitvoering van de acties in de rechthoeken nodig is en zijn voorzien van aanduiding(en) waar aanvullende informatie is te vinden. Figuur 3 bevat stroomdiagram **A** dat uitgaat van de voorlopige categorie zoals te vinden in sectie 2.3. Dit schema dient als volgt te worden toegepast:

1. Neem de lijst met werkomgevingen en zoek daarin de werkomgeving op die het meest met de te beoordelen situatie overeenkomt. Neem per werkomgeving als eerste schatting de categorie uit de lijst over (hou daarbij rekening met "normaal gebruik" en "onderhoud"). Bij opening van gesloten bronnen wordt overgegaan op een brongerelateerde beoordeling volgens stroomdiagram **B** (figuur 4).
2. Bij werkomgevingen met voorlopige categorie 0 hoeft alleen nog nagegaan te worden of er geen sprake is van 'afwijkende omstandigheden'. Afwijkende omstandigheden kunnen bijvoorbeeld ontstaan door de toepassing van stoffen die de fotogevoeligheid verhogen, of indien er sprake is van individuele werknemers met een verhoogde gevoeligheid voor optische straling (dit kan door erfelijke aanleg of ziekte, maar ook door medicijngebruik). Vervolgens dient opnieuw te worden bekeken of de veiligheid akkoord is; zo ja, dan is voor deze werkomgeving geen verdere actie nodig.
3. Bij werkomgevingen met voorlopige categorie 1 dienen aanwijzingen van de fabrikant/leverancier te worden opgevolgd. Daarna dienen nog de afwijkende omstandigheden te worden beoordeeld vergelijkbaar met de werkwijze bij een categorie 0 werkomgeving.
4. Bij werkomgevingen met voorlopige categorie 2A is sprake van situaties waarbij een duidelijke overschrijding van blootstellingslimieten optreedt als de voor het vakgebied gebruikelijke maatregelen niet worden genomen, maar waarin ook duidelijk is hoe men zich afdoende beschermen kan (een typisch voorbeeld is lassen). Bij toepassing van zulke branche-specifieke beheersmaatregelen kan er van worden uitgegaan dat er bij vakkundig gebruik geen blootstellingslimieten worden overschreden en hoeft alleen nog naar eventuele afwijkende omstandigheden te worden gekeken.
5. Bij werkomgevingen met voorlopige categorie 2B is óók sprake van situaties waar onbeschermd duidelijk limietoverschrijding optreedt, maar bij veranderende omstandigheden. Daarom dienen werkers zelf over een dusdanig kennisniveau te beschikken dat zij zelfstandig de veiligheid kunnen beoordelen (tevens moet de organisatie dit steunen door afdoende middelen en training). Dit is typisch de categorie waar metingen soms uitsluitel over veiligheid moeten bieden.

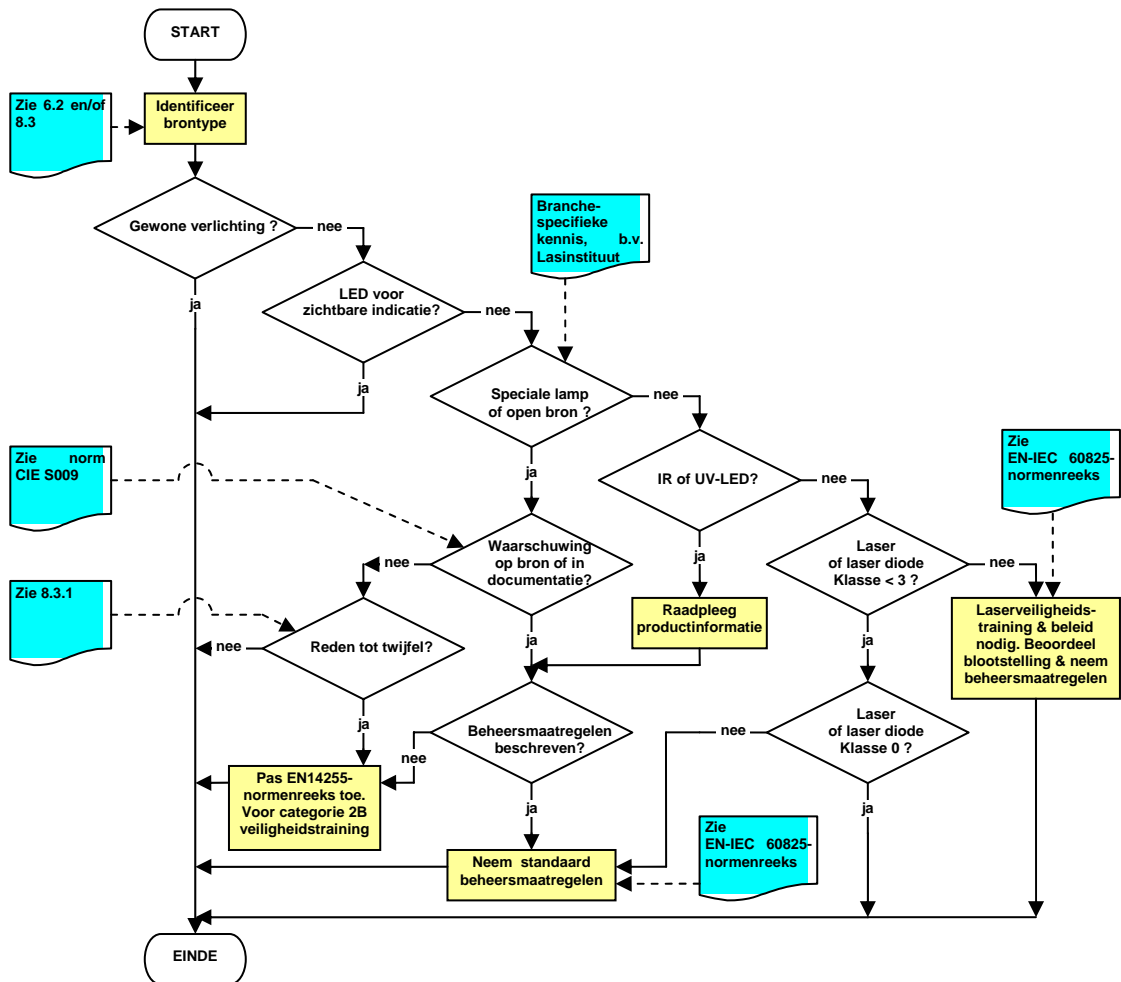


Figuur 3 Diagram A: Categorie-gerelateerde beoordeling

Zoals in bovenstaand diagram A te zien is, verandert de wijze van beoordeling wanneer er sprake is van situaties waarbij gesloten bronnen worden geopend (en de werkende “kale” bron binnen bereik komt). Logischerwijs moet dan worden overgegaan op een brongerelateerde beoordeling. Een tweede stroomdiagram B is hiervoor weergegeven in figuur 4 (zie volgende pagina).

Belangrijk: Een brongerelateerde beoordeling van de “kale” bron is alleen nodig als die “kale” bron ook daadwerkelijk voor de blootstelling kan zorgen.

Voorbeeld: Een goed beveiligde industriële klasse 4 laser in een proces waarbij het werkstuk wordt omgeven door een veiligheidsomkasting, valt bij normaal gebruik typisch in een categorie 1 (dus “*volg de gebruiksaanwijzing*”) maar valt typisch in categorie 2B als iemand interlock-schakelaars overbrugt voor servicedoeleinden. In het eerste geval (normaal gebruik) heeft de gebruiker geen toegang tot de werkende bron. In het tweede geval (onderhoud) is door het overbruggen van de beveiliging de “kale” bron toegankelijk terwijl deze in werking is.



Figuur 4 Diagram B: Brongerelateerde beoordeling

2.3 Lijst van typische werkomgevingen met optische stralingsbronnen

Zoals reeds eerder in dit rapport benadrukt, valt gewone verlichting normaal gesproken in categorie 0.

In het onderstaande overzicht zijn een aantal typische werkomgevingen opgenomen waarbij optische straling voorkomt met daarbij twee categorie-indelingen. De kolom “normaal” is voor werkers die alleen mét bronnen werken en de kolom “service” is voor werkers die áán bronnen werken en toegang hebben tot de inwendige “kale” bron(nen), b.v. bij reparatie/onderhoud.

Per werkomgeving is een verwijzing vermeld naar achtergrond-informatie in Deel II.

Met de voor uw werkomgeving relevante categorie kunt u vervolgens de stroomdiagrammen in sectie 2.2 doorlopen.

| Werkomgeving | Zie e.v.t. in deel II: | Categorie | |
|--|---------------------------|-----------|---------|
| | | normaal | service |
| - laserklasse 2 | | 1 | 1 |
| - laserklasse 3 of hoger | | 2B | 2B |
| Algemeen verbreide apparatuur | 7.2.5.1 | | |
| - barcode scanners | | 0 | 1 |
| - laserprinters | | 0 | 2A |
| - afstandsbedieningen | | 0 | 0 |
| Amusementssector: Blacklight | 7.2.5.2 | 1 | 2A |
| Amusementssector: lasershows | 7.2.5.3 | # | 2B |
| Communicatielasers | 7.2.1.1 | | |
| - gesloten systemen | | 0 | 2A |
| - open systemen | | 1 | 2A |
| Defensie, politie en beveiliging | 7.2.11 | # | # |
| Desinfectie van oppervlakken en lucht (UVC): | 7.2.2.2 | | |
| - gesloten systeem met interlock | | 0 | 2B |
| - losse verplaatsbare lampen | | 2B | 2B |
| - open systeem luchtdesinfectie (upper air) | | 0 | 2A |
| - gesloten systeem luchtdesinfectie (inbouw) | | 0 | 2B |
| Desinfectie van water | 7.2.2.3 | 0 | 2B |
| Display's en mededelingenborden | 7.2.5.4 | # | # |
| Droogprocessen | 7.2.2.1 | | |
| - IR | | 1 | 2A |
| - UV | | 1 | 2B |
| Fluorescentie-onderzoek | 7.2.9.2 | # | 2B |
| Forensisch onderzoek | 7.2.9.1 | | |
| - UVA fluorescentie | | # | # |
| - IRA bron & camera | | 0 | 0 |
| Gezondheidszorg: lasers | 7.2.3 | 2A | 2B |
| Grafische processen | 7.2.2.5 | # | 2B |
| Hygiënische toepassingen | 7.2.6 | # | # |
| IR-therapie | 7.2.4.1 | 0 | 1 |
| Kassenbouw | 7.2.10 | 1 | 1 |
| Laboratoria: Lasers, gesloten opstellingen | 7.2.8.1 | 0 | # |
| Laboratoria: Lasers, open opstellingen | 7.2.8.2 | | |
| - laserklasse 1 | | 0 | 0 |
| Laserbewerkingen | 7.2.1.3 | 1 | 2B |
| Laserbewerkingen met secundaire emissie * | 7.3.1 | 2A | 2B |
| Lassen* | 7.3.2 | 2A | 2A |
| Materiaalonderzoek | 7.2.9.2 | # | # |
| Meet- en richtlasers | 7.2.1.2 | 1 | 1 |
| Onderhoud en reparatie | 7.4 | # | # |
| Puntlassen (elektrisch) * | 7.3.3 | 0 | 0 |
| Reclame (laserprojectie) | 7.2.5.5 | # | 2B |
| Reiniging van oppervlakken | 7.2.2.6 | | |
| - UV/ozon methode | | 1 | 2B |
| - laser methode | | 2B | 2B |

| Werkomgeving | Zie e.v.t. in deel II: | Categorie | |
|---|---------------------------|-----------|---------|
| | | normaal | service |
| Sauna's | 7.2.5.6 | 0 | 1 |
| Smelt-, giet- en walsprocessen (metaal, glas) * | 7.3.6 | 2A | 2B |
| Snijden (d.m.v. verhitting) *# | 7.3.4 | 2A | # |
| Solaria | 7.2.5.7 | 1 | # |
| Spuiten (onder verhitting) *# | 7.3.5 | 2A | 2A |
| Spuiterijen (met interlock) | 7.2.2.7 | 0 | 2A |
| UV-therapie | 7.2.4.2 | 1 | 2B |
| Vals-geld detectie | 7.2.5.8 | | |
| - UVA | | 1 | 1 |
| - UVC (gesloten bron) | | 0 | 2B |
| Verlichting | 7.2.2.8 | | |
| - normale verlichting | | 0 | 0 |
| - zeer sterke bronnen (normaal gebruik) | | 0 | 1 |
| - zeer sterke bronnen (experimenteel gebruik) | | 1 | 2A |
| Warmhouden van voedsel | 7.2.7 | 0 | 1 |

* Betekent dat de relevante straling een *bijproduct* van proces of bron is.

Betekent dat geen eenduidige categorie kan worden toegekend en Deel II geraadpleegd moet worden voor een brongerelateerde benadering.

Bovenstaande categorie-indeling gelden voor de blootstelling van werknemers. Bij solariala, UV-therapie, sauna's en IR-therapie is de blootstelling van werknemers over het algemeen gering ten opzichte van de blootgestelde recreant of patiënt (die echter niet onder de EU-Richtlijn voor kunstmatige optische straling valt).

In het geval van werkomgevingen die niet in dit overzicht vermeld staan, maar waarbij wel optische stralingsbronnen worden toegepast, wordt aanbevolen om de hoofdstukken 7 en 8 in Deel II te raadplegen.

DEEL II
ACHTERGROND-INFORMATIE

3 Achtergronden van het onderzoek

3.1 Aanleiding tot het onderzoek: voorstel EU-Richtlijn Optische Straling

Dit onderzoek is door TNO uitgevoerd in opdracht van de Directie Arbeidsomstandigheden van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW). De aanleiding tot deze opdracht werd gevormd door het voorstel voor een Europese Richtlijn (8) met betrekking tot de blootstelling aan kunstmatige optische straling (ultraviolet, infrarood en zichtbaar licht). Het betreft hier een 19^e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG, waarin reeds eerder bijzondere richtlijnen voor geluid, trillingen en elektromagnetische velden zijn uitgebracht.

De Nederlandse overheid is bezig met vereenvoudiging van de ARBO-regelgeving, en wil vermijden dat een dergelijke nieuwe richtlijn het bedrijfsleven onnodige administratieve lasten zou bezorgen. Schade door overmatige blootstelling aan optische straling valt reeds impliciet onder de bestaande regelgeving, alleen wordt daarin weinig tot geen specifieke informatie over optische straling gegeven. Een in 1995 door het ministerie van SZW uitgegeven rapport (20) gaf reeds aan dat het zonder specifieke informatie moeilijk is om af te wegen of er al dan niet een reëel gevaar van overmatige optische stralingsblootstelling bestaat. Dit rapport is bedoeld om zulke specifieke informatie te bieden als praktische steun bij risicoafwegingen aangaande optische straling. De richtlijn dient zodanig te worden geïmplementeerd dat duidelijk wordt wat voor welke arbeidssituaties de daadwerkelijke consequenties zijn. De overgrote meerderheid aan situaties waarbij werknemers worden blootgesteld aan kunstmatige bronnen van optische straling betreft immers normale algemene verlichting waarbij individuele toetsing aan de richtlijn volstrekt overbodig is.

3.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om in kaart te brengen voor welke bedrijfstakken en/of processen sprake is van redelijkerwijs te verwachten gezondheidsrisico's door blootstelling aan optische straling, maar vooral ook waar de werkgever er vanuit kan gaan dat hiermee redelijkerwijs géén problemen te verwachten zijn.

Omdat industriële toepassingen voor kunstmatige optische straling doorlopend in ontwikkeling zijn, kunnen niet alle mogelijke situaties worden voorzien. Een aanvullende doelstelling van dit rapport is dan ook om werkgevers, preventiemedewerkers en arbeidshygiënisten praktische aanknopingspunten te geven om zo eenvoudig mogelijk na te kunnen gaan of een beoordeling volgens de richtlijn optische straling nodig is of niet. Hiertoe wordt kort uitgelegd wat optische straling is, wat de belangrijkste soorten bronnen zijn en welke effecten kunnen optreden bij overschrijding van limietwaarden.

3.3 Gehanteerde werkwijze

3.3.1 Literatuuronderzoek

Door TNO is een uitgebreid literatuuronderzoek verricht met o.a. gebruikmaking van de wetenschappelijke internet-database PUBMED alsmede het archief van de Europese normalisatiewerkgroep CEN TC 169 / WG 8 “Photobiology”.

3.3.2 Meetdossiers TNO en veelgestelde vragen

TNO verricht in opdracht van de industrie en de medische sector optische stralingsveiligheidsmetingen in praktijksituaties. Deze veiligheidsmetingen hebben grotendeels betrekking op het UV-gebied (dat in de praktijk ook de meeste problemen geeft). De veiligheidsmetingen worden uitgewerkt in TNO-rapporten die rechtstreeks naar de opdrachtgever gaan en verder niet openbaar zijn, maar wel bij TNO gearcheveerd worden. Om een algemeen beeld te krijgen is ook uit dit archief geput en waarbij informatie anoniem is samengevat.

Daarnaast komen bij TNO veel vragen binnen over optische stralingsveiligheid. Deze vragen geven een aardig beeld van de praktische knelpunten en worden samen met de gegeven antwoorden (zowel bij beantwoording van simpele vragen als bij betaald advies) ook gearcheveerd. Ook uit dit archief is geput en er is getracht om de meest gestelde vragen (zogenaamde “*Frequently Asked Questions*” of FAQs) in algemene zin mee te verwerken in dit rapport.

3.3.3 Klankbordgroep betrokken partijen

Het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid heeft diverse belangengroepen, waarvan aangenomen kan worden dat zij te maken hebben met het onderwerp optische stralingsveiligheid, uitgenodigd om vertegenwoordigers zitting te laten nemen in een klankbordgroep. Deze klankbordgroep heeft inspraak gehad over de opzet van dit rapport en voor inbreng van vragen vanuit de achterban, of eventueel reeds voorhanden materiaal. Tevens werd vóór samenstelling van het definitieve rapport een concept rapport ter inzage en advies aan de klankbordgroep voorgelegd.

3.3.4 Totstandkoming van de gehanteerde categorie-indeling

Aangaande kunstmatige bronnen wordt via de reeds sinds 2000 geldige norm EN 12198 (verbonden aan de EU-machinerichtlijn 98/37/EG) momenteel al het volgende vereist ^a :

- *in het bewerkingsgebied (Engels: “process area”) dient de functionele stralingsemissie te worden opgebouwd op het laagste niveau dat voldoende is voor het goed functioneren van de machine tijdens de verschillende gebruiksfases;*
- *in de overige gebieden, dient ongewenste stralingsemissie te worden geëlimineerd of zodanig te worden gereduceerd dat er geen effecten optreden bij blootgestelde personen of dat eventuele effecten beperkt blijven tot onschadelijke proporties.*

De fabrikant dient afdoende maatregelen te nemen met betrekking tot deze eisen. Indien dit niet voldoende blijkt kunnen, mede afhankelijk van de stralingsemissie categorie van de machine, aanvullende beschermingsmaatregelen genomen moeten worden door de gebruiker van de machine. De fabrikant dient de hiervoor noodzakelijke informatie te verschaffen aan de gebruiker van de machine.

In de EN 12198-normenreeks was reeds een onderverdeling gemaakt in praktisch bruikbare categorieën ^b (zie figuur 5), die als basis heeft gediend voor een enigszins aangepaste versie ten behoeve van dit rapport (zie volgende pagina).

Categorie 0

Er is geen noodzaak voor speciale beschermingsmaatregelen.

Categorie 1

In overeenstemming met het technisch fabrikanten-dossier van de machine en informatie aangaande de emissieniveaus van reststraling rondom de machine, dient de fabrikant in de gebruikershandleiding te specificeren welke beschermingsmaatregelen dienen te worden genomen.

Categorie 2

Beschermingsmiddelen zijn noodzakelijk. Welke beschermingsmaatregelen nodig zijn hangt af van het emissieniveau, hoe de machine wordt gebruikt en overige factoren. Informatie over gevaren, risico's en secundaire effecten dient te worden verschaft. Training kan nodig zijn.

Figuur 5 Nederlandse vertaling van de categorie-indeling uit de norm EN 12198. In dit rapport worden andere, aangepaste definities gebruikt.

^a Voor de originele Engelstalige tekst zie EN 12198-1: 2000 hoofdstuk 8 “Protective measures for the elimination or reduction of the risks due to radiation emission”.

^b Voor de originele Engelstalige tekst zie EN 12198-1: 2000 hoofdstuk 8 “Protective measures for the elimination or reduction of the risks due to radiation emission”.

In dit rapport zijn in de categorie-indeling uit EN 12198 enkele aanpassingen aangebracht. Zo is het onderscheid tussen categorie 0 en categorie 1 verduidelijkt en is categorie 2 in twee delen opgesplitst:

Categorie 0

Er is geen noodzaak voor speciale beschermingsmaatregelen.

Categorie 1

In overeenstemming met het technisch fabrikanten-dossier van de machine en informatie aangaande de emissieniveaus van reststraling rondom de machine, dient de fabrikant in de gebruikershandleiding te specificeren welke beschermingsmaatregelen dienen te worden genomen.

Deze categorie is beperkt tot situaties waar sprake is van relatief geringe emissieniveaus waarvoor simpele maatregelen voldoende zijn.

Categorie 2A

Beschermingsmiddelen zijn noodzakelijk, maar blootstellingen tijdens werkzaamheden zijn voorspelbaar en zo in te richten dat de werknemer (naast deze beschermingsmiddelen) voldoende heeft aan specifieke voorlichting en onderricht over de gevaren, risico's en secundaire effecten in zijn/haar situatie om veilig te kunnen werken.

Categorie 2B

Beschermingsmiddelen zijn noodzakelijk, maar omdat de blootstellingen tijdens werkzaamheden onvoorspelbaar (en hoog) kunnen zijn dient de werknemer zodanig getraind te zijn dat deze de keus van beschermingsmiddelen zelf kan bepalen aan de hand van voldoende algemene kennis over de gevaren, risico's en secundaire effecten van optische straling om veilig te kunnen werken.

Met name de secties 7.5 en 8.3 zijn van belang bij werkomgevingen van deze categorie.

3.3.5 De EU-Richtlijn aangaande kunstmatige optische straling

De richtlijn kunstmatige optische straling is bedoeld als een aanvulling op de veel algemener verwoorde EU-Richtlijn 89/391/EEG (7) die geldig is vanaf 1989 en zich richt op maatregelen ter bevordering van de verbetering van de veiligheid en de gezondheid van werknemers op het werk. Omdat hierbij zoveel verschillende aspecten bestaan (b.v. zwaar tilwerk, valrisico's, beknelling, chemische stoffen, etc.) zijn binnen deze richtlijn bijzondere aanvullende "deelrichtlijnen" voor specifieke veiligheidsaspecten opgenomen.

3.3.5.1 Bedoeling van de richtlijn

In de Richtlijn (8) staan doel en toepassingsgebied als volgt beschreven:

Afdeling I, Algemene bepalingen, Artikel 1: Doel en toepassingsgebied

- 1. Bij deze richtlijn, die de 19^e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG is, worden minimum voorschriften vastgesteld voor de bescherming van werknemers tegen risico's voor hun gezondheid en veiligheid die zich voordoen of*

kunnen voordoen door blootstelling aan kunstmatige optische straling tijdens het werk.

2. *Deze richtlijn heeft betrekking op de risico's voor de gezondheid en de veiligheid van werknemers door negatieve effecten op de ogen en de huid die worden veroorzaakt door blootstelling aan kunstmatige optische straling.*
3. *Richtlijn 89/391/EEG is onverkort van toepassing op het gehele gebied, bedoeld in lid 1, onverminderd meer stringente en/of meer specifieke bepalingen van deze richtlijn.*

Hiermee wordt bedoeld dat de Richtlijn optische straling een aanvulling is op de algemene Kaderrichtlijn 89/391/EEG die gaat over gezondheids- en veiligheidsrisico's op het werk in het algemeen. Omdat bij veiligheid op het werk heel veel verschillende onderwerpen een rol spelen is dit al de 19^e aanvulling op bijzondere deelgebieden. De Richtlijn optische straling geeft meer specifieke informatie over de risico's van overmatige kunstmatige optische straling op huid en ogen.

Met andere woorden: Volgens de algemene Richtlijn 89/391/EEG (beter bekend als “Kaderrichtlijn”) bestond reeds de plicht om bij eventuele gezondheidsrisico's door optische straling hier iets aan te doen, maar werden geen specifieke blootstellingslimieten of toelichtingen gegeven over dit bijzondere deelgebied. De Richtlijn optische straling geeft zulke blootstellingslimieten en enige toelichting wél aan.

3.3.5.2 Herkomst van de gestelde limietwaarden

De Europese unie houdt voor kunstmatige bronnen de blootstellingslimieten aan van de International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). ICNIRP heeft, in de vorm van wetenschappelijke publicaties, een aantal belangrijke aanbevelingen uitgebracht aangaande ultraviolette straling (UV), zichtbaar licht (VIS) en infrarode straling (IR). Deze wetenschappelijke publicaties van ICNIRP hebben een vorm die voor een correcte interpretatie een zeer hoog kennisniveau vereist aangaande optische straling. De EU heeft bij de overname van de ICNIRP aanbevelingen deze daarom omgezet naar een meer praktisch toepasbare wijze van presentatie, die toepassing binnen bedrijven vergemakkelijkt en Nederland heeft in aanvulling hierop gekozen voor een toelichting middels het voorliggende rapport.

3.3.5.3 Enkele speciale aandachtspunten

- Blootstelling aan optische straling is niet per definitie schadelijk. Integendeel, de mens heeft optische straling nodig om te kunnen functioneren en het dag/nacht ritme gelijk te laten lopen (1, 23). Met name zichtbaar licht en IR-straling worden als prettig ervaren. Bovendien is de zon een sterke en aangename natuurlijke bron waaraan we dagelijks blootstaan. UVB-straling uit zonlicht geeft verder een opbouw van vitamine D in de huid. Optische straling is alléén schadelijk als er sprake van een *teveel* is (hier ligt een overeenkomst met geluid, dat voor communicatie vitaal is). Er is dus een andere benadering nodig dan de blootstelling simpelweg vermijden.
- De richtlijn optische straling kent géén systeem met aparte actiewaarden en grenswaarden zoals is gebruikt in de bijzondere richtlijn over blootstelling aan elektromagnetische straling tot 300 GHz ^c. Er wordt dus alleen gewerkt met blootstellingslimieten.
- De blootstellingslimieten van de richtlijn optische straling gelden wettelijk alléén voor werkers met kunstmatige bronnen en niet voor blootstelling aan de zon.
- Kenmerkend voor optische straling is een spectrale weging van de hoeveelheid ontvangen straling waarbij rekening wordt gehouden met de golflengte-afhankelijkheid van de gezondheidseffecten. Omdat er sprake is van een aantal verschillende biologische effecten, zijn er ook een aantal verschillende spectrale weegfuncties.
- ICNIRP hanteert in haar blootstellingslimieten onderscheid naargelang de “vorm” waarin de straling wordt afgeleverd (laser of incoherent). Omdat de EU-Richtlijn uitgaat van de ICNIRP blootstellingslimieten zijn er daarom twee tabellen met blootstellingslimieten, één voor lasers en één voor incoherente bronnen. De eerdere aanbevelingen van de Gezondheidsraad uit 1993 hanteerden zo’n onderscheid niet (40).
- Vooral voor het oog maakt in een aantal gevallen de afmeting van de bron verschil uit en is het belangrijk of er sprake is van een nauwe bundel of niet, en tevens maakt het uit of de bundel gepulst is of niet.

^c Eerder verscheen een bijzondere richtlijn over blootstelling aan elektromagnetische straling tot 300 GHz. Daarin wordt een systeem gehanteerd met actiewaarden en grenswaarden (de blootstellingslimieten). De actiewaarden liggen hierbij een stuk lager dan de grenswaarden en alleen als er een redelijke kans is dat men boven de actiewaarde komt, moet actie worden ondernomen. Dit houdt dan in dat door berekening of meting moet worden vastgesteld of aan de grenswaarde (dus de echte blootstellingslimiet) wordt voldaan. Bij optische straling is niet voor zo’n systeem gekozen, maar zijn er alleen blootstellingslimieten met een ingebouwde veiligheidsmarge.

4 Eigenschappen van optische straling (“licht”)

4.1 Wat is "licht" en wat is “optische straling” ?

De term “licht” kan verwarring veroorzaken omdat hiermee enerzijds soms “zichtbaar licht” wordt bedoeld maar soms anderzijds ook het gehele gebied vanaf het infrarood tot en met het ultraviolet. Om dit soort verwarring te voorkomen is het beter om te spreken over optische straling in het algemeen en over infrarode straling, zichtbaar licht of ultraviolette straling in het bijzonder.

Meestal worden de volgende afkortingen gebruikt:

- infrarode straling = IR-straling;
- zichtbaar licht = VIS-straling (van “visible”);
- ultraviolette straling = UV-straling.

Licht bestaat uit zichtbare elektromagnetische golven. Voor elektromagnetische golven (dus ook voor infrarode- en ultraviolette straling) geldt in het algemeen:

Voor de golflengte (symbool λ) wordt meestal de eenheid nm (1 miljardste deel van een meter) gebruikt.

Naast lichtgolven spreken we ook wel van fotonen (“lichtdeeltjes” of beter “afgemeten energiepakketjes”). De hoeveelheid energie in een foton is recht evenredig met de frequentie en omgekeerd evenredig met de golflengte. Dus hoe korter de golflengte, hoe hoger de foton-energie. Deze foton-energie is sterk bepalend voor de invloed van optische straling op materiaal en biologisch weefsel.

4.2 De plaats van optische straling in het elektromagnetische spectrum

Optische straling beslaat slechts een klein gedeelte van het gehele spectrum aan elektromagnetische golven. Dit elektromagnetische spectrum omvat een enorm gebied vanaf statische elektrische- en magnetische velden via extreem lage frequenties (ELF) en vervolgens via radiogolven gevolgd door “licht” tot aan röntgen- en gammastralen (zie ook figuur 1 in Deel I).

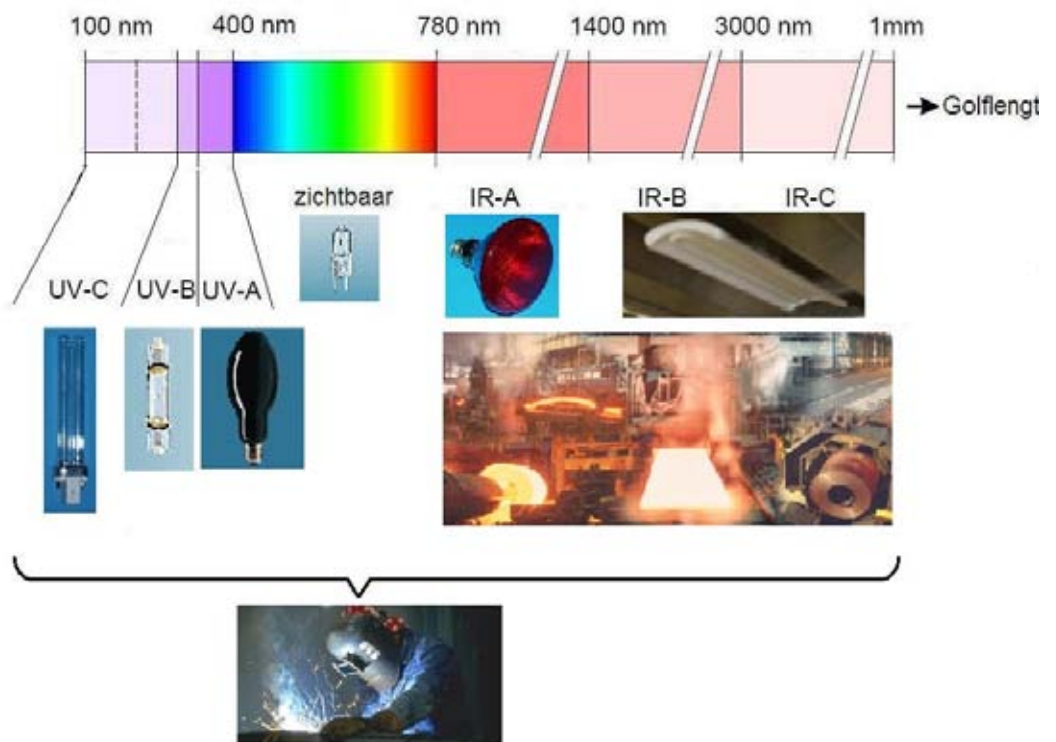
ELF-velden (b.v. van hoogspanningslijnen) hebben golflengten van vele kilometers, terwijl de golflengten van röntgenstralen kleiner zijn dan 100 nm. In het elektromagnetische spectrum ligt optische straling in het gebied vanaf 1 mm tot 100 nm (tussen de radiogolven en de röntgenstralen).

Hiervan is alleen het golflengtegebied tussen 380 nm (ofwel een frequentie van 790 THz) en 780 nm (ofwel een frequentie van 385 THz) zichtbaar voor het menselijke oog. Praktisch (en in veel normen) wordt als grens tussen UV-straling en zichtbaar licht veelal 400 nm aangehouden en voor de grens tussen zichtbaar licht en IR-straling veelal 780 nm.

Straling met zeer kleine golflengten ($\lambda < 100$ nm) is in staat atomen te ioniseren (zodanige beïnvloeding van atomen dat zij van elektrisch neutraal veranderen in elektrisch geladen) en wordt daarom aangeduid als **ioniserende straling** (zie ook figuur 1 in Deel I).

Straling met grotere golflengten ($\lambda > 100$ nm) heeft te weinig energie om ionisatie tot stand te brengen. Daarom wordt dit gedeelte van het spectrum aangeduid als **niet-ioniserende straling** (zie ook figuur 1 in Deel I).

UV-straling (100 nm - 400 nm) kan echter wel degelijk chemische veranderingen veroorzaken door het aantasten van moleculaire verbindingen (fotochemie). Ook zichtbaar licht (VIS) en IR-straling kunnen fotochemische effecten teweegbrengen, maar in beduidend mindere mate (vanwege de geringere fotonenergie). Infrarode straling kan moleculaire bindingen zeer goed in resonantie brengen, maar slaagt er alleen onder speciale omstandigheden in om deze te verbreken. Met name in het infrarood kunnen complexe moleculen worden geïdentificeerd door hun spectrale "vingerafdruk".



Figuur 6 Het optische spectrum met enkele voorbeelden van bronnen. Het afgebeelde elektrische lasproces zendt breedbandig uit over het gehele optische gebied en stoort zelfs radio & TV (zie ook figuur 1 uit Deel I).

4.3 Ultraviolette straling (UV; 100 – 400 nm)

De energie-inhoud van fotonen (“lichtdeeltjes”) is groter naarmate de golflengte korter is: kortgolelige UV-straling vertoont meer “deeltjes” gedrag dan zichtbare en infrarode straling. Ultraviolette straling wordt onderscheiden in drie golflengtegebieden namelijk UVA, UVB en UVC. De grenzen die hierbij worden gehanteerd zijn gebaseerd op de vroegst bekend geraakte biologische effecten van UV-straling. UV-straling is fotochemisch actief. Dit betekent dat lang voordat we een warmte-sensatie voelen reeds biologische effecten zijn opgetreden die we helaas echter niet meteen merken, maar meestal pas na enige uren. Ons lichaam beschikt over diverse reparatiemechanismen. Veruit de meeste schade kan in de pauzes tussen blootstellingen weer worden gerepareerd.

4.3.1 UVA-straling (400 - 315 nm)

UVA is de minst energierijke en meest voorkomende soort UV-straling. UVA-straling wordt ook wel “black light” genoemd omdat deze straling fluorescerende materialen zichtbaar licht kan laten uitzenden waardoor deze oplichten in het donker. UVA-lampen worden voor uiteenlopende doelen toegepast in de industrie, voor lichteffecten in de amusementssector en ook voor fotherapie- en bruiningsapparatuur. Hoewel UVA in veel grotere hoeveelheden toegediend kan worden dan UVB voordat verbranding van de huid (erythemvorming) optreedt, is het zeker geen risicoloze vorm van UV-straling. Langdurige blootstelling aan UVA-straling wordt bijvoorbeeld geassocieerd met verouderingsverschijnselen van de huid (43).

Uit recent onderzoek blijkt dat er met betrekking tot de invloed van UVA-straling op DNA rond de 340 nm een knik in de respons voor een aantal biologische effecten zit. Hierdoor gaan er stemmen op om in het UVA-gebied een onderverdeling aan te brengen in UVA1 en UVA2 met als scheidingslijn 340 nm. In dit rapport zal hierop niet worden ingegaan.

4.3.2 UVB-straling (315 - 280 nm)

UVB is in biologische zin over het algemeen de meest destructieve vorm van UV-straling omdat enerzijds de energie hoog genoeg is om biologische weefsels rechtstreeks te beschadigen en anderzijds het doordringende vermogen in de huid nog groot genoeg is om levende huidcellen te bereiken. Het UVB-gebied kenmerkt zich door een zeer steil verloop van de biologische effecten in relatie tot de golflengte. De drempel voor schade aan de huid ligt bij een golflengte van 280 nm een factor 234 maal lager dan bij 315 nm! UVB-straling telt “per Watt” dus veel zwaarder dan UVA-straling en relatief zwakke kunstmatige UVB-bronnen kunnen sterke biologische effecten teweeg kunnen brengen.

De UVB-component uit zonlicht wordt niet volledig geabsorbeerd door de atmosfeer en kan daarom (in ieder geval tijdens de zomer) het aardoppervlak in werkzame hoeveelheden bereiken. UVB wordt geassocieerd met staarvorming in het oog (cataract) (43) en kan tevens huidkanker veroorzaken.

4.3.3 UVC-straling (280 - 100 nm)

Van alle UV-straling heeft UVC de kortste golflengte en is daarom de meest energierijke vorm van UV-straling. Het doordringend vermogen ervan is echter beperkt, UVC-straling wordt zelfs in lucht reeds binnen een paar honderd meter vrijwel geheel geabsorbeerd. Op het aardoppervlak komt natuurlijke UVC-straling daarom niet voor, een uitzonderingsgeval als blikseminslag daargelaten.

Kunstmatige UV-bronnen kunnen wel UVC-straling produceren maar komen in het geval van gesloten bronnen over het algemeen niet onder de 180 nm vanwege absorptie in de "ballon" van de lamp. De meest voorkomende gesloten bronnen van UVC-straling zijn desinfectielampen. Dit zijn over het algemeen lagedruk kwiklampen met een emissiepiek op 254 nm met soms daarnaast nog een emissielijn op 185 nm.

Verreweg de meeste kunstmatige UV-bronnen hebben een omhulling die reeds onder de 240 nm nauwelijks straling doorlaat. De zuurstof in lucht absorbeert daarnaast golflengtes onder de 180nm waardoor het spectrum afstandsafhankelijk wordt. In de meeste publicaties betreffende de bescherming tegen UV-straling wordt om deze reden dan ook niet ingegaan op het verre UVC-gebied van 180 - 100 nm. Door het ontbreken van een absorberende glas- of kwartsomhulling vormen "open" bronnen zoals bijvoorbeeld lasbogen hierop echter een uitzondering.

UVC-straling met $\lambda < 240$ nm kan zuurstof fotochemisch omzetten in het giftige, sterk reactieve gas ozon. Van deze eigenschap wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt bij de zuivering van lucht en water.

4.4 Zichtbaar licht (VIS; 400 – 780 nm)

Zichtbaar licht bevat minder energie per foton dan UV-straling. Onze ogen zijn speciaal bedoeld om zichtbaar licht waar te nemen. Daardoor zijn ze tevens de meest kwetsbare organen voor overmatig zichtbaar licht. Gelukkig is de mens uitgerust met een aantal natuurlijke veiligheidsmechanismen om overmatige blootstellingen te vermijden (bijvoorbeeld afwendreflex, pupilreflex). Deze mechanismen werken echter niet of nauwelijks voor de onzichtbare ultraviolette en infrarode straling.

De valkuilen liggen dus hoofdzakelijk buiten het zichtbare gebied, maar ook zeer sterk zichtbaar licht kan zowel fotochemische als thermische schade veroorzaken aan het oog.

Zichtbaar licht is niet alleen van groot belang voor waarneming van de wereld om ons heen, maar beïnvloedt ook ons dag en nachtritme (circadiaans ritme) en zelfs onze gemoedstoestand (38).

Vele diersoorten hebben de één of andere vorm van gezichtsvermogen. Per soort kunnen verschillende golflengtegebieden voor zichtbaarheid en oogresponscurves bestaan. Zo kunnen bijvoorbeeld ratten, vogels en sommige insecten een deel van het UV-gebied waarnemen en een paar insecten juist weer een deel van het IR-gebied. Overigens nemen ook planten licht waar, uiteraard gebruiken zij dit voor fotosynthese maar tevens richten zeer vele plantensoorten hun groei op de richting van de sterkste lichtinval en passen hun stand aan de lichtsituatie aan.

Het menselijk gezichtsvermogen heeft geen vlakke responscurve voor de invallende lichtenergie. Dit houdt in dat meetinstrumenten die gericht zijn op verlichtingstechniek (fotometers of luxmeters) noodzakelijkerwijs op een aantal punten verschillen van instrumenten die bedoeld zijn voor energiemetingen (radiometers). Een goede luxmeter reageert NIET op UV-straling of IR-straling (juist omdat die niet zichtbaar zijn en voor verlichtingsdoeleinden dus geen enkele bijdrage leveren).

4.5 Infrarode straling (IR; 780 – 10⁶ nm)

Infrarode straling (IR-straling) bevat nog minder energie per foton dan zichtbaar licht (hoe groter de golflengte, hoe lager de fotonenergie). Toch wordt de stralingswarmte van een infraroodbron door de mens juist beter waargenomen naarmate de golflengte toeneemt. Dit komt doordat water golflengten groter dan zo'n 1400 nm sterk absorbeert waardoor ons huidoppervlak (waarmee we goed warmte kunnen waarnemen) gemakkelijk opwarmt. De vaak voor IR-straling gebruikte benaming "warmtestraling" is feitelijk onjuist. Er is geen speciaal spectraalgebied dat een "alleenrecht" heeft op warmte-uitwisseling. Alle elektromagnetische straling kan in principe materie opwarmen (denk b.v. maar aan de magnetron) alleen de balans tussen absorptie, reflectie en verstrooiing door de betreffende materie bepaalt of opwarming bij de aangeboden golflengte ook daadwerkelijk gebeurt, waardoor dan "stralingswarmte" ontstaat.

4.5.1 IRA-straling (780 – 1400 nm)

Van alle optische straling vertoont IRA (ook wel "nabij infrarood" genoemd) het grootste doordringingsvermogen in menselijk weefsel. Dit wordt veroorzaakt door een relatief lage absorptie van zowel bloed, water als melanine (huidpigment). IRA-straling kan tot enkele centimeters diep onder de huid doordringen en wordt daarbij diffuus verstrooid (zie ook de foto van ontharing m.b.v. een IRA-laser in paragraaf 7.2.3).

"Zwarte stralers" (zie 6.1.1) die hun emissie hoofdzakelijk afgeven in het IRA produceren over het algemeen ook een duidelijk zichtbare dieprode gloed.

4.5.2 IRB-straling (1400 – 3000 nm)

"Zwarte stralers" (zie 6.1.1) die hun emissie hoofdzakelijk afgeven in het IRB produceren over het algemeen geen of nauwelijks zichtbaar licht, tenzij het vermogen zo groot is dat het restvermogen in het zichtbare gebied toch als een gloed wordt waargenomen.

Metalen met een smeltpunt boven de 550 °C geven in gesmolten of net gegoten toestand veel IRB-straling af. Hoe hoger het smeltpunt, hoe meer ook IRA of zelfs zichtbaar licht wordt afgegeven.

4.5.3 IRC-straling (3000 – 10⁶ nm)

"Zwarte stralers" (zie 6.1.1) die hun maximale emissie afgeven in het IRC produceren over het algemeen geen zichtbaar licht. De temperatuur van deze stralers ligt lager dan zo'n 550 °C (meestal beduidend lager). Radiatoren,

soldeerbouten, uitlaten en afkoelende lassen of gietstukken zijn typische IRC-bronnen, maar ook de wanden en vooral de kachel in een hetelucht sauna.

4.5.4 Terahertz straling

In het meest langgolvlige deel van het infrarode gebied, op de grens met de elektromagnetische velden ligt het Terahertz-gebied (300 GHz – 3 THz). Dit is qua techniek een relatief onontgonnen terrein waarin nu echter snel ontwikkeling komt. Voor apparatuur t.b.v. douane-controles wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van het feit dat Terahertz straling gemakkelijk door droge kleding dringt. Terahertz-straling is van nature overal op aarde volop aanwezig en wordt als ongevaarlijk beschouwd.

4.6 Wat is er speciaal aan laserstraling ?

Alle eigenschappen van de verschillende golflengte-gebieden, zoals in de voorgaande paragrafen beschreven, gelden ook voor laserstraling. Laserstraling heeft aanvullend echter enkele speciale eigenschappen waardoor sterkere effecten kunnen worden bereikt.

Een laser is een (licht)bron met zeer specifieke eigenschappen die worden weergegeven via het acroniem voor LASER: **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (vertaald “lichtversterking door gestimuleerde emissie van straling”). In vele (leer)boeken wordt het principe en de werking van lasers beschreven, daarom beperken we ons hier tot een korte toelichting op belangrijke begrippen zoals coherentie, vermogensdichtheid, optische doorslag en thermisch evenwicht.

Eerst echter nog een opmerking over de term licht in het acroniem van laser. Onder licht wordt dikwijls zichtbaar licht verstaan in het golflengtegebied van 400 tot 780 nm (zie ook 4.1). Bij lasers is echter een veel breder golflengtegebied van belang, lopend van het begin van UVC (ultraviolet, 180 nm) tot het eind van IRC (infra-rood, 1 mm). In het vervolg spreken we daarom van laserstraling.

De belangrijkste kenmerkende eigenschap van een laser is het coherente karakter van de uitgestraalde straling. De laserstralen lopen daarbij gelijk in fase (coherent) en meestal sterk evenwijdig. Het laatste wordt uitgedrukt in de mate van divergentie (“uitwaaiering”) van de bundel. De vermogensdichtheid is het laservermogen per eenheid van oppervlak in de bundeldoorsnede.

Door de zeer geringe divergentie is de vermogensdichtheid zowel vlak bij de uitgang van de laser, maar ook nog op grotere afstand (soms zelfs kilometers!), relatief hoog. Via laserbundels kunnen gemakkelijk hoge vermogens getransporteerd worden.

De karakteristieken van een laser zijn:

Een hoog vermogen in een klein oppervlak bij een nauw begrensde bundel die nauwelijks uitwaaiert.

Door de ooglens kan zo'n bundel bovendien nog eens extra geconcentreerd op het netvlies worden geprojecteerd.

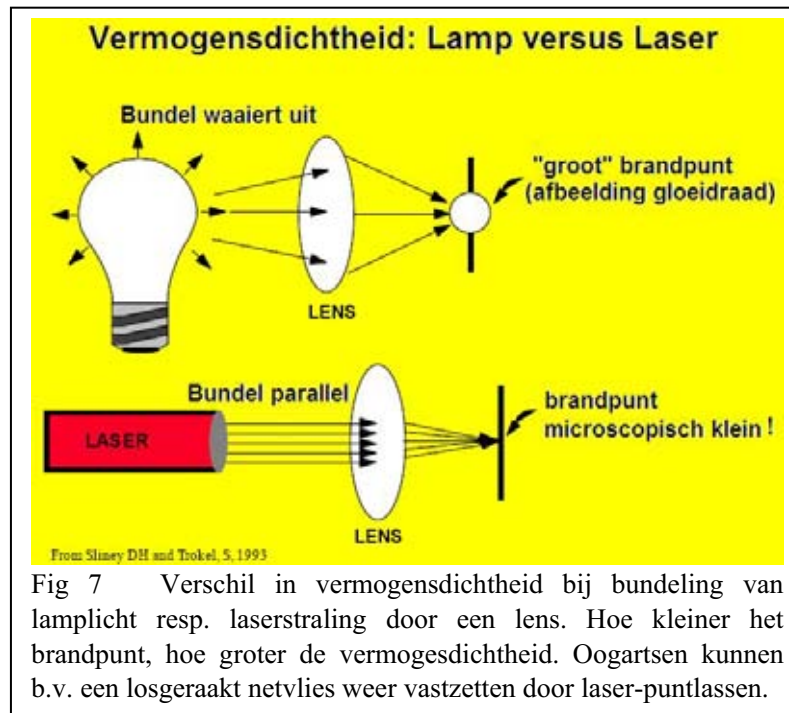


Fig 7 Verschil in vermogensdichtheid bij bundeling van lamplicht resp. laserstraling door een lens. Hoe kleiner het brandpunt, hoe groter de vermogensdichtheid. Oogartsen kunnen b.v. een losgeraakt netvlies weer vastzetten door laser-puntlassen.

Laserstraling kan continu doorlopend zijn (afkorting CW, naar Engels “Continuous Wave”) maar kan ook gepulseerd zijn en in op zichzelf staande (“single pulse”) of repeterende pulsen met bepaalde tijdsduur (tot minder dan 1 fs) worden uitgezonden. Effecten van laserstraling op weefsel en materialen worden naast de golflengte ook sterk bepaald door de pulsduur.

Bij toepassing van hoogenergetische laserpulsen kan een optische doorslag (optical breakdown) optreden, te vergelijken met het proces bij een bliksemflits. Moleculen worden geïoniseerd, vrijkomende elektronen worden versneld in het elektrische veld en de snelle elektronen botsen op hun beurt weer met moleculen die daardoor geïoniseerd worden. Zo ontstaat via een lawineproces een grote dichtheid aan geladen deeltjes, een plasma. Zo'n optische doorslag ontstaat sneller naarmate een laserpuls meer energie in kortere tijd samenbalt. Bij de keus van laserbrillen is dit belangrijk.

Bij het invallen van laserstraling op materiaal of (menselijk) weefsel wordt door de laserbundel energie aangevoerd en wordt deze energie deels in warmte omgezet. Deze warmte wordt door het materiaal of het weefsel via warmtediffusie afgevoerd. De warmte kan ook worden afgevoerd via stroming, bijvoorbeeld door een bloedvat in weefsel. Wanneer aanvoer en afvoer gelijk zijn is er sprake van een thermisch evenwicht. De tijd waarin dit evenwicht optreedt is belangrijk voor het interactie-effect tussen laserstraling en materiaal/weefsel. De totale interactietijd speelt een belangrijke rol voor de resulterende thermische weefselschade.

5 Biologische invloeden van optische straling

Door optische straling kunnen verschillende biologische effecten optreden. Of er iets gebeurt en wat hangt af van de stralingsenergie (golflengte-afhankelijk), de intensiteit en de tijdsduur van de bestraling.

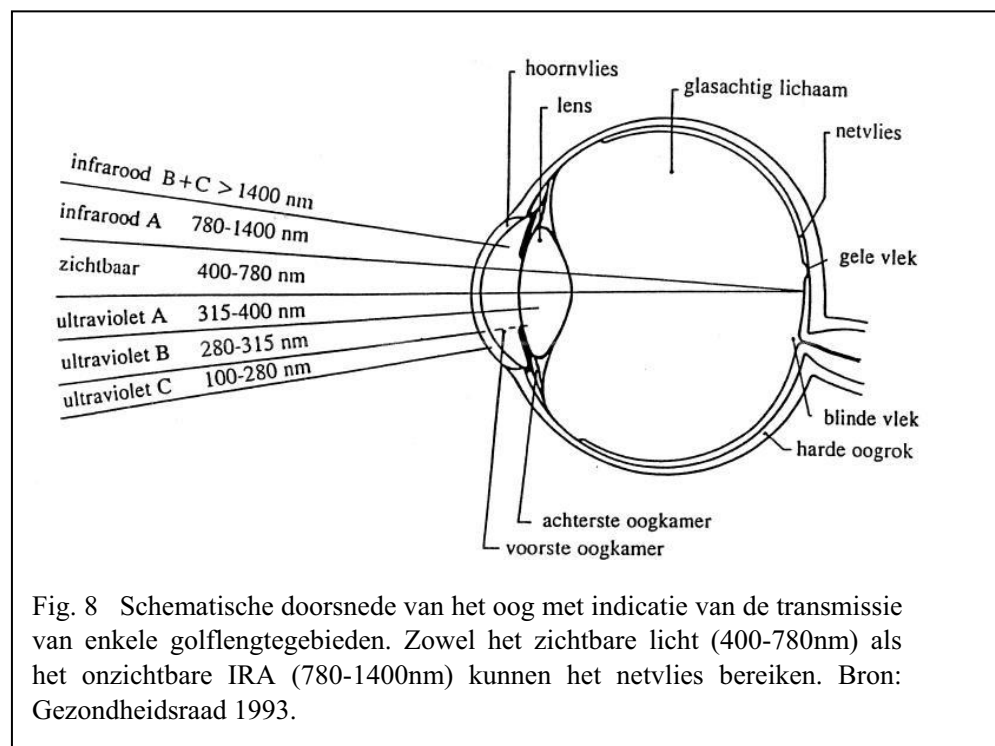
Er bestaan fotomechanische-, fotochemische- en thermische effecten op het lichaam.

Fotomechanische effecten treden alleen op bij hoge bestralingssterkten door gepulste lasers met pulstijden $< 1 \mu\text{s}$ maar vóór het zover komt treedt er ook al fotochemische of thermische schade op.

Fotochemische effecten ontstaan door veranderingen in weefsels of chemische stoffen onder invloed van optische straling, waarbij vaak een zekere tijd verstrijkt tussen het moment van blootstelling en het moment waarop de schade tot uiting komt. Deze effecten vertonen een sterk golflengte-afhankelijk gedrag met vaak zeer steil verloop.

Thermische effecten door optische straling ontstaan wanneer het weefsel opwarmt en de warmte niet snel genoeg kan worden afgestaan aan de omgeving of door de bloedstroom kan worden afgevoerd. Langdurige temperatuursverhoging (dus ook hoge koorts) tot boven de 42°C van grote delen van organen kan tot ernstige schade leiden.

5.1 Het menselijk oog



De schematische dwarsdoorsnede van het menselijk oog (zie figuur 8) toont de mate van absorptie in verschillende delen van het oog voor verschillende golflengten van optische straling. Duidelijk blijkt dat zichtbaar licht het netvlies kan bereiken. Dit moet uiteraard ook, want juist dankzij dit netvlies is het gebied van 400 – 780 nm voor ons zichtbaar. Minder prettig, vanuit oogpunt van veiligheid, is dat ook onzichtbare IRA-straling (golflengte 780 – 1400 nm) op het netvlies gebundeld wordt. Dit is de reden dat in dit gebied thermische schade aan het netvlies mogelijk is.

UV- alsmede IRB- en IRC-absorptie in de ooglens is een belangrijke verdedigingslinie voor het netvlies (retina). De transmissie van lensimplantaten dient daarom voor deze spectraalgebieden zeer laag te zijn. Bij een kunstlens kan ook het IRA-gebied uitgefilterd worden.

Bij pasgeborenen en jonge kinderen is de oogstructuur helderder in het blauw en nabij-ultraviolet. Naarmate de leeftijd toeneemt "vergeelt" de ooglens en ziet de mens minder blauw. De ooglens is een bijzonder orgaan dat van buitenaf aangroeit, waarbij de bestaande cellen naar het midden toe migreren. De over het gehele leven ontvangen fotochemische dosis wordt als het ware door de ooglens "opgeslagen".

Een typisch **lange termijn effect** is staar (cataract) dat zowel kan worden veroorzaakt door chronische blootstelling aan UV-straling als door chronische blootstelling aan IR-straling (inwerking via verschillende mechanismes). Kanker aan het oog door UV-straling kan voorkomen maar dit is zeer zeldzaam.

Er zijn ook verschillende **effecten op kortere termijn**, deze worden ook wel acute effecten genoemd. UVB- en met name UVC-straling wordt sterk door het hoornvlies geabsorbeerd en veroorzaakt snel fotokeratitis (ook wel bekend als "sneeuwblindheid" of "lasoog").

In het zichtbare gebied (VIS) en het nabij-infrarood (IRA of ook wel NIR genoemd) ontstaat een scherpe afbeelding van de invallende bundel op het netvlies (retina), waardoor fotochemische en thermische effecten kunnen worden versterkt.

Fotochemische schade aan het netvlies is mogelijk in het zichtbare gebied (z.g.n. "Blue Light Hazard", zie ook 5.3) waarbij gelukkig de pupilreflex, oogsluitreflex en afwendgedrag de dosis beperken. Hierbij zijn dus voornamelijk situaties van belang waarbij wordt omgegaan met bronnen die zo intens zijn dat ze schade toe kunnen brengen binnen de korte tijd tussen de aanvang van blootstelling en pupilreflex, oogsluitreflex of afwendgedrag. Hoogvermogen flitslampen, lasbogen en lasers zijn typische voorbeelden van dit soort bronnen.

Thermische effecten spelen voor het netvlies over een breder gebied een rol en domineren in het IRA-gebied. Zuivere IRA-stralers zijn verraderlijk omdat ze onzichtbaar zijn, maar wél door de ooglens op het netvlies worden gebundeld (Engels: "Retinal Thermal Hazard"). Een kleine laserbrandplek in het midden van het netvlies (de z.g.n. "gele vlek") kan flinke blijvende zichtklachten veroorzaken.

Thermische schade aan het netvlies wordt bij kleine bronafmetingen enerzijds beperkt doordat bij een relatief kleine bron ook maar een klein stukje netvlies wordt opgewarmd (dat dus ook aan de randen warmte af kan staan) en anderzijds doordat het oog steeds de omgeving aftast, waardoor niet steeds hetzelfde stukje netvlies wordt opgewarmd. Bij het kijken naar een zeer groot stralend oppervlak gaan deze beide beschermingsfactoren echter niet op.

Feit is echter ook dat er aanzienlijke vermogens nodig zijn om met IRA-straling het netvlies te beschadigen. Dergelijke intensiteiten kunnen alleen opgebracht worden door lasbogen, hoogvermogen-flitslampen (zoals b.v. gebruikt worden bij bakens op de toppen van masten, e.d.), Xenonlampen, lasers en de flits van een atoomexplosie (34). Bij lasbogen treden effecten door UV veruit het snelst op. Lasbogen zijn echter zo fel dat ook fotochemische netvliesschade door zichtbaar blauw licht kan optreden alsmede fothermische schade aan het netvlies. Een afscherming die alleen UV afschermt, biedt bij lasbogen dus onvoldoende oogbescherming.

Staren in een te felle zichtbare bron is zeer vervelend en gaat tegen de normale menselijke reacties in. Staren in de zon met een natuurlijke pupil (dus zonder beschermingsmiddelen) geeft fotochemische netvliesschade. Vooral bij zonsverduisteringen komt dit soort kijkgedrag (en de bijbehorende oogschade) nogal eens voor.

Patiënten die onder narcose worden geopereerd vertonen geen pupilreflex, oogsluitreflex of afwendgedrag en zijn dus extra kwetsbaar, vooral bij oogoperaties waar het inwendige oog ten behoeve van de operatie wordt verlicht (3).

Technici die werken met hoogvermogen bronnen dienen te weten dat een dichroïsche “koudlicht” spiegel weliswaar het zichtbare licht goed naar voren spiegelt, maar IR-straling naar achteren zeer goed doorlaat. Staar dus niet vanachter door zo'n reflector in een lamp!

5.2 De menselijke huid

5.2.1 Algemeen

De menselijke huid is de belangrijkste barrière tussen het lichaam en de buitenwereld. De huid wordt continu vernieuwd door de aangroei van nieuwe cellen vanuit het basale celmembraan. De oude afgestorven cellen vormen bovenop de huid een beschermende hoornlaag.

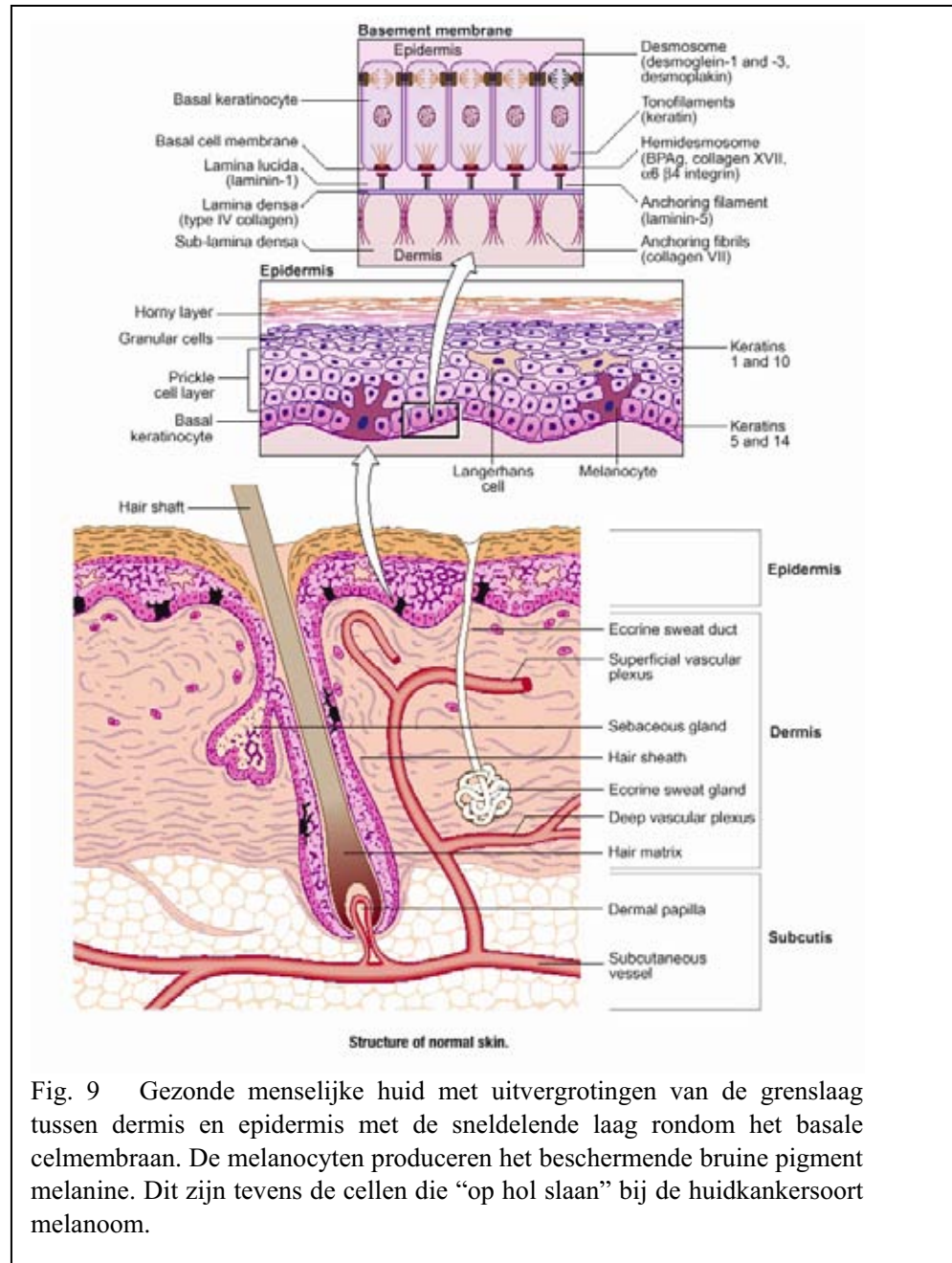


Fig. 9 Gezonde menselijke huid met uitvergrotingen van de grenslaag tussen dermis en epidermis met de sneldelende laag rondom het basale celmembraan. De melanocyten produceren het beschermende bruine pigment melanine. Dit zijn tevens de cellen die “op hol slaan” bij de huidkankersoort melanoom.

De indringdiepte van optische straling in de huid is (net als bij het oog) golflengte-afhankelijk (algemeen: hoe kortgolvir hoe minder indringdiepte).

UVC-straling wordt door de hoornlaag van dode cellen aan het huidoppervlak vrij goed geabsorbeerd en dringt dus slechts in zeer geringe mate door tot de levende cellen. Dit is maar goed ook, want UVC-straling is zeer energierijk en kan zware fotochemische schade toebrengen aan weefsel, met name aan het erfelijk materiaal in de celkern (DNA). Gelukkig kan bij een volwassen mens minder dan 1% van de op het huidoppervlak invallende UVC-straling het basale celmembraan bereiken, zodat cellen die zich nog kunnen delen redelijk goed beschermd zijn. Met UVC-straling hoeft alleen rekening te worden gehouden bij kunstmatige bronnen, UVC komt in zonlicht op het aardoppervlak niet voor.

UVB-straling wordt aan het huidoppervlak minder sterk geabsorbeerd dan UVC en kan daarom iets dieper in de huid doordringen. Zo'n 9,5% kan tot aan het basale celmembraan doordringen en daar schade toebrengen aan zich nog delende cellen. Bij herhaalde blootstelling reageert de huid op UVB door (naast erytheem en/of bruining) een verdikking van de hoornlaag op te bouwen. Verdikking van de hoornlaag verbetert de bescherming tegen de zon en tegen kunstmatige UV-bronnen.

UVA-straling tenslotte heeft de mogelijkheid om het verst door te dringen (zo'n 19% bereikt het basale celmembraan en ongeveer 1% bereikt zelfs het subcutane weefsel onder de huid). Pure UVA-straling veroorzaakt wel bruining, maar géén huidverdikking en ook nauwelijks extra bescherming tegen kunstmatige bronnen of de zon.

UVA-fotonen hebben vrij weinig energie en daarmee minder mogelijkheden om moleculen te beïnvloeden dan UVC of UVB). Er is echter een indirecte weg waardoor UVA schade kan veroorzaken. Onder invloed van UVA-straling kunnen in het blootgestelde weefsel via een indirect mechanisme uit molecuulfragmenten vrije zuurstofradicalen vrijkomen, welke chemisch zéér reactief zijn. Zeer veel organische stoffen (ook DNA) kunnen door dergelijke radicalen op hun beurt weer geoxideerd worden.

| Indeling van huidtypes volgens ICNIRP, vertaald vanuit het Engels (18) | | |
|---|---|--|
| Huidtype | Huidreactie op zonlicht | Typische uiterlijke kenmerken |
| I | Verbrandt gemakkelijk en zwaar (pijnlijke verbranding); bruint weinig of niet en vervelt | Zeer blanke huid, blauwe ogen, sproeten; niet blootgestelde huid is bleek |
| II | Verbrandt gewoonlijk gemakkelijk (pijnlijke verbranding); bruint minimaal of licht en vervelt ook | Blanke huid, rood of blond haar, blauwe, hazelnootkleurige of zelfs bruine ogen; niet blootgestelde huid is bleek. |
| III | Matige verbranding, tevens bruining | Blanke huid (in niet blootgestelde toestand); gewoonlijk donker haar |
| IV | Geringe verbranding, gemakkelijke bruining | Blanke of lichtbruine huid (in niet blootgestelde toestand); donker haar, donkere ogen |
| V | Zelden verbranding, gemakkelijke en sterke bruining | Bruine huid |
| VI | Verbrandt nooit en bruint hevig | Zwarte huid |

De huid kan tot op zekere hoogte wennen aan de zon (adaptatie). Deels wordt bescherming opgebouwd door bruining, maar er zijn ook andere, niet zichtbare, effecten. Door UVB kan in de huid een immunologische respons optreden (verschuiving van de cytokine-profielen) en tevens verdikt de beschermende hoornlaag zich. Dit gebeurt echter geleidelijk en vereist enige tijd. Wanneer in het voorjaar rond eind maart de zonkracht snel toeneemt en de huid nog geen adaptatie heeft opgebouwd kan een heldere zonnige dag met veel buitenactiviteit daarom tot onverwachte huidverbranding leiden. Huid adaptatie kan ook optreden onder invloed van kunstmatige bronnen, maar alleen als er sprake is van een duidelijk UVB-aandeel.

Enkele indicatiewaarden voor de invloed van adaptatie (5):

| Huidtype | MED zonder adaptatie * | MED met adaptatie * |
|----------|------------------------|---------------------|
| I-II | 2 SED | 6 SED |
| III-IV | 7 SED | 10 SED |
| V | 10 SED | 60 SED |
| VI | 15 SED | 80 SED |

* Onder adaptatie wordt in deze tabel een periode van 3 weken *geleidelijke* bruining door de zon *zonder tussentijdse verbrandingen* verstaan. De afkorting SED staat voor Standard Erythemal Dose. 1 SED = 100 J/m² gewogen volgens het actiespectrum van de norm CIE S007. MED staat voor Minimal Erythemal Dose (dit is een per individu verschillende drempelwaarde voor eytheemvorming).

Mensen die zich alleen af en toe (en dan intensief) aan de zon blootstellen (zoals b.v. binnenwerkers op vakantie) verbranden veel sneller dan mensen die regelmatig in de zon zijn. UV-straling kan via de huid ook het immuunsysteem beïnvloeden. Denk aan het opvlammen van het Herpes Simplex Virus (de beruchte koortslip), of een verhoogde incidentie van gordelroos in de zomer (ook een Herpes Virus, maar van het Zoster subtype).

Zichtbaar licht kan de huid deels passeren en het onderliggende weefsel bereiken (enkele millimeters), maar levert bij een gezond mens voor de huid alleen problemen op wanneer door zeer sterke bestraling thermische effecten optreden. Er is ook een fotochemisch effect bekend van diepblauw licht tegen de grens van het UVA aan, maar oogblootstelling is in het zichtbare gebied qua limietwaarde duidelijk dominant.

IR-straling kunnen we waarnemen doordat we stralingswarmte voelen via onze huid (we voelen warmte het best aan het huidoppervlak). Ons oog ziet geen infrarood en “voelt” het alleen indirect door uitdroging van het hoornvlies. IRA kan (afhankelijk van de golflengte) tot enkele centimeters diep de huid in dringen. Ook hier is oogblootstelling qua limietwaarde dominant. IRB en IRC worden veel sterker aan het oppervlak geabsorbeerd (door het aanwezige water) en dringen slechts zeer oppervlakkig door. De meeste warmte-absorbtie vindt dus plaats in de laag waar ook onze warmte-waarneming het sterkst is. Dit verklaart het verschil in hitte-sensatie wanneer we een snack wegpakken van onder een IRA-lamp (met een nog duidelijk zichtbare dieprode lichtopbrengst) in vergelijking met een IRB- of IRC-lamp (waarbij nauwelijks of geen zichtbaar rood licht te zien is).

5.2.2 *Huidkanker in het kort*

In 2002 rapporteerde het Koningin Wilhelmina Fonds (KWF) als volgt (22): De drie belangrijkste vormen van huidkanker zijn het basaalcelcarcinoom, het plaveiselcelcarcinoom en het melanoom. Het risico om ooit een basaal- of plaveiselcelcarcinoom te krijgen ligt in de buurt van de tien procent, voor melanomen is dit minder dan één procent. Het risico om te sterven aan een vorm van huidkanker is minder dan één procent.

De vorm van huidkanker die wereldwijd het meest voorkomt bij de blanke mens is het basaalcelcarcinoom. Het betreft ongeveer 80% van alle gevallen van huidkanker. Deze vorm van huidkanker is de ‘minst kwaadaardige’, groeit langzaam en zaait vrijwel nooit uit. Aan het basaalcelcarcinoom van de huid overlijden patiënten vrijwel nooit.

Het plaveiselcelcarcinoom van de huid groeit qua omvang sneller dan het basaalcelcarcinoom. Het kan wel uitzaaien naar regionale lymfklieren, maar doet dat zelden. Bij transplantatiepatiënten doet zich dit vaker voor. Per jaar overlijden er 50 à 70 personen aan het plaveiselcelcarcinoom van de huid, waaronder relatief veel nier- en hart- transplantatiepatiënten, bij wie de werking van het afweersysteem met medicijnen wordt onderdrukt.

Het melanoom is potentieel kwaadaardiger dan het basaalcelcarcinoom en het plaveiselcelcarcinoom. Het kan uitzaaien via de bloedbaan en lymfeklieren, vooral wanneer het dikker is dan 1,5 mm, hetgeen tegenwoordig nog het geval is bij 20 tot 50% van de patiënten, afhankelijk van leeftijd en geslacht. In uitgezaaide vorm is de prognose zeer slecht. Jaarlijks overlijden in Nederland bijna 500 personen aan melanoom.

De belangrijkste risicofactor voor het ontwikkelen van huidkanker is blootstelling aan zonlicht c.q. ultraviolette straling, zowel chronisch als intermitterend op jonge leeftijd. Dit laatste speelt vooral een rol bij het ontstaan van het melanoom. Daarbij speelt ook het huidtype een rol. Mensen die gemakkelijk verbranden hebben een grotere kans om huidkanker te krijgen dan mensen die gemakkelijk bruin worden. Bovendien kunnen infecties en blootstelling aan bepaalde chemische stoffen het risico op het ontwikkelen van huidkanker verhogen. Sinds geruime tijd zijn mensen potentieel steeds intensiever blootgesteld aan zonlicht door een toename in het aantal vrije dagen, meer recreatiegedrag in de open lucht en zonzakanties. Het hebben van een bruine huid is nog steeds een schoonheidsideaal, waarvoor heel wat uren in de zon (of onder de zonnebank) worden doorgebracht. Dat aan dit ideaal vele nadelen op langere termijn kleven, zoals een vroegtijdige veroudering van de huid en ook een grotere kans op huidkanker, moet misschien nog duidelijker worden voor de mensen. Het gebruik van anti-zonnebrandmiddelen beschermt weliswaar tegen verbranding, maar menigeen blijft daardoor weer langer in de zon.

In 1998 werden werknemers en werkgevers met medewerking van het Koningin Wilhelmina Fonds (KWF) voorgelicht over verantwoord omgaan met zonlicht door middel van de actie “Kijk uit voor je huid” (10, 11).

Bij vragen over huidkanker en UV-straling kunt u contact opnemen met de gratis hulp- en informatielijn van de Nederlandse Kankerbestrijding (KWF): tel. 0800 - 0 22 66 22.

5.3 Actiespectra

De mate van gevoeligheid voor optische-straling verschilt per orgaan en weefseltype. De gewoonlijk meest blootgestelde organen zijn ogen en huid. Biologisch weefsel is over het algemeen niet homogeen. Er is altijd sprake van een opbouw uit cellen waarbij deze vaak ook onderling verschillen doordat ze een aantal verschillende, gespecialiseerde, taken uitvoeren. In de celkern bevindt zich o.a. het erfelijk materiaal (DNA) dat een vrij steile spectrale fotochemische gevoeligheid vertoont. Niet alleen DNA maar ook talloze andere in levend weefsel aanwezige moleculen kunnen fotochemisch worden veranderd door optische straling. Omdat in het optische gebied UV-straling per foton de meeste energie bevat (zie hoofdstuk 4) is fotochemie door UV-straling relatief krachtig in verhouding tot zichtbaar licht en IR-straling. Voor het meten van de biologisch effectieve bestralingssterkte invallende stralingsvermogen gewogen naar de mate waarin het onderzochte biologische effect bij de verschillende golflengten wordt geïnduceerd. Zo'n golflengte-afhankelijke weging gebeurt aan de hand van een **actiespectrum**. De onderstaande figuur toont het ICNIRP actiespectrum voor schade door UV-straling en 3 belangrijke biologische moleculen.

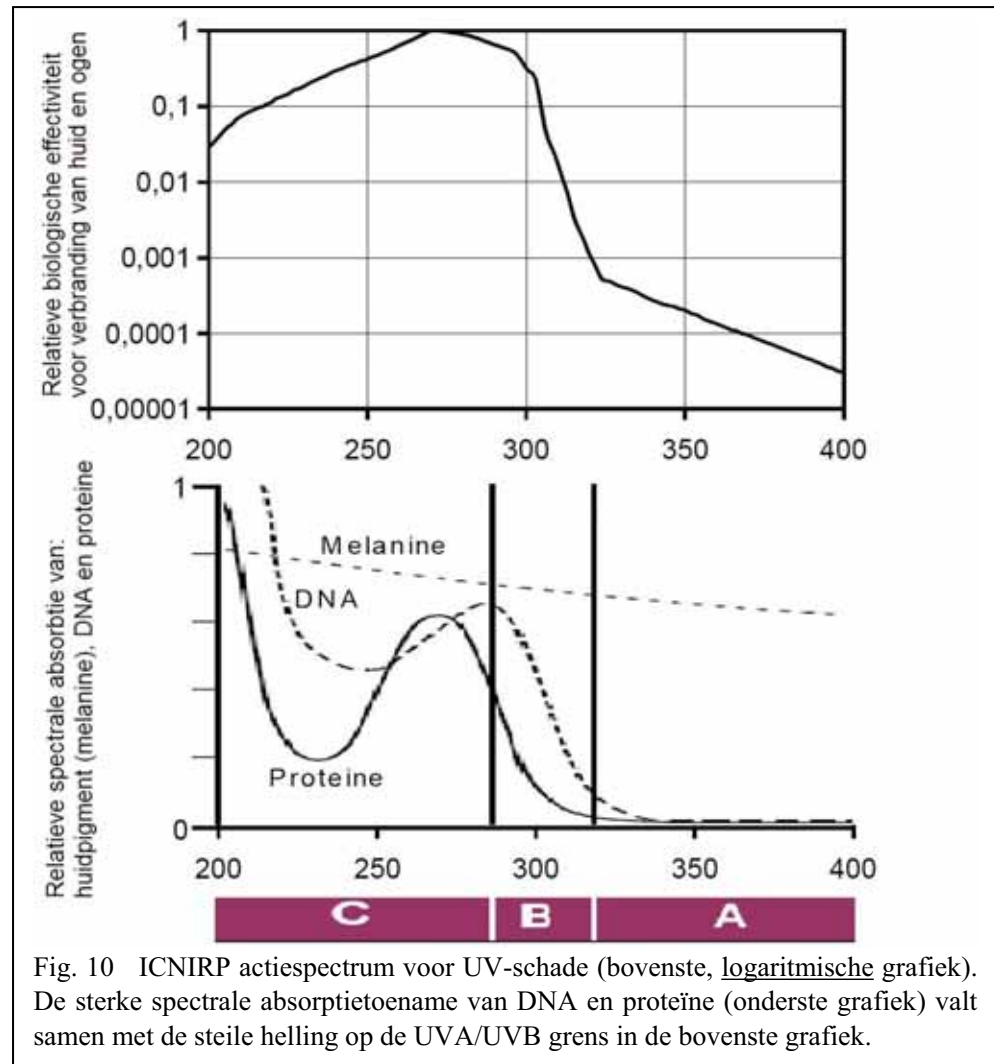
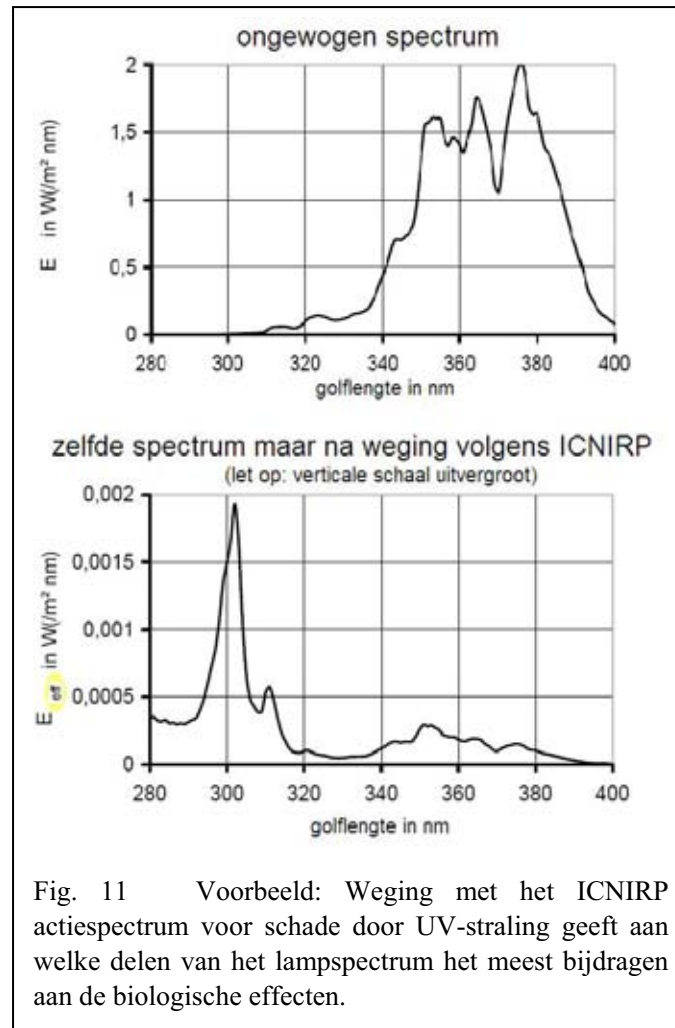


Fig. 10 ICNIRP actiespectrum voor UV-schade (bovenste, logaritmische grafiek). De sterke spectrale absorptietoename van DNA en proteïne (onderste grafiek) valt samen met de steile helling op de UVA/UVB grens in de bovenste grafiek.

De onderstaande figuur 11 toont hoe de biologisch effectieve bestralingssterkte wordt verkregen door een ongewogen spectrum te vermenigvuldigen met het in figuur 10 getoonde ICNIRP actiespectrum.



De belangrijkste actiespectra zijn:

- ICNIRP gecombineerd actiespectrum $S_{(\lambda)}$ voor schade door UV-straling aan huid en ogen: “UV-Hazard” (zie voorbeeld in figuur 10).
- ICNIRP actiespectrum $B_{(\lambda)}$ voor fotochemische schade aan het netvlies: “Blue Light Hazard” (zie tabel 1.3 EU-richtlijn)
- ICNIRP actiespectrum $R_{(\lambda)}$ voor thermische schade aan het netvlies: “Retinal Thermal Hazard” (zie tabel 1.3 EU-richtlijn)

Allerdrie deze spectra zijn exact beschreven in Bijlage I van de EU-richtlijn.

5.3.1 Toepassing van actiespectra bij metingen

Eenvoudige radiometers werken veelal met behulp van detectoren waarin het actiespectrum voor het betreffende effect reeds is ingebouwd. De uitlezing vindt dan direct plaats in effectieve irradiantie. Het nadeel van een dergelijke aanpak is dat men geen zicht heeft op het spectrum van de bron en dat voor ieder effect een andere detector/filter combinatie moet worden gebruikt. Men moet dus steeds goed weten met wat voor bron/detector combinatie men te maken heeft. Er zijn bijvoorbeeld detectoren die in het UVA- en UVB-gebied keurig wegen volgens ICNIRP, maar vrijwel blind zijn voor 254 nm

UVC. Een spectroradiometer meet het natuurkundige spectrum. Hierna kan dit rekenkundig worden vermenigvuldigd met het betreffende actiespectrum. Wie veiligheidsmetingen doet aan optische straling dient de beperkingen van meetapparatuur goed te kennen.

5.3.2 *Niet alleen spectrale maar ook geometrische eigenschappen zijn belangrijk*

Bij biologische effecten op het netvlies speelt de lichtbundeling door de ooglen een belangrijke rol. Het is dan ook logisch dat meetapparatuur voor de risico beoordeling aangaande fotochemische en thermische schade aan het netvlies voorzien is van lenzen die de ooglen nabootsen.

Voor effecten op de huid, maar ook op het hoornvlies van het oog worden meetopnemers gebruikt die een diffuus oppervlak hebben waarbij ook straling vanuit de hoeken wordt meegeteld volgens een cosinus verdeling (Engels: “cosine diffuser”).

5.3.3 *Afwijkingen ten opzichte van actiespectra*

Actiespectra gelden niet altijd. Door bepaalde ziekten of chemische stoffen kunnen normale actiespectra worden “scheefgetrokken” of zelfs totaal veranderen. De invloed van UVA-straling kan bijvoorbeeld enorm versterkt worden door bepaalde stoffen. Ook zijn er zijn een aantal medicijnen die onder invloed van UV-straling (en soms zelfs zichtbaar licht of IR-straling) bijwerkingen kunnen vertonen. Hiertoe behoren o.a. teerhoudende huidzalven en sommige antibiotica. Voor zulke medicijnen hoort de bijsluiter nadere informatie te geven. In de farmacie worden bij de ontwikkeling van medicamenten verplichte testen toegepast op de fotostabiliteit en eventuele fototoxiciteit van medicamenten (27).



Fig. 12 Sommige medicijnen, voedingsmiddelen of cosmetica-bestanddelen zijn fotochemisch actief. Bij medicijnen behoort dit in de bijsluiter te staan. Doxycycline is b.v. een antibioticum met kans op fototoxische bijwerkingen. Wie met UV-bronnen werkt dient zich goed aan de waarschuwing te houden.

Het houtbehandelingsproduct carbolineum is ook een berucht voorbeeld maar er zijn veel meer stoffen die een fotogevoeligheidsversterkende werking hebben. Zie hiertoe bijlage D.

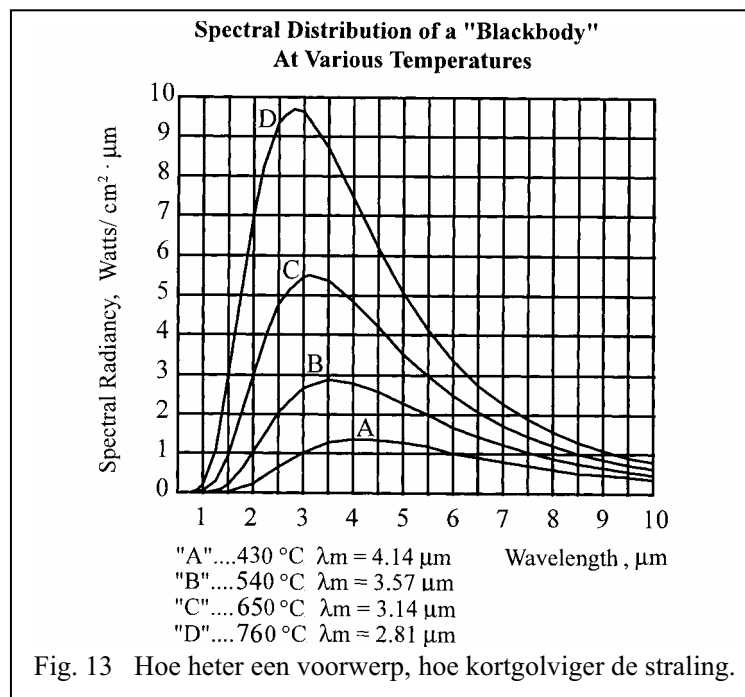
6 Bronnen van optische straling

6.1 Wanneer geeft iets "licht" ?

In de praktijk spelen twee soorten bronnen de hoofdrol, n.l. "zwarte stralers" en "karakteristieke emissies". Vrijwel elke praktische bron van optische straling is een mengvorm van deze twee, al ligt het accent vaak sterk bij één van beide. Uiteraard zijn er nog andere soorten bronnen, deze komen echter weinig in de praktijk voor en worden in dit rapport daarom niet behandeld.

6.1.1 Zwarte stralers (black body radiators)^d

Alle materie wisselt doorlopend energie uit met zijn omgeving in de vorm van elektromagnetische straling. Indien een voorwerp kouder is dan de omgeving zal het netto meer straling opnemen dan afgeven en daardoor net zolang opwarmen tot er een evenwicht is bereikt. Omgekeerd zal, als een voorwerp heter is dan de omgeving, het netto meer straling afgeven dan opnemen en daardoor net zolang afkoelen tot er opnieuw een evenwicht is bereikt. Max Planck onderzocht het kleurverschil van hete voorwerpen (van roodheet, tot witheet) en stelde vast dat bij alle materialen geldt hoe heter hoe "blauwer" (= kortgolviiger). Tevens ontdekte hij dat dit effect zich ook buiten het voor het oog zichtbare gebied voortzet en dat altijd sprake is van een breed continu asymmetrisch emissiespectrum. Planck's beroemde stralingswet legt vast hoe de golflengte van de emissiepiek verschuift naar een kortere golflengte naarmate de temperatuur van een voorwerp toeneemt.



^d Dit rapport behandelt alleen praktische veiligheidsaspecten zodat een versimpelde uitleg wordt gegeven.

De vier curves in figuur 13 bevinden zich in het infrarode gebied. Pas bij nog hogere temperaturen wordt ook zichtbaar licht geproduceerd (zo werkt een gloeilamp) en bij doorverhitten uiteindelijk ook ultraviolette straling. Enkele praktische voorbeelden van bronnen die zich typisch gedragen als "zwarte stralers" zijn:

- Kachels, radiatoren, ovens, verwarmingselementen en verwarmingslampen.
- Gloeilampen, en halogeenlampen.
- Hete stoffen zoals magma, gesmolten metalen, gesmolten glas, maar ook een afkoelende las.

6.1.2 Karakteristieke emissies

Alle materie is opgebouwd uit atomen die om hun positief geladen kernen een wolk van negatief geladen elektronen hebben. Deze elektronen bevinden zich bij voorkeur in een aantal discrete scherp afgebakende energieniveaus die per atoomsoort verschillend zijn. Wanneer elektronen zich verplaatsen van een voorkeursniveau met een hoge energie naar een niveau met een lage energie, kan onder bepaalde omstandigheden (zoals b.v. een elektrische ontlading) de vrijkomende energie worden uitgezonden als een foton ("lichtdeeltje", zie 4.1).

Omdat beide energieniveaus kenmerkend zijn voor de betreffende atomen of moleculen (dus ook de vrijkomende verschilenergie) gaat het hier daarom ook om fotonen met een scherp afgebakende energie hetgeen zich manifesteert als een scherp afgebakende emissielijn in het optische spectrum.

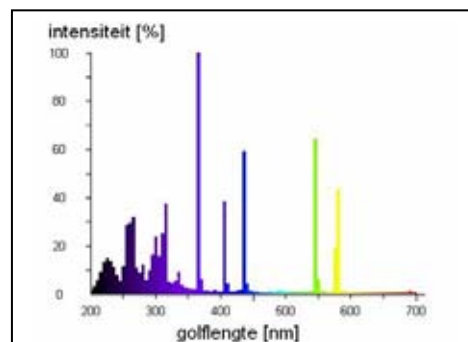


Fig. 14 Karakteristiek lijnspectrum van een 125W hogedruk kwiklamp.

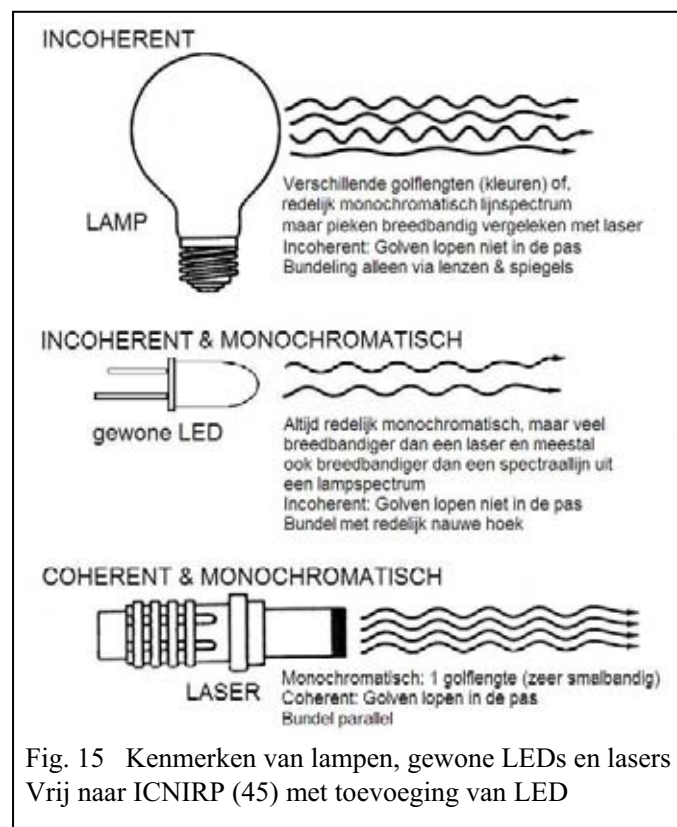
Deze emissielijnen zijn karakteristiek voor het soort materiaal en de procesomstandigheden. Bij een heleboel processen komen zulke karakteristieke fotonen vrij. Omgekeerd kunnen fotonen met een golflengte die goed "past" bij een bepaald atoom of molecuul ook worden geabsorbeerd en een elektron weer op een hoger energieniveau brengen.

Enkele praktische voorbeelden van bronnen met sterke "karakteristieke emissies" zijn:

- Gasontladingslampen (b.v. natrium-, kwik- en xenonlampen)
- Plasmareactors
- Boogontladingen (booglampen, lasbogen, etc.)
- Holle cathode lampen
- Excimerlampen

6.2 Kunstmatige bronnen

De bewuste opwekking van kunstmatige straling gaat meestal met lampen, LEDs of lasers. Onderstaande figuur toont de belangrijkste eigenschappen van deze bronnen.



6.2.1 Lasers

De internationale norm IEC 60825-1 en de daarop gebaseerde NEN-EN 60825-1 norm zijn geldig voor alle, medische en niet-medische lasers. Hierin wordt een klasse-indeling voor laserapparatuur met betrekking tot laserveiligheid gegeven. Deze klasse-indeling berust veelal op het maximaal uit te zenden vermogen en de golflengte. Omdat de klasse-indeling enige tijd geleden is veranderd, wordt hier de indeling volgens de huidige norm gegeven. Tabel [3] vat dit samen, aangevuld met typische waarden.

Klasse 1: De lasers in deze klasse zijn intrinsiek veilig. De blootstellinglimieten, gebaseerd op het voorkómen van oogschade, kunnen op geen enkele wijze overschreden worden.

Klasse 1M: De lasers in deze klasse zijn onder normale omstandigheden van toepassen veilig, maar de blootstellinglimieten kunnen overschreden worden bij het direct of via een spiegelende reflectie invallen van de laserbundel in het oog, wanneer gebruik wordt gemaakt van optische hulpmiddelen zoals microscopen.

Klasse 2: De lasers in deze klasse hebben een zodanig bundelvermogen dat een maximale blootstelling van 0,25 s, overeenkomend met de oogsluitreflex, niet tot schade van het oog kan leiden. In deze klasse komen alleen lasers voor die zichtbaar licht uitzenden, in de golflengterange van 400 tot 700 nm.

Klasse 2M: De lasers in deze klasse zijn onder normale toepassingsomstandigheden veilig door het optreden van de oogsluitreflex. Ze kunnen echter onveilig worden en de blootstellinglimieten kunnen worden overschreden bij het direct, of via een spiegelende reflectie, invallen van de laserbundel in het oog, wanneer gebruik wordt gemaakt van optische hulpmiddelen zoals microscopen. Ook in deze klasse komen alleen lasers voor die zichtbaar licht uitzenden, in de golflengterange van 400 tot 700 nm.

Klasse 3R: De lasers in deze klasse kunnen ook zonder gebruik van optische hulpmiddelen gevaar opleveren door het overschrijden van de blootstellinglimieten bij het direct, of via een spiegelende reflectie, invallen van de laserbundel in het oog, maar met lager risico op oogschade dan bij de klasse 3B lasers. De eisen voor ontwerp en controle maatregelen zijn lager dan voor de klasse 3B lasers.

Klasse 3B: De lasers in deze klasse hebben ook zonder gebruik van optische hulpmiddelen een gerede kans op oogschade door het overschrijden van de blootstellinglimieten bij het direct, of via een spiegelende reflectie, invallen van de laserbundel in het oog.

Klasse 4: De lasers in deze klasse kunnen ook via diffuse reflectie oogschade veroorzaken. Ze kunnen ook schade aan de huid veroorzaken en aanleiding geven tot brand.

Aangaande de oogsluitreflex binnen 0,25 s, waarvan bij het IEC laserklasse-systeem is uitgegaan, is uit recente onderzoeken gebleken dat slechts ongeveer 20% van de werkende populatie daadwerkelijk zo'n snelle en onbewuste automatische oogreflex heeft (30-32).

| Klasse | Typische AEL-waarde | Niveau veiligheid |
|--------|---|---|
| 1 | 40 μ W | Intrinsiek veilig |
| 1M | 40 μ W | Veilig ongewapend oog Onveilig optisch instrumenten |
| 2 | 1 mW | Veilig bij oogreflex |
| 2M | 1 mW | Veilig ongewapend oog Onveilig optisch instrumenten |
| 3R | 200 μ W (UV/IR) 5 mW (zichtbaar) | Potentieel, maar beperkt, gevaar bij zorgvuldig gebruik |
| 3B | 500 mW | Geen gevaar voor oog bij diffuse reflecties; geen gevaar voor huid |
| 4 | Geen limiet | Gevaar voor oog bij diffuse reflecties; en gevaar voor huid |

*Tabel 3: Klasse-indeling laserapparatuur volgens IEC 60825-1
AEL staat voor Accessible Emission Limit, de maximaal toegestane emissiewaarde die voor de gebruiker toegankelijk is.*

6.2.2 Lampen

Uiteraard zijn lampen verreweg het meest bedoeld voor algemene verlichting en zenden in dat geval dus zichtbaar licht uit (VIS-straling). Zeer veel lampsoorten zenden ook ultraviolette en/of infrarode straling uit als bijproduct en een aantal soorten zijn er juist speciaal (of mede) voor ontworpen.

De bekendste lampsoorten zijn:

- Deuteriumlampen (specifiek UV)
- Hoge-, midden-, en lagedruk kwiklampen (UV en middels fosforen ook VIS)
- Xenonlampen (UV, zeer veel VIS en enig IR)
- Metaal halide lampen (enig UV, zeer veel VIS en redelijk veel IR)
- Kwarts-halogenlampen (enig UV, veel VIS en zeer veel IR)
- Excimerlampen (UV, nog niet zo bekend maar sterk in opkomst)
- Gewone gloeilampen (VIS en naar verhouding veel IR)
- Normale TL-verlichting (VIS, zie echter ook lagedruk-kwiklampen)
- Natriumlampen (VIS, felle gele emissiepiek maar tevens een zeer sterke IRA-piek)
- Warmte-gloeilampen (enig VIS in het rode gebied en zeer veel IR)
- Keramische stralers (soms enig VIS, zeer veel IR)

Deze opsomming is zeker niet compleet, maar dekt de meeste toepassingen.

Naast het mechanisme waardoor binnen de lampomhulling de optische straling wordt opgewekt, is de invloed van de lampomhulling van groot belang en uiteraard geldt dit ook voor de materialen waaruit armaturen zijn opgebouwd:

- Een TL-buis voor verlichting heeft een gewone glasbuis, terwijl een UV-uitvoering een kwartsglazen omhulling heeft.
- Een polycarbonaat beschermkap laat nagenoeg geen UV door, gewoon glas laat echter nog wel UVA door.
- IR-doorlatende reflectoren bundelen het zichtbare licht naar voren en laten de onzichtbare IR-straling door naar achteren.

We bespreken de basisprincipes van de bovengenoemde lampsoorten kort:

Deuteriumlampen

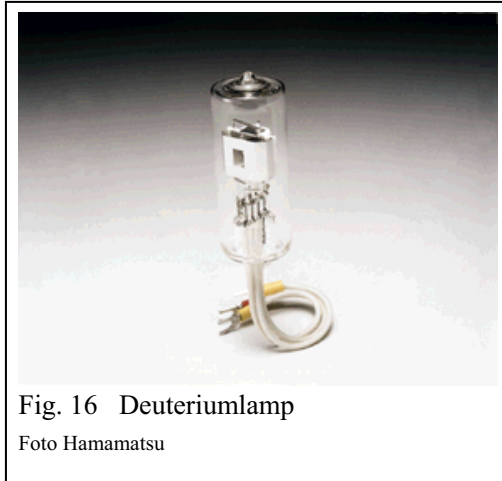


Fig. 16 Deuteriumlamp
Foto Hamamatsu

Deuteriumlampen worden zeer veel toegepast als referentiebron voor meetapparatuur zoals bijvoorbeeld laboratoriumspectrofotometers. Doordat deze lampen een redelijk continu UV-spectrum zonder scherpe pieken tot ver in het UVC kunnen produceren, zijn ze bij uitstek geschikt voor dergelijke toepassingen. Deuteriumlampen leveren bij onafgeschermd gebruik gevaar op voor onbeschermd ogen en huid. Het zijn tevens ozonvormende lampen.

Hogedruk-kwiklampen



Fig. 17a "kale" hogedruk-kwiklamp
foto INRS, France



Fig. 17b UVA (365 nm "blacklight")
hogedruk-kwiklamp met filterglasballon
foto INRS, France



Fig. 17c Hogedruk kwiklamp voor
verlichting met UVA-piek op 365 nm als
nevenprodukt. Foto Philips, Nederland

Een hogedruk-kwiklamp is een stralingsbron die kwikdamp onder een druk van ca. 8 MPa (ca. 80 bar) of hoger bevat. De uitgezonden straling ontstaat door een boogontlading en bevat naast een aantal karakteristieke spectraallijnen tevens een continu spectrum tussen de 200 en 1400 nm (van UVC tot en met IRA). Dit zijn typisch industriële lampen met vaak redelijk hoge vermogens die bij onafgeschermd gebruik direct gevaar opleveren voor onbeschermd ogen en huid. Deze lampen zijn tevens vaak ozonvormend.

Hogedruk-kwiklampen worden ook geleverd in uitvoeringen die ontworpen zijn voor zware verlichtingsinstallaties. De omhulling is dan voorzien van een interne fosforcoating en het meeste UV wordt uitgefilterd door een extra glasballon. Op korte afstand kan zo'n lamp in kale toestand (dus zonder gefilterd armatuur) echter nog steeds problemen geven (vooral m.b.t. de ogen).

Middendruk-kwiklampen



Fig. 18 Voorbeeld van een middendruk kwiklamp

foto Mazda

Een middendruk-kwiklamp is een stralingsbron die kwikdamp bevat onder een druk van 100 tot enkele honderden kPa (1 bar = 100 kPa). Emissie vindt hoofdzakelijk plaats in het gebied tussen 310 en 1000 nm met als meest intense spectraallijnen 300, 303, 313, 334, 366, 405, 436, 546 en 578 nm.

Lagedruk-kwiklampen

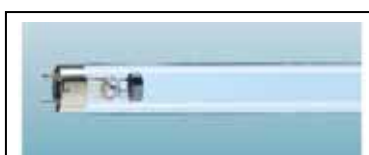


Fig. 19a Voorbeeld van een lagedruk kwiklamp (UVC TL)



Fig. 19b Voorbeeld van een lagedruk kwiklamp (UVA TL)

foto's Philips

Een lagedruk-kwiklamp is een resonantielamp die kwikdamp bevat bij een druk van ongeveer 0,1 Pa ($0,75 \times 10^{-3}$ Torr; 1 Torr = 133,3 Pa). Bij 25 °C straalt een dergelijke lamp vooral op 253,7 en 184,9 nm. De bekendste uitvoeringen van lagedruk-kwiklampen zijn de gewone TL-buis en PL-lamp voor verlichtingsdoeleinden. De ontladingsboog produceert onzichtbare UVC-straling welke middels een mengsel van fluorescentiepoeders wordt omgezet in zichtbaar licht. De samenstelling van het mengsel van fluorescentiepoeders bepaalt de kleur van het uitgezonden licht. Het vulgas bevat, naast kwikdamp, ook een klein

percentage edelgas (veelal argon of krypton). In principe wordt door alle TL- en PL-verlichting enige UV-straling uitgezonden, het vangstrendement van de fosforlaag en de filtering door de glasbuis is nooit 100%. Dit heeft echter geen betekenis in relatie tot de richtlijn optische straling en normale TL- en PL-verlichting valt in de categorie 0.

Er zijn echter ook TL-buizen die gemaakt zijn om hoofdzakelijk UV-straling te produceren. De simpelste uitvoering heeft een kwartsglazen buis zonder fosforcoating en zendt zeer efficiënt UVC-straling uit op 254 nm. Al naar gelang de kwartssoort kan ook nog een ozonvormende piek op 185 nm worden uitgezonden.

Situaties waar dergelijke lampen in kale toestand worden gebruikt vallen in categorie 2.

Een TL-buis of PL-lamp met een heldere omhulling (zie b.v. figuur 19a) moet dus als gevaarlijk worden beschouwd.

Daarnaast zijn er ook iets complexer opgebouwde UV-producerende TL-buizen en PL-lampen die m.b.v. een fosforcoating langgolfiger UVC omzetten in UVB en/of UVA. Dit zijn typisch lampen voor insectenvangers,

solaria, medische therapie, amusementstoepassingen, etc. Er zijn zeer veel types van dit soort TL-buizen en PL-lampen voor specifieke toepassingen te koop, een voorbeeld is te zien in figuur 19b. Sommige leveranciers leveren “gelijkwaardige” lampen met kleine spectrale verschillen. Dergelijke ogenschijnlijk kleine verschillen in lampspectra kunnen echter grote invloed hebben op de biologische effectiviteit (zie ook paragraaf 5.3).

Xenonlampen



Fig. 20 Xenonlamp, er zijn talloze vormen.

Foto Heraeus

Net als kwiklampen zijn xenonlampen ook booglampen, echter met een ander vulgas. Xenonlampen worden veel toegepast in applicaties waar een breed spectraal gebied vereist is. Voor de nabootsing van daglichtomstandigheden zijn xenonlampen zeer geschikt. Flitslampen voor fotografische toepassingen zijn meestal xenongevulde flitsbuizen. Afhankelijk van de spectrale transmissie van de toegepaste lampomhulling

kunnen xenonlampen naast wit zichtbaar licht ook een aanzienlijke hoeveelheid UV-straling uitzenden. Om deze reden worden xenonlampen vaak toegepast in zonnemulatoren (voor b.v. materiaalverouderingsonderzoek).

Bij toepassingen waar alleen zichtbaar licht nodig is kan eventueel door de lampomhulling dringende UV-reststraling echter beter worden afgefilterd.

Kwarts halogeenvlampen (tungsten halogen lamps)



Fig. 21 Halogeenvlamp 12V 50W, er zijn talloze vormen.

Foto Sylvania

Een halogeenvlamp is in principe een bijzonder soort gloeilamp. Bij een gewone gloeilamp wordt een compromis gemaakt tussen de kleurtemperatuur en de levensduur van de gloeidraad. Het gelige licht van een gewone gloeilamp kan witter gemaakt worden door de gloeidraad warmer te stoken. Volgens de stralingswetten van Planck volgt dan immers een verschuiving van de emissiepiek richting het blauwe gebied. Dit resulteert echter in een dramatisch kortere levensduur van de gloeilamp doordat de gloeidraad sneller

verdampt (waarbij de metaaldamp op het glas van de lampballon neerslaat). Bij een halogeenvlamp bevat de ijle gasvulling van de lamp een chemische toevoeging (een halogeen) waardoor metaaldamp die vrijkomt door verdamping van de gloeidraad veel minder snel neerslaat op de ballon van de lamp. De gloeidraad gaat daardoor bij een hogere temperatuur veel langer mee, waardoor een halogeenvlamp een veel betere benadering van daglicht (hogere kleurtemperatuur) kan leveren dan een gewone gloeilamp.

De gloeidraad produceert als "zwarte straler" door de zeer hoge temperatuur ook UV-straling.

Omdat de temperatuur van de lampomhulling bij een halogeenlamp veel hoger wordt dan bij een gloeilamp met gelijk vermogen, wordt kwartsglas met een hoog smeltpunt toegepast. Kwartsglas heeft echter een zeer goede UV-transmissie waardoor in de lamp geproduceerd UV kan uittreden.

Gevallen in het verleden waarbij onverwacht erytheem optrad en werkverlichting door halogeen-armaturen de oorzaak bleek te zijn, hebben geleid tot armaturen waarbij een UV-werend filter is ingebouwd. Bij sommige lamptypen maakt een UV-werend filter zelfs een integraal deel uit van de lamp zelf.

Halogeenlampen die doelbewust ontworpen zijn voor toepassingen in apparatuur voor laboratoria of industrie, waarbij een continu zichtbaar spectrum met enige doorloop naar het UV zeer nuttig is, dienen daarom niet zomaar te worden gebruikt voor algemene verlichtingsdoeleinden (ook al past de fitting en kloppen voltage en vermogen).

De door de gloeidraad uitgezonden IR-straling is voor verlichtingsdoeleinden nutteloos. De warmtelast richting belicht object kan worden verminderd door toepassing van dichroïsche spiegels, die zichtbaar licht naar voren bundelen en IR-straling naar achteren doorlaten.

Metaal halide lampen



Fig. 22 Voorbeeld van een metaal halide lamp (400W Philips HPI-T groeilamp)
foto Philips

Metaal halide lampen zijn booglampen gevuld met een mengsel van halogeengedoteerde metaaldamp. Ze hebben een zeer hoog rendement in het zichtbare gebied (veel lumen per Watt) en vertonen een breed spectrum dat over het algemeen echter veel grilliger is dan bij halogeen- of Xenonlampen. Hierdoor kan een kleurzwem ontstaan (b.v. enigszins groenig of blauwig). Metaal halide lampen worden vooral toegepast wanneer kleurbeleving niet kritisch is maar een hoge lichtopbrengst des te meer (b.v. auto-koplampen, of sportveldverlichting). De ontladingsboog in de lamp genereert ook enige UV-straling die, afhankelijk van de lampomhulling, eventueel als bijproduct kan uittreden.

Natriumlampen



Fig. 23 Natriumlamp voor wegverlichting
foto INRS, Frankrijk

Natriumlampen worden veel toegepast voor verlichtingsdoeleinden langs wegen en in de industrie. Het zijn over het algemeen lampen met hoge vermogens (1000W is heel gewoon). Ze zijn energiezuinig

en produceren een kenmerkend geel licht. Een natriumlamp kan enig UVA produceren als nevenprodukt, maar dit wordt gewoonlijk door de beschermkap van het armatuur gefilterd. Voor verlichtingsdoeleinden leveren natriumlampen gewoonlijk dan ook geen problemen op. Een minder bekende eigenschap van natriumlampen is echter dat ze ook een sterke IRA-piek op 820 nm produceren (die zelfs nog efficiënter is dan de zichtbare gele piek). Deze eigenschap wordt handig gebruikt in speciale natriumlampen als IR-verlichting in combinatie met IR-bewakingscamera's. Bij dit soort speciale uitvoeringen van natriumlampen wordt het zichtbare licht nagenoeg geheel weggefilterd en kan men dus zonder hier erg in te hebben recht in een zeer felle IRA-bron kijken. Alleen in situaties waar men dit van nabij voor langere tijd kan doen bestaat er een kans op thermische netvliesschade.

Excimerlampen



Fig. 24 Xenon gevulde Deep UV (DUV) excimerlamp met een golflengte van 172 nm (20W elektrisch vermogen in, 8W DUV uit)
Er zijn verschillende vulgassen mogelijk.

foto Osram / Radium

De excimerlamp is een nieuwe veelbelovende techniek die gebruik maakt van het "*barrier discharge effect*" waarbij een elektrische ontlading ontstaat op de grenslaag tussen twee materialen. De uitgezonden straling is vrijwel monochromatisch (geconcentreerd rondom één golflengte) en wordt bepaald door de gassoort(en) en de druk van het gasmengsel waarin de ontlading plaatsvindt.

Excimerlampen zijn relatief nieuw en nog volop in ontwikkeling. Het rendement is momenteel nog lager dan dat van lagedruk kwiklampen. Bij een verbeterd rendement zijn excimerlampen wellicht interessant als mogelijke kwikvrije vervanging van de huidige TL-verlichting, deze ontwikkelingen spelen echter op de langere termijn.

Vooralsnog zijn excimerlampen nog technische hoogstandjes en daarom vrij duur. Momenteel commercieel verkrijgbare typen richten zich dan ook hoofdzakelijk op specifieke toepassingen zoals industriële UV-ozon reiniging (b.v. 172 nm Xenon gevulde excimerlamp) of de ontsmetting van oppervlakken met Deep UV (DUV).

Het meest gebruikte vulgas is Xenon, waarbij momenteel commerciële DUV-modellen leverbaar zijn in 2 golflengten (146 nm en 172 nm). Excimerlampen zijn vooralsnog zeer duur en worden daarom alleen voor zeer speciale toepassingen gebruikt.

Typische industriële toepassingen van UV-lampen zijn:

- Fotochemisch uitharden (Engels: “curing”) van lijmen, lakken en drukinkten
- Desinfectie van lucht en water
- Desinfectie van oppervlakken (ook van voedselprodukten)
- Processtappen bij halfgeleider- en printplaat-fabricage
- Lokken van insecten (en vervolgens doding door elektrocutie op raster)
- Het doen oplichten van fluorescerende stoffen

Typische medische toepassingen van UV-lampen zijn:

- Fototherapie bij bepaalde huidziekten
- Diagnose m.b.v. fluorescentie
- Fluorescentie-microscopie aan micro-organismen
- Toepassing in laboratorium-apparatuur

Typische consumenten toepassingen van UV-lampen zijn:

- Bruiningsapparatuur
- Verlichting van reptielenterraria (lamp met enige UVB-productie)

Typische industriële toepassingen van IR-lampen zijn:

- Verfdroogtunnels en verfdroogcabines (b.v. in autospuiterijen)
- Blazen van PET-flessen
- Thermoplastisch vormen van plastics
- Halfgeleiderfabricage processtappen
- Verwarming en op temperatuur houden van voedsel
- Papierdroging in papierfabrieken
- Droging van lakken en drukinkten
- Voorverwarming van hout voor het lakken
- Hitte-sterilisatie
- Verzachten of smelten van plastics
- Broedmachines

Typische medische toepassingen van IR-lampen zijn:

- Fysiotherapie en hyperthermie behandelingen

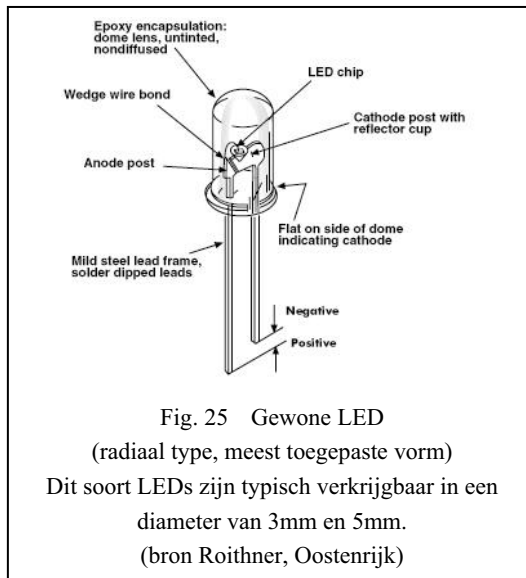
Typische consumenten toepassingen van IR-lampen zijn:

- IR-sauna's
- Verlichting van spierpijn, etc. met IR-lamp (b.v. Infraphil)
- Straalkachels, halogeenkookplaten, etc.

6.2.3 LED's

Licht Emitterende Dioden (kortweg LED's) zijn verkrijgbaar van UV tot IR. Typisch voor LEDs is een redelijk monochrome en redelijk nauwe bundel (die echter veel meer divergeert dan een laserbundel).

Figuur 25 toont een typische gewone LED (diameter meestal 3 of 5 mm).



Veruit de meeste LEDs worden ingezet voor signaleringsdoeleinden (b.v. op apparatuur of elektronische borden voor mededelingen). Algemene verlichtingstoepassingen met witte LEDs zijn echter sterk in opkomst. Door onderzoek stijgen de efficiëntie en lichtopbrengst van LEDs nog steeds.

Voor de normale huid zijn er geen risico's m.b.t. LEDs. Voor het oog kunnen bij types met hoog vermogen in het blauw (rond 470 nm of kortgolfiger) problemen zijn bij langdurige bestraling op korte afstand. Met UV-LEDs moet men voorzichtig zijn, de straling is onzichtbaar en UV is fotochemisch actief.



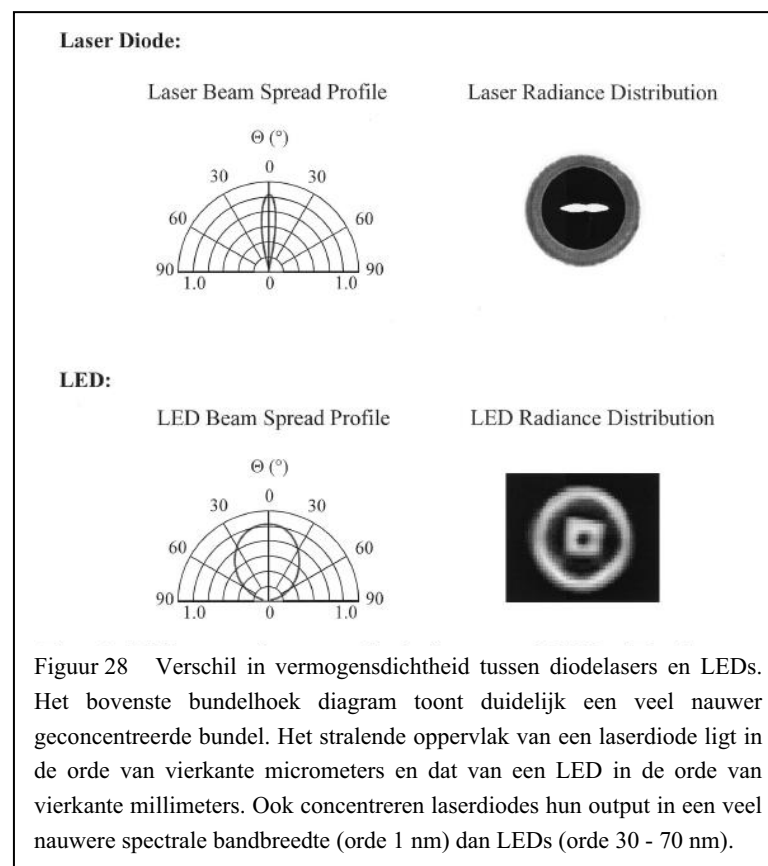
IR-LEDs worden veel toegepast in afstandsbedieningen etc. Bij dit soort toepassingen worden de LEDs gepulst (hoger piekvermogen in korte pulsen), maar heeft tevens de bundel een grote spreidingshoek (zodat de gebruiker niet zo kritisch hoeft te richten). Dit soort toepassingen horen zodanig te zijn ontworpen dat ze geen gevaar opleveren.

Er zijn zo enorm veel verschillende LEDs dat het ondoenlijk is om universele vuistregels te geven, ICNIRP heeft in 2000 een redelijk compact overzicht uitgebracht (16). Belangrijkste parameters zijn golflengte, vermogen en bundelhoek (ruimtehoek van de 50% intensiteitsgrens van de bundel). Om bij het ontbreken van gegevens de bundelhoek af te kunnen schatten kunnen voor gewone LEDs kunnen de volgende vuistregels worden aangehouden (2):

- SMD-LED zonder optisch bundelende behuizing: ca. 3 mrad
- Radiale gewone LED met geïntegreerde lens 5 mm \varnothing : ca. 20 mrad
- Radiale gewone LED met geïntegreerde lens 3 mm \varnothing : ca. 10 mrad

6.2.4 Verschil tussen LED's en laserdiodes

ICNIRP maakt onderscheid tussen LEDs en laserdiodes. Voor LEDs adviseert ICNIRP beoordeling als een incoherente bron, en voor laserdiodes een beoordeling volgens de criteria voor lasers (16).



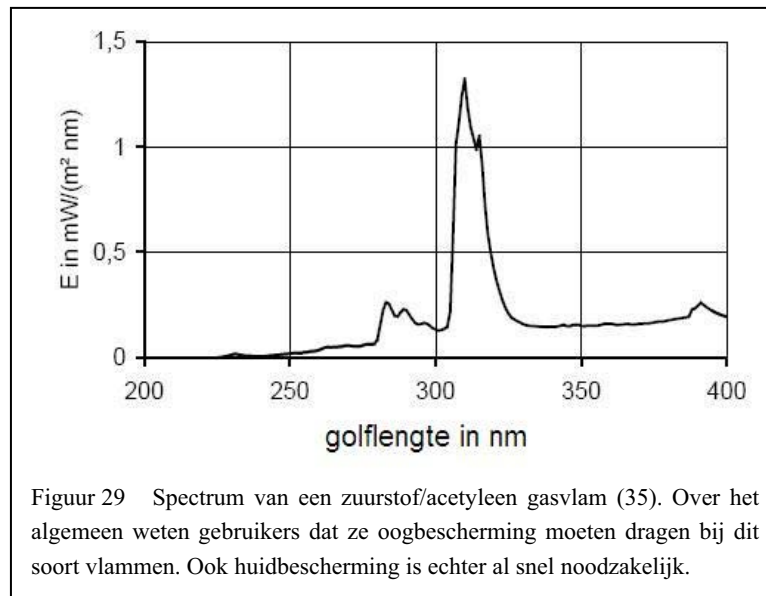
Laserdiodes zijn dus gewoon lasers (zie verder 6.2.1).

6.2.5 Open bronnen

Lasbogen en vlammen zijn “open bronnen”. Zij kunnen door hun hoge temperatuur objecten verwarmen die daardoor “zwarte stralers” tot ver in het UV kunnen worden. Tevens vertonen lasbogen en vlammen daarnaast ook sterke emissielijnen die kenmerkend zijn voor de betreffende electrode, resp. brandstof. Zulke emissielijnen kunnen zich over een breed spectraal gebied bevinden. Zuurstofrijke aardgasverbranding levert bijvoorbeeld een blauwe vlam op die in het ultraviolet nog veel sterker schijnt.

Een lasboog bestaat (net als een bliksemschicht) uit atmosferisch plasma dat sterke ultraviolette, zichtbare en infrarode pieken kan uitzenden.

De steeds vaker in de industrie toegepaste laagvacuüm-plasma's kunnen dit ook, maar deze zijn opgesloten in een vacuümketel die gemakkelijk voorzien kan worden van een gefilterd kijkglas en zo tot een ongevaarlijke gesloten bron wordt omgevormd.



7 Bedrijfstakken & blootstellingsniveaus

7.1 Algemeen

Dit hoofdstuk biedt een zo breed mogelijk overzicht van situaties waarbij typisch gewerkt wordt met optische stralingsbronnen. Volledigheid is onhaalbaar, alleen al omdat dagelijks nieuwe lamp- en lasersoorten alsmede hun diverse toepassingen worden geïntroduceerd. Het overzicht omvat de meest voorkomende toepassingen en bronnen.

7.2 Doelgerichte toepassingen van optische straling

Met de term “doelgerichte toepassing van optische straling” wordt bedoeld dat er een proces plaatsvindt waarbij de optische straling een essentieel middel is om dat proces te laten functioneren. In de praktijk blijkt nogal eens dat er processen worden toegepast die weliswaar keurig tot een resultaat leiden, maar waarbij een groot deel van de toegevoerde optische straling niet of nauwelijks aan het proces bijdraagt. Enerzijds is het energie-rendement van sommige processen hierdoor onnodig laag en anderzijds verhogen sommige processen daardoor onnodig de bedrijfsrisico's.

Praktijkvoorbeeld: Er zijn gevallen bekend waarbij fluorescentie-onderzoek werd verricht met UV-lampen die naast UVA ook deels (voor de betreffende toepassing volkomen onnodig) UVB uitzonden, dat biologisch veel sneller schade veroorzaakt. Klachten van gebruikers konden simpelweg worden opgeheven door de juiste lampen in te zetten (en bovendien kon energie worden bespaard door de lampen handiger boven het werkstuk op te hangen). Wanneer u dus een doelgerichte toepassing van optische straling gaat gebruiken is het altijd verstandig om stil te staan bij de vraag: Hoe doelgericht is “doelgericht”?

7.2.1 Industrie: Lasers

7.2.1.1 Communicatielasers

Er kan een onderverdeling gemaakt worden in ‘gesloten systemen’ zoals kabels en ‘open systemen’ zoals open-lucht optische communicatie systemen

Gesloten systemen

Bij lasertoepassingen voor communicatie wordt steeds meer gebruik gemaakt van LED laser typen. De mogelijkheden voor hogere vermogens met deze technologie nemen toe, zodat grotere afstanden overbrugd kunnen worden. De risico's voor onbedoelde blootstelling zijn beperkt tot het oog, er is geen sprake van risico's op brand- of snijwonden door bestraling van de huid. Situaties zoals per ongeluk loskoppelen van een aansluiting of het breken van een fiber, bijvoorbeeld bij graafwerkzaamheden, zijn redelijk te

voorzien. In principe volstaat het om leken te verbieden aan communicatiefibers te komen. Verder worden herstelwerkzaamheden toch al uitgevoerd door speciaal opgeleid personeel die moeten weten welke oogbescherming bij welke werkzaamheden hoort.

Categorie: standaard voor gebruikers 0, bij installatiewerkzaamheden 2A.

Open systemen

Het gebruik van optische communicatie door de open lucht is nog beperkt, maar kan toenemen bij verdere succesvolle implementaties. Ze worden vooral gebruikt vanaf de top van het ene naar het andere hoge gebouw. Soms worden ze, tijdelijk, gebruikt door ramen heen. De risico's zijn beperkt en doen zich vooral voor bij installatie. Bij gebruik door ramen heen zijn er mogelijk risico's voor een glazenwasser.

Categorie: standaard voor gebruikers 1, bij installatiewerkzaamheden 2A.

7.2.1.2 Meet- en richtlasers

Meet en richtlasers worden vooral gebruikt in de bouwwereld. Gebaseerd op het meetprincipe gaat de laserstraal door de open lucht met risico voor onbedoelde blootstelling als gevolg. Bij het treffen van de voorgeschreven maatregelen is het risico beperkt (categorie 1). Door de afnemende prijs van deze hulpmiddelen neemt het gebruik wel sterk toe. Een extra aandachtspunt is het werken met deze middelen op grotere hoogte. Het schrikeffect bij onbedoeld treffen van het oog, ook zonder blijvende schade, kan resulteren in een val.

Categorie: 1

7.2.1.3 Laserbewerkingen

Het gebruik van lasers in de industrie voor materiaalbewerking is zeer wijd verbreid. Toepassingen zijn onder andere omsmelten en verglazen, legeren en dispergeren, oplassen (cladden) alsmede herstelgloeien en transformatiehardening. Bij de laatste twee toepassingen wordt het materiaal niet tot smelten gebracht. De ingestraalde energie is hoog, enerzijds vanwege het te bereiken effect maar anderzijds ook door de hoge reflectie die optreedt, waardoor veel energie 'verloren' gaat. Vanwege het beoogde effect is de laserstraal op de plaats van gebruik zeer gevaarlijk bij het treffen van oog en huid.

Er kan echter bijna altijd gebruik worden gemaakt van gesloten systemen waarmee de risico's bij correcte toepassing klein zijn: Categorie 0 tot 1.

Bij reparatie en onderhoud zijn de risico's juist groot: Categorie 2A of 2B.

Het eventueel ontstaan van schadelijke stoffen bij laserbewerkingen en de noodzaak tot effectieve afzuiging hiervan zijn in het kader van dit rapport niet in beschouwing genomen.

7.2.2 Industrie: Incoherente bronnen

7.2.2.1 Droogprocessen

Voor industriële droogprocessen wordt zowel IR-straling als UV-straling toegepast.

De laatste jaren wordt echter in nog steeds toenemende mate gewerkt met inkten, lakken, kunststoffen, lijmen, folies en gietmassa's die uitharden (of drogen) onder invloed van UV-straling (fotochemische droging/uitharding).



Fig. 32 Toepassing van UV-uithardende drukinkt
(Hogedruk kwiklamp met UVA doorlaatfilter)
Let op de gele waarschuwingssticker voor monteurs
foto Sadechaf UV-Techniek België

Fotochemische droogprocessen bieden over het algemeen een veel snellere droging en zijn veelal energiezuiniger dan oplossingen die hetzelfde product moeten drogen met IR-straling.

Voor drogingsprocessen waarbij hoofdzakelijk water dient te worden verwijderd, wordt nog steeds meestal IR-straling toegepast (thermische droging met IRB of IRC) vanwege de spectrale absorptie van water.

De risico's bij droogprocessen met IR-straling zijn beperkt, omdat enerzijds de mens de stralingswarmte meteen kan voelen en anderzijds pas bij aanzienlijke bestralingssterkten schade kan optreden.

De risico's bij droogprocessen met UV-straling zijn veel groter, omdat enerzijds de mens de acute fotochemische werking van UV-straling pas na enkele uren merkt en anderzijds reeds bij relatief geringe bestralingssterkten schade optreedt. Er wordt soms gewerkt met bronnen van enkele honderden of zelfs duizenden Watts. Relatief kleine lekkages langs mechanische sluiters of ventilatie-openingen kunnen ertoe leiden dat onbeschermden ogen en huid binnen enkele minuten tot uren blootgesteld worden boven de ICNIRP-limieten. Rechtstreekse onbeschermden blootstelling kan binnen seconden tot oog- en/of huidschade voeren. Deze toepassingen vallen dus in categorie 1 tot 2B.

Er is een trend gaande om processen te ontwikkelen die met zeer langgolvlige UVA-straling of zelfs met zichtbaar blauw licht toekunnen. Voor "Spot-curing" met kleine bronnen worden veelal gesloten lichtbronnen gebruikt met een fiber-uitgang, maar ook worden steeds vaker UV-LEDs of blauwe LEDs gebruikt. Omdat zulke kleinere bronnen over het algemeen zeer verschillend zijn kan er algemeen weinig meer over worden samengevat dan

dat ze voor de huid vaak weinig risico opleveren. Wel is het zaak om na te gaan of felle blauwe LEDs een “Blue Light Hazard” vormen (zie ook 5.1).

7.2.2.2 *Desinfectie van oppervlakken en lucht*

Voor de optische desinfectie van oppervlakken en lucht worden vaak lagedruk kwiklampen (UV TL-buizen) met een emissiepiek op 254 nm (kortgolvig UVC) gebruikt. Reeds bij lage buisvermogens (b.v. 8 W) kan het onbeschermd oog op korte afstand van de lamp binnen enkele tientallen seconden boven de limiet worden blootgesteld. Bij onzorgvuldig gebruik ontstaan dan ook snel klachten van acute effecten (fotokeratitis, gevoel van “zand in de ogen”) waardoor de industrie bij zulke toepassingen over het algemeen veiligheidsmaatregelen neemt in de vorm van interlock-schakelaars, afschermingen of de bronnen zodanig worden opgesteld dat er normaal gesproken niemand door wordt blootgesteld.

Bij **oppervlakte-desinfectie** met UVC is het zaak om geen personen bloot te stellen. De meest voorkomende toepassing is de desinfectie van flow- en zuurkasten, waarbij de meest eenvoudige voorzorgsmaatregel is dat de UVC-bron alléén aan kan als de toegangsdeur van de kast dicht is (gewoon veiligheidsglas en ook polycarbonaat laten geen UVC-door). Zulke toepassingen vallen in de categorie 0. Losse verplaatsbare oppervlakte desinfectielampen vallen echter in de categorie 2B. Van een beschermende omhulling met interlock-schakelaar is geen sprake en de gebruiker dient zeer goed te zijn voorgelicht.

Bij **“open systeem” luchtdesinfectie** met UVC is er sprake van directe bestraling van de omgevingslucht. Bij dit soort (overigens zeer effectieve) systemen is het belangrijk de armaturen zodanig te plaatsen dat alleen het luchtvolume ruim boven de hoofden van personen wordt aangestraald en dat er niemand direct in de lamp kan kijken. De meeste plafondmaterialen reflecteren geen UVC (zelfs roestvast staal is een slechte UVC-reflector). Bij een goede handleiding en een vakkundige montage is voor de normale gebruiker sprake van categorie 0. Voor technisch personeel is sprake van categorie 1 tot 2A.

Bij **“gesloten systeem” luchtdesinfectie** met UVC is de (meestal zware) bron ingebouwd in een luchtkanaal, of achter een UVC-dichte jaloezie geplaatst en daarmee van gebruikers afgeschermd. Voor normale gebruikers is sprake van categorie 0 en voor technisch personeel van categorie 1 tot 2B.

7.2.2.3 *Desinfectie van water*

Net als bij de optische desinfectie van lucht en oppervlakken worden vaak lagedruk kwiklampen (UV TL-buizen) met een emissiepiek op 254 nm (kortgolvig UVC) gebruikt. Ook worden wel midden- en hogedruk kwiklampen toegepast om grotere vermogensdichtheden te bereiken (tot enkele tientallen kW/m³). Waterdesinfectie vindt over het algemeen plaats in gesloten reactoren (veelal roestvrij-staal). Eventuele zichtvensters moeten volgens de machinerichtlijn UV-ondoorlaatbaar worden uitgevoerd, zodat er voor normale gebruikers sprake is van categorie 0.

7.2.2.4 *Fluorescentie-onderzoek*

Zie 7.2.9.2.

7.2.2.5 Grafische processen

Zoals ook is beschreven onder “droogprocessen” (zie 7.2.2.1) wordt de laatste jaren in nog steeds toenemende mate gewerkt met inkt en lakken die uitharden (of drogen) onder invloed van UV-straling (fotochemische droging/uitharding, Engelse term “*photo curing*” of “*UV-curing*”). De voordelen zijn evident, door de zeer snelle droging waarbij het produkt relatief weinig opwarmt, kunnen meerkleurendrukprocessen op moeilijke ondergronden zoals kunststoffen zeer snel worden uitgevoerd. Er zijn ook enkele punten waar goed op moet worden gelet om nadelige gezondheidseffecten te vermijden:

- Door huidcontact met niet-uitgeharde inkt of coatingsmaterialen kan huidirritatie of zelfs sensibilisering ontstaan (met latere allergie-achtige verschijnselen tot gevolg).
- Door inhalatie van stofdeeltjes of vernevelde niet-uitgeharde inkt of coatingsmaterialen kan schade ontstaan aan het ademhalingsstelsel, de ogen of de huid.
- Inhalatie van ozon (zie ook 4.3.3, 7.2.2.6 en 8.3.1).

Deze problemen zijn vanuit de branche zelf reeds lang onderkend (13) en in Europees verband aangepakt door RadTech Europe (RTE, zie ook Bijlage C). RTE is een organisatie die het gebruik promoot van UV- en elektronenstraal-technieken (afkorting EB, naar het Engelse “*Electron Beam*”). Door RTE is een “*Joint Protocol on improved conditions of use of UV - Technology in the printing and coating industry in Europe*” opgesteld. Dit vaak als “*Radtech UV-Protocol*” aangeduide document was per 18 oktober 2005 reeds ondertekend door nationale instituten aangaande ARBO-aspecten uit Duitsland, Groot-Britannië, Frankrijk, Italië, Zwitserland, Spanje en België (28, 29).

7.2.2.6 Reiniging van oppervlakken

Zeer kortgolvlige UVC-straling kan worden gebruikt om voorgereinigde oppervlakken te ontdoen van de laatste resten organische vervuiling (zoals vingervet of een oliedeklaag, etc.). Het belangrijkste mechanisme hierbij is oxidatie door vrije zuurstofradicalen. Deze vrije zuurstofradicalen worden enerzijds gevormd door de modificatie van zuurstofmoleculen onder invloed van UV-straling (waarbij als reactieproduct ozon ontstaat) en anderzijds door het weer uiteenvallen van ozon (dat instabiel is).

Voor dit soort toepassingen worden logischerwijs “ozonvormende” lampen gebruikt (nu meestal nog kwiklampen met een kwartsomhulling die de 185 nm kwiklijn nog doorlaat, maar excimerlampen zijn in opkomst).

Niet alleen uit veiligheidsoverwegingen, maar ook vanwege het vermijden van (her)vervuiling vinden dit soort processen nagenoeg altijd plaats binnen afgeschermdes behuizingen die zijn voorzien van een interlock schakelaar in de toegangsdeur. Stralingstechnisch is voor de gebruiker dus sprake van categorie 0 tot 1.

Uiteraard dient eventueel vanuit het proces weglekkende ozon wel te worden afgezogen en afgevoerd.

Oppervlaktereiniging d.m.v. lasers is ook mogelijk. Dit zijn processen waar vaak “uit de hand” gewerkt wordt en waarbij zowel de laserklasse als de

lasergolfenlengte en de reflectie-eigenschappen van het oppervlak goed in beschouwing moeten worden genomen. Voor een veiligheidsanalyse hiervan moet verder de benadering gevolgd worden zoals die voor lasers in het algemeen geldt. Bij het ontbreken van verdere gegevens moet worden uitgegaan van categorie 2B.

7.2.2.7 *Spuiterijen*

In spuiterijen worden soms IR-lampen toegepast om de opgespoten laklaag sneller te laten drogen. Het betreft hier vaak omvangrijke installaties (die zijn samengesteld uit meerdere armaturen) met een groot totaal vermogen dat wordt verdeeld over een groot oppervlak (b.v. een autospuitcabine waarin een auto rondom bestraald wordt). Over het algemeen wordt de IR-droging pas gestart ná het spuitproces, waardoor de bestraling van personen eenvoudig valt te vermijden. Door toepassing van een interlock schakelaar op de toegangsdeur valt eenvoudig een situatie te scheppen die valt in categorie 0. Ook bij bestraling tijdens spuiten bestaat normaal gesproken geen kans op een overmatige IR-blootstelling van huid of ogen omdat bij dit soort werkzaamheden huid en ogen afgedekt zullen zijn door beschermende kleding en een spuitmasker of bril.

7.2.2.8 *Verlichting (zeer sterke bronnen)*

Normaal gangbare lampen (zoals TL-, PL-, gloeilampen en halogeenlampen) die zijn ontworpen voor algemene verlichtingsdoeleinden, geven geen problemen en vallen in categorie 0. TL-, PL- en halogeenlampen die zijn bedoeld voor de productie van UV-straling vallen hier natuurlijk niet onder.

Er zijn daarnaast zware lampsoorten die weliswaar bedoeld zijn voor verlichtingsdoeleinden maar toch wel degelijk voor problemen kunnen zorgen als ze niet op de juiste wijze worden toegepast (b.v. plaatsing in een verkeerd armatuur of op een te geringe afstand) of als ze beschadigd raken. Typische voorbeelden zijn hogedruk kwiklampen, metaalhalide-lampen of hogedruk natriumlampen voor zware verlichtingsdoeleinden. Een lantaarnpaal uitgerust met een natriumlamp (typisch vermogen 1000W) is veilig ontworpen en valt in categorie 0. Dezelfde 1000W natriumlamp gemonteerd in een open opstelling op een labtafel valt echter in categorie 2A. De vermogens van dit soort lampen beginnen veelal pas bij 150W voor de kleine modellen en kunnen oplopen tot enkele kW voor de grote modellen.

Hogedruk kwiklampen, metaalhalide-lampen en hogedruk natriumlampen zijn allen booglampen met sterke karakteristieke spectraallijnen, waarvan sommige buiten het zichtbare gebied vallen. Bij kwiklampen en metaalhalide-lampen vormt onbedoelde UV-emissie een valkuil. Tevens is de lampboog-emissie zo fel geconcentreerd dat het onbeschermd oog bij direct nabij zicht op de lamp ook fotochemische schade kan ondervinden door zichtbaar blauwe licht ("Blue Light Hazard", zie ook 5.1).

Natriumlampen vertonen naast de karakteristieke gele pieken op 570, 585 en 595 nm ook een nog sterkere piek op 830 nm (onzichtbaar IRA). Niet alle

zonnebrillen zijn even sterk absorberend op die golflengte en dichroïsche reflectoren zijn vaak zelfs speciaal ontworpen om zo'n piek door te laten.

Personen die dit soort lampen installeren of er werkzaamheden aan (of nabij) uitvoeren dienen op de hoogte te zijn van de specifieke lampeïenschappen. Over het algemeen zijn in de lampverpakkingen van gerenommeerde fabrikanten ook bijsluiters aanwezig die dit soort eigenschappen in meerdere talen vermelden. Categorie 1 tot eventueel 2A.

7.2.3 Gezondheidszorg: Lasers

Belangrijke aandachtspunten bij met name medische lasertoepassingen zijn: Er wordt dikwijls 'uit de hand' gewerkt in een open operatiegebied. De richting van de laserstraal is dan niet vast zodat de kans op het onbedoeld treffen van iemand of iets, direct of via een reflectie, groter is.

Bij het nemen van maatregelen om te voorkomen dat het openen van toegangsdeuren tijdens een laserbehandeling gevaar kan opleveren moet worden afgewogen dat het uitschakelen van de laser als een toegangsdeur onbedoeld wordt geopend ook risico kan geven: een behandeling zoals coaguleren om bloeding tegen te gaan wordt onbedoeld gestopt.

Medische materialen zoals afdekmaterialen in de directe omgeving van het operatiegebied kunnen in brand vliegen.

De combinatie van anesthesie met een operatie in of nabij de luchtwegen geeft het risico van een brand in de luchtweg van een patiënt.

Een patiënt die onder anesthesie is heeft een 'reflexloos' oog, hetgeen de kans op schade verhoogt (oogsluitreflex en afwenden hoofd gaan niet).

Bij laserbehandeling kunnen schadelijke biologische en toxische stoffen vrijkomen in de vorm van laserrook. Deze dienen te worden afgezogen.

Schade die optreedt bij incidenten met lasers betreft directe schade aan patiënten, behandelaars en omstanders zoals de al genoemde oog- en huidschade en het optreden van een brand in de luchtweg, maar ook indirecte schade door een niet-correct uitgevoerde behandeling. Voorbeelden die de afgelopen tijd in de publiciteit zijn geweest betreffen vooral incidenten bij refractiechirurgie en bij dermatologische behandelingen. Bij een dergelijk incident treedt dikwijls blijvende schade op. Zo kan bij gezichtsscherptebehandeling (refractiechirurgie) een duidelijke verslechtering in plaats van verbetering van het zicht optreden. Ook kunnen bij een dermatologische laserbehandeling huidtumoren worden gemaskeerd met vergroting van de kans op een te late start van een oncologische behandeling.



Figuur 33 Ontharingsbehandeling d.m.v. laser waarbij de laserkop direct op de huid wordt gedrukt. De voor het oog totaal onzichtbare laserstraling (790-830nm) is met de camera zichtbaar gemaakt waardoor de sterke onderhuidse verstrooiing van de laserpuls over een groot gebied duidelijk te zien is. Noot: De flits is intenser dan op deze foto lijkt, de camera is ca. 30x zo ongevoelig voor de laserstraling dan voor zichtbaar licht!
Foto genomen tijdens luchtmonsternamen bij gezicht/schouder van een huidtherapeute tijdens een TNO-onderzoek naar laserrook.

Op enkele uitzondering na (zoals de ontharingslaser in fig. 33) beschikken medische lasers over een richtlaser zodat de behandelaar vóórdat de laser wordt geactiveerd weet waar het weefsel zal worden geraakt. Dergelijke richtlasers kunnen vermogens tot 5 mW uitzenden en dienen per definitie door de veiligheidsbril van de behandelaar te kunnen dringen (anders kan deze de richtlaser immers niet zien). Onderzoek aan een aantal mogelijke typische worst-case risico-scenarios met directe reflecties op chirurgische instrumenten heeft aangetoond dat gangbare medische richtlasers tot 5 mW bij normaal gebruik géén risico vormen voor oogschade voor de chirurg (21).

7.2.4 Gezondheidszorg: Incoherente bronnen

7.2.4.1 IR-therapie

IR-therapie wordt met name ingezet ter bestrijding van diverse aandoeningen zoals spierpijn en algemene stijfheid. Ook kan verlichting worden bereikt voor sommige reumatische aandoeningen. Hierbij is de behandelaar vaak een fysiotherapeut.

IR-bestraling kan ook als hulpmiddel worden ingezet voor hyperthermie-behandelingen (waarbij het lichaam bewust en onder medisch toezicht op een hogere temperatuur wordt gebracht). Dergelijke behandelingen zitten niet in het standaard assortiment van elk ziekenhuis maar zijn beperkt tot academische centra. Ze worden meestal gegeven als onderdeel van kankerbestrijding en vinden plaats onder leiding van een specialist.

Er zijn sterke aanwijzingen dat roodlicht en/of IRA-straling wondgenezing kan bevorderen, het achterliggende mechanisme is echter nog niet eenduidig ontrafeld en deze therapeutische toepassing (waarbij LEDs als bronnen worden gebruikt) bevindt zich nog in de kinderschoenen (6, 42).

Therapeutische IR-bestraling vindt over het algemeen plaats op de huid en de ogen worden indien nodig beschermd. Over het algemeen wordt de patiënt niet blootgesteld aan een IR-dosis die de ICNIRP blootstellingslimiet overschrijdt en is ook voor de behandelaar sprake van een categorie 0 situatie. Bij hyperthermie (bewust verhogen van de lichaamstemperatuur van de patiënt) wordt de temperatuur van de patiënt over het algemeen bewaakt.

7.2.4.2 UV-therapie

UV-therapie wordt met name ingezet ter bestrijding van diverse huidziekten zoals psoriasis, pruritis en vitiligo. Hierbij wordt de patiënt bewust blootgesteld aan een hoge UV-dosis die de ICNIRP blootstellingslimiet overschrijdt. De behandelend arts moet dus beoordelen of de (gunstige) resultaten die met UV-therapie kunnen worden behaald opwegen tegen de bijkomende nadelen. De acute bijwerkingen (huidverbranding) worden tijdens de behandeling zo minimaal mogelijk gehouden door vooraf de individueel variërende huidgevoeligheid (z.g.n. Minimal Erythematol Dose of MED) met een “getrapte” testbestraling te meten.

Van patiënten kan niet verwacht worden dat deze bekend zijn met eventuele risico's op de langere termijn, hun belangen dienen daarom meegenomen te worden door de “gebruikers”. Er is een therapeutische richtlijn (24).

De EU-richtlijn optische straling gaat niet over patiënten (dat zijn immers geen werknemers). Wanneer echter alleen de huid therapeutische bestraling nodig heeft dienen de ogen van de patiënt wel beschermd te worden als die van een omstander in de zin van de richtlijn (44). Een goed afsluitende, op de apparatuur afgestemde bril is dus nodig.

Over het algemeen wordt gewerkt met cabines ter grootte van een kleine telefooncel waarin de patiënt rechtop staat (dus achter een gesloten deur), maar ook van bovenaf bestraalde UV-bedden komen voor (deze zijn meer “open”). In de meeste gevallen blijft de behandelaar buiten het bestralingsveld (therapiebedden stralen meer naar de omgeving dan cabines, maar let wel op plafondreflecties vanuit de open bovenkant van cabines).

Er is echter een niet te onderschatten aantal patiënten met angst voor nauwe gesloten ruimten (claustrofobie) die alleen behandeld kunnen/willen worden wanneer de behandelaar de cabinedeur open laat staan. In sommige (extreme) gevallen kan de angst alleen overwonnen worden als de behandelaar bij de deur blijft staan. Deze dient dan huid en ogen goed te beschermen (zeker bij UVB-bestralingen).

Zowel voor hun eigen veiligheid als die van hun patiënten, dienen artsen alsmede het betrokken medisch- en technisch personeel te weten hoe ze veilig met hun UV-therapie apparatuur om moeten gaan.

Noot: De richtlijn optische straling gaat wettelijk gezien alleen over de veiligheid in de werksituatie.

7.2.5 Handel, Horeca en Amusement

7.2.5.1 Algemeen verbreide apparatuur

Lasers en LEDs worden in winkels uitgebreid toegepast voor het scannen van barcodes. Andere plaatsen van toepassing zijn magazijnen en bagageafhandeling plaatsen op luchthavens. Hierbij kan over het algemeen volstaan worden met zodanig lage vermogens dat schade door onbedoelde blootstelling niet voorkomt.

Categorie: 0

In de handel en andere werkomgevingen zoals kantoren worden veel laserprinters toegepast, waarin de laser zodanig is afgeschermd dat de bundel bij normaal gebruik (inclusief wisselen van cartridges, etc.) ontoegankelijk is.

Categorie: 0

Een laatste apparatuursoort die hierbij te vermelden valt zijn optische afstandsbedieningen en andere informatiezenders bij ICT systemen. Ook hierbij is kans op schade klein door de lage vermogens die worden gebruikt

Categorie: 0

7.2.5.2 Amusementssector: Blacklight

“Blacklight” verlichting is een populaire aanduiding die over het algemeen wordt gebruikt voor UVA-kwiklampen met een emissiepiek op 365 nm. Zoals wordt uitgelegd in sectie 5.3, kunnen kleine spectrale bijdragen op kortere golflengten de biologische effectiviteit van dit soort lampen enorm beïnvloeden. “Blacklight” is niet inherent veilig en in veel werksituaties waar dergelijke armaturen dienen als verlichting (b.v. soms in discotheken) worden bij 8-urig verblijf de blootstellingslimieten overschreden. Bij installatie van dit soort systemen dient men er zich door biologisch gewogen metingen van te overtuigen dat de blootstellingslimieten niet worden overschreden.

Medicijngebruik kan soms leiden tot verhoogde fotogevoeligheid (zie 5.3.3).

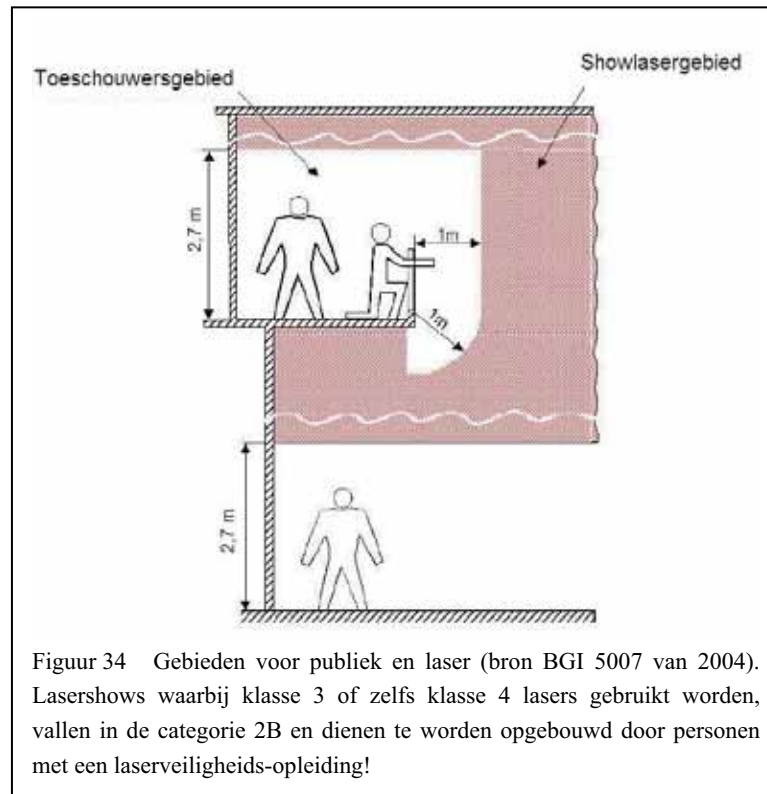
7.2.5.3 Amusementssector: Lasershows

Bij openluchtshows en festiviteiten worden vaak lasers gebruikt om mooie lichteffecten te verzorgen. Naast een afleidend effect, dat een risico is voor met name de luchtvaart, kan ook lichtschade optreden als de afstand tot de waarnemer klein genoeg is en/of de het stralingsniveau van de laser hoog genoeg is. Omdat bij dit soort toepassingen per definitie altijd zichtbaar licht gebruikt wordt, zal de waarnemer een lichtreflex hebben.

De laserklassen van de gebruikte apparatuur verschilt, maar loopt op tot de hoge klassen (3R, 3B en 4) waarbij oogschade mogelijk is. In Duitsland is het document BGI 5007 ‘Laser-Einrichtungen für Show- oder Projektionszwecke’ voor deze toepassingen als richtlijn (Berufsgenossenschaftliche Informationen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit) uitgegeven door de BGFE (Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik). Hierin worden voorschriften gegeven voor bereiken en afstanden van de laseropstelling (zie ook figuur 34),

beschermingsmaatregelen voor opbouw en constructie, en organisatorische maatregelen. Hierbij wordt ook aandacht besteed aan kennis en opleiding van de betrokken medewerkers.

Categorie: 1 tot 2B (categorie 2B wanneer lasers van klasse 3B of 4 worden toegepast, waarbij degene die het systeem opzet dus niet alleen gevaren voor zichzelf moet kunnen beoordelen maar ook voor het publiek).



Figuur 34 Gebieden voor publiek en laser (bron BGI 5007 van 2004). Lasershows waarbij klasse 3 of zelfs klasse 4 lasers gebruikt worden, vallen in de categorie 2B en dienen te worden opgebouwd door personen met een laser veiligheids-opleiding!

7.2.5.4 Display's en mededelingsborden

LEDs worden steeds vaker toegepast in displays en mededelingsborden (b.v. langs de weg). Dergelijke borden bieden geen kans op oogschade voor automobilisten. Voor personen die dit soort borden schoonmaken of er van dichtbij reparaties aan verrichten, is er ook geen kans op oogschade maar kan de kans op struikelen of vallen worden verhoogd door zichthinder vanwege het felle licht (e.v.t. nabeelden). Categorie: 0.

7.2.5.5 Reclame (laserprojectie)

Bewegende lasers worden soms gebruikt voor het schrijven van reclameboodschappen op gebouwen of wolken. Zie verder 7.2.5.3.

7.2.5.6 Sauna's

Voor wat betreft traditionele sauna's bestaat er vanuit het oogpunt van optische straling zowel voor personeel als klant geen probleem en is er sprake van een categorie 0 situatie.

Infraroodsauna's vormen een complexer verhaal. Voor het personeel is er ook hier bij de normale werkzaamheden sprake van een klasse 0 situatie.

De klant komt echter speciaal om zich relatief langdurig te laten bestralen. In geval van IRA-lampen kan de onzichtbare straling van 780 – 1400 nm het netvlies bereiken. De grootte van het stralende vlak is daarbij mede bepalend voor eventuele effecten op het netvlies (hoe groter het stralend oppervlak, hoe groter de kans dat het oog er lang op rust). IRA-stralers die in IRA-saunacabines worden ingezet liggen qua bestralingssterkte echter ver onder de door ICNIRP aanbevolen blootstellingslimieten (34).

Noot: De richtlijn optische straling gaat wettelijk gezien alleen over de veiligheid in de werksituatie.

7.2.5.7 Solaria

Er zijn verschillende categorieën solaria. Bij de zwaarste categorie (in de volksmond “zonnekanon”) is het onverstandig om tijdens bedrijf werkzaamheden te verrichten nabij het solarium. Bij de lichtere apparatuur is er eigenlijk geen probleem wanneer men niet in de stralers kijkt en alleen langs de apparaten loopt. De trend is reeds jarenlang een overgang naar steeds zwaardere apparatuur.

Solariumpersoneel bevindt zich bij werkzaamheden tussen in bedrijf zijnde apparaten tenminste in een categorie 1 situatie. Wat echter nog veel belangrijker is, is dat de kwaliteit van het advies van solariumpersoneel direct impact heeft op de veiligheid van de klant (deze ontvangt immers directe bestraling). Daarom dient solariumpersoneel per definitie op de hoogte te zijn van de eigenschappen van verschillende huidtypen en van de fotochemische werking van populaire medicijnen of ander fotogevoelige stoffen. Zowel voor hun eigen veiligheid als die van hun klanten, dient solariumpersoneel alsmede leveranciers en e.v.t. betrokken technisch personeel te weten hoe ze veilig met apparatuur om moeten gaan. STEZON verzorgt cursussen over het verantwoord omgaan met solaria.

Noot: De richtlijn optische straling gaat wettelijk gezien alleen over de veiligheid in de werksituatie.

7.2.5.8 Vals-geld detectie

Een deel van de echtheidskenmerken van bankbiljetten is aangebracht in de vorm van bedrukking met fluorescerende inkt. Er zijn tevens verschillende golflengtegebieden waarbij verschillende kenmerken tevoorschijn komen. Het overgrote deel van de apparaten voor dit soort toepassingen heeft een halfopen constructie en is voorzien van een laagvermogen UVA lagedruk-kwiklamp (klein TL-buisje of PL-lampje). De opstelling is typisch binnen handbereik van de medewerker en zodanig dat deze het biljet er gemakkelijk onder kan leggen en tegelijk gemakkelijk schuin van bovenaf op het biljet kan kijken. Er zijn ook LED-apparaatjes op de markt met typisch een blauwe nog net zichtbare piek op 405 nm of een net in het UVA liggende piek rond 385 nm. Gebruik volgens de handleiding is veilig (hooguit categorie 1).

Tevens zijn er bij professionele instellingen zoals banken ook apparaten die met UVC-fluorescentie werken. Hierbij is het uiteraard belangrijk dat er geen uittreding van UVC naar buiten optreedt en halfopen constructies zijn hierij dus niet geschikt. Er zijn echter apparaten te koop die volledig veilig

zijn en waarbij de gebruiker zelfs met het oog direct boven de gefilterde kijkplaat ook na 8 uur nog niet eens in de buurt komt van de blootstellingslimiet (categorie 0). Reparatie en onderhoud aan dit soort UVC-systemen moet worden overgelaten aan hiervoor opgeleide personen.

7.2.6 Hygiënische toepassingen

Zie voor desinfectie van oppervlakken en lucht verder 7.2.2.2, voor de desinfectie van water 7.2.2.3 en eventueel voor de optische reiniging van oppervlakken 7.2.2.6 (oppervlaktereiniging met UV).



Figuur 35 Typische horeca-situatie met gesloten UVC-luchtdesinfectie. De lucht wordt door een ventilator langs de UVC-lampen geblazen, alleen het “nevenprodukt” zichtbaar blauw licht en wat verwaarloosbaar UVA treedt uit. De gebruiker loopt bij een intacte behuizing geen enkel risico.

7.2.7 Warmhouden van voedsel

De horeca maakt veel gebruik van IR-warmhoudlampen voor voedsel. Hierbij is grofweg onderscheid te maken tussen IRA-stralers en IRB/IRC-stralers. Het onderscheid is met het oog zichtbaar, IRA-warmhoudlampen produceren meestal ook diepvroed zichtbaar licht en IRB/IRC-apparaten niet. In de praktijk zijn de lampen naar beneden gericht en moet men echt moeite doen om er in te kijken. Bij dit soort toepassingen is sprake van categorie 0.



Figuur 36 Typische horeca-situatie met langgolvige IRB/IRC stralers zonder zichtbare rode gloed (zie ook 6.2.2 onder het kopje “IR-lampen”)

7.2.8 Laboratoria: Lasers

7.2.8.1 Gesloten laseropstellingen

In meet- en detectieapparatuur wordt vaak gebruikt gemaakt van lasers maar deze zijn dan zodanig opgesloten, zoals bij consumentenapparatuur, dat bij er geen risico is bij het intact laten van het apparaat. Bij normaal gebruik is daarom sprake van een categorie 0 situatie. Indien bij openen de laserstraal toegankelijk kan worden, moet er via labels voor mogelijke risico's worden gewaarschuwd en gaat voor een onderhouds/reparatiewerker de categorie navenant omhoog (hoeveel hangt af van de laserklasse, zie ook 2.2).

7.2.8.2 Open laseropstellingen

Bij research is vaak sprake van open laseropstellingen. Mogelijkheden om een opstelling extra af te schermen worden lang niet altijd optimaal benut (25). De wetenschappelijke toepassingen van lasers zijn moeilijk te categoriseren. Bijna alle denkbare vermogens, pulstijden, golflengtes en vooral ook omstandigheden kunnen zich voordoen. Volgens een ILO rapport uit 1993 leiden lasertoepassingen voor wetenschappelijke doeleinden het meest tot ongelukken. Er zijn geen signalen op basis waarvan aangenomen kan worden dat dit gedurende de afgelopen tien jaar sterk veranderd is.

De categorie varieert tussen 0 en 2B (met name afhankelijk van laserklasse en omstandigheden). Bij open opstellingen met lasers vanaf klasse 3 kan men gevoeglijk spreken van klasse 2B situaties en dient er in ieder geval deskundig toezicht op de werkzaamheden te zijn.

7.2.9 Laboratoria: Incoherente bronnen

7.2.9.1 Forensisch onderzoek

Net als bij algemeen materiaalonderzoek gaat het hier veelal om fluorescentie onder invloed van UVA. Het grootste verschil is vaak dat hierbij een stof wordt opgebracht die zelf niet fluoresceert, maar dit pas doet wanneer een reactie plaatsvindt met de stof waarnaar men op zoek is. Een typisch voorbeeld is het m.b.v. UVA belichting zichtbaar maken van (soms minuscule) bloedsporen door middel van de stof Luminol. Zie voor de veiligheidsaspecten verder 7.2.9.2.

Naast UVA-fluorescentie wordt bij forensisch onderzoek ook wel gebruik gemaakt van IRA-bronnen in combinatie met speciale camera's. Een voorbeeld hiervan is de analyse van inktsoorten. Dit soort toepassingen valt over het algemeen in categorie 0.

7.2.9.2 Materiaalonderzoek

Hieronder vallen diverse industriële toepassingen zoals bijvoorbeeld:

- Materiaal- of textielonderzoek op vervuiling of onzuiverheden onder UVA-belichting (meestal geen fluorescerende stof als hulpmiddel nodig);
- Lasnaden-inspectie m.b.v. een fluorescerende stof en een UVA-lamp;
- Controle op scheurvorming m.b.v. een fluorescerende stof en een UVA-lamp;
- Controle op vloeistoflekkage m.b.v. een fluorescerende stof en een UVA-lamp.

Over het algemeen worden hiervoor bronnen gebruikt met relatief langgolvig UVA (typisch zijn b.v. kwiklampen met een selectief doorgelaten emissiepiek op 365 nm). Typisch vormt de eis $H_{UVA} < 10^4 \text{ J/m}^2$ over 8 uur werktijd de limiterende veiligheidsfactor (zie tabel 1.1 item b in de EU-Richtlijn optische straling). Ook als aan deze eis wordt voldaan is oogbescherming bij dit soort werk aan te raden.

Los van veiligheidsaspecten is het namelijk voor een maximale functionaliteit van het onderzoek meestal ook zeer gunstig om een speciale bril te dragen die de zichtbare fluorescentiekleur(en) zeer goed doorlaat en de rest van de optische straling uit de omgeving dempt. Dergelijke brillen worden over het algemeen gemaakt van polycarbonaat, hetgeen een uitstekend afschermmateriaal is tegen UV-straling (zie ook 8.5.1). Oogbescherming leidt hier dus niet alleen tot grotere veiligheid maar ook tot een beter werkresultaat. Huidbescherming (handschoenen, lange mouwen, etc.) is over het algemeen geboden, mede omdat de fluorescerende stoffen vaak ook huidproblemen of zelfs verhoogde fotogevoeligheid kunnen veroorzaken.

Dit soort werkzaamheden vallen typisch in categorie 1 (bij lichte, goed gefilterde bronnen) of categorie 2 (bij slechte filtering of bronnen in de orde van 150W of meer). Bij slechte wegfiltering van onnodige kortgolvlige UV-componenten is de biologische belasting onnodig hoog (zie ook sectie 5.3). Toch komt dit in de praktijk nogal eens voor. Zo geeft een Duits onderzoek m.b.t. werkplekken voor lasnaadinspectie (dit zijn typisch “zware” bronnen) aan dat bij onbeschermd werken met een slecht gefilterde lamp reeds binnen 5 minuten de blootstellingslimiet werd overschreden (12).

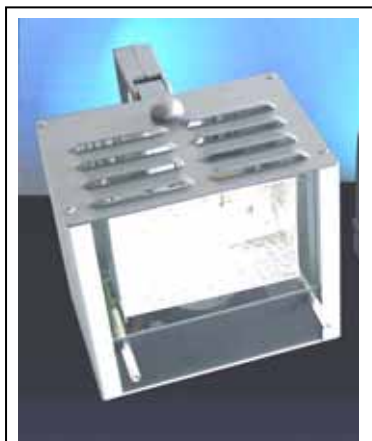


Fig. 37 Gefilterd industrieel UVA handarmatuur (100 W F-lamp met H1-filter)

foto Sadechaf UV-Techniek België

7.2.10 Kassenbouw

In kassen worden groeilampen op grote schaal toegepast om het fotosynthese-proces in planten te stimuleren. Het gaat hierbij over het algemeen om lampen die zodanig fel zijn dat men er zonder oogbescherming niet in wil kijken (en zeker niet langdurig). Logischerwijs worden deze lampen naar beneden gericht boven de planten geplaatst en meestal niet boven de looppaden.

Bij oriënterende metingen door TNO aan een populaire metaalhalide-groeilamp met extra blauw licht voor betere groeieresultaten (Philips HPI-T 400W) werd vastgesteld dat er enig UVA vrijkwam. Als worst case werd de lamp (expres tegen de waarschuwing op de lampbuisluiting in) in een open armatuur (dus zonder UV-filter) op 2,5 meter hoogte opgehangen. Op een afstand van 130 cm werd recht onder de lamp, gewogen volgens ICNIRP, een effectieve irradiantie gemeten van $0,05 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Dit komt neer op een maximale verblijftijd van 16 uur op deze redelijkerwijs als “worst case” aan te merken plaats. Tevens werd een “Blue Light Hazard” meting verricht op 130 cm afstand waarbij de meetopnemer recht in de lamp was gericht. Hierbij werd een effectieve radiantie gemeten van $26,9 \text{ mW}/\text{cm}^2/\text{sr}$. Dit komt neer op een overschrijding van de blootstellingslimiet binnen 0,4 seconden. Het betrof hier echter een zeer onwaarschijnlijke situatie.

Schuin inkijkend naar het centrum van de lamp werd op 1,5 m afstand van de verticale lijn onder de lamp $0,5 \text{ mW/cm}^2/\text{sr}$ gemeten. Dit komt neer op een overschrijding van de blootstellingslimiet binnen 20 seconden. Diffuse verdeling van het licht is hier een voorkeursoplossing die het oogrisico enorm verlaagt en de plantengroei nauwelijks verminderd. Oogbescherming door een zonnebril in plaats van diffuse armaturen is slechts in tweede instantie een oplossing. Deze situatie valt in categorie 1.

7.2.11 Defensie, politie en beveiliging

Bij defensie is vooral het gebruik van lasers van belang. Er zijn geen specifiek militaire potentieel gevaarlijke (incoherente) kunstmatige bronnen van optische straling bekend. Het aantal toepassingen van lasers groeit sterk. Er wordt voornamelijk gebruik gemaakt van lasersystemen met een golflengte in het (onzichtbare) infrarode gebied. Voorbeelden zijn: klein kaliber wapen schietbioscopen, tactische *simulatietrainingen* (vergelijkbaar met lasergames) en wapenrichtmiddelen. Deze laatste middelen worden voor *afstandmeting* of *doelaanwijzing* toegepast in wapensystemen van tanks, schepen, gevechtshelikopters en jachtvliegtuigen. Voor de speciale eenheden zijn er ook mobiele doelaanwijssystemen. Al deze hoogvermogen lasersystemen kunnen tot op vele tientallen kilometers gevaarlijk zijn voor het oog. Ook worden steeds meer lasers gebruikt tijdens strijdcondities voor optische communicatie via de vrije lucht i.p.v. het gebruik van radiofrequentiesystemen.

De omgeving kan invloed hebben op de gevaren die lasers kunnen veroorzaken, zeker bij militaire lasers die voornamelijk buiten worden gebruikt. Zo kan regen bijvoorbeeld natte oppervlakten veranderen in spiegels, waardoor reflecties optreden die kunnen verblinden. Bij het gebruik van vergrotende optische middelen zoals een verrekijker kan het blootstellinggevaar worden vergroot.

Om schadelijke effecten van lasers zoveel mogelijk te beperken worden aanwijzingen uitgevaardigd. Deze aanwijzingen gelden niet voor klasse 1 lasers. In de "*Richtlijn Laserstraling Defensie*" (HMA020) van het Nederlandse Ministerie van Defensie staat onder meer aangegeven aan welke regels het gebruik van lasers, binnen de krijgsmacht, gebonden is. Om dit gecontroleerd te laten verlopen is er aan elk lasersysteem een *laserveiligheidsvoorschrift* gekoppeld en moet voor de gebruikslocatie een *laserveiligheidsreglement* zijn opgesteld. Verder dienen de gebruikers van lasers voldoende opgeleid te zijn, zodat zij de bovengenoemde documenten kunnen toepassen. Uitgangspunt is dat risicovolle blootstelling aan laserstraling wordt voorkomen. Dit kan worden bereikt via het verzwakken van de bundel (filters), afscherming van de laserbundel (lasergevarenzone) en door persoonlijke beschermingsmiddelen (laserbrillen). Bij al deze maatregelen heeft de *laserveiligheidsofficier* een belangrijke rol.

Door het Britse Ministerie van defensie zijn risicoanalyse methoden ontwikkeld (MOD 1998) voor het gebruik van lasers tijdens militaire oefeningen. Hierbij worden ook risico's voor de bevolking betrokken.

Voor de Britse krijgsmacht wordt geschat dat meer dan 50.000 leden van het militaire personeel maar ook meer dan 50.000 leden van het burgerpersoneel wel eens risico loopt op verhoogde blootstelling aan optische straling, boven de blootstellingwaarden.

De toepassingen bij defensie vallen voor een groot deel binnen categorie 2. De te nemen maatregelen zijn sterk toepassingsafhankelijk en de risico's op mogelijke schade zijn relatief groot.

Voor beveiliging van objecten worden vaak bewakingscamera's gebruikt die ook gevoelig zijn in het nabij-infrarood. Als de objecten discreet verlicht moeten worden dan wordt gebruik gemaakt van infrarood lichtbronnen. In de regel zijn dat LED's met dominante golflengten van 800 nm tot 1000 nm, ook speciale natriumlampen kunnen echter worden gebruikt (zie ook "natriumlampen" onder 6.2.2). Dit licht is onzichtbaar voor de mens maar wordt wel "gezien" door de camera, waarvan de spectrale gevoeligheid doorloopt tot een golflengte van ongeveer 1050 nm. Potentieel probleem hier is dat de straling onzichtbaar is, zodat er geen natuurlijk oogreflex is als het stralingsniveau te hoog is.

Voor het controleren van biometrische kenmerken wordt gebruik gemaakt van (onzichtbare) optische straling. Een voorbeeld hiervan zijn de irisscanners. Deze worden gebruikt om personen te identificeren. De persoon moet in de irisscanner kijken waarna met behulp van voornamelijk nabij infrarode straling de reflectie van de iris gemeten wordt. Bij te hoge stralingsniveaus kan er oogschade optreden (39).

7.2.12 Overig

Voor beroepsgroepen of blootstellingssituaties die in het bovenstaande overzicht niet zijn vermeld, maar waar wel een bron wordt gebruikt die doelbewust UV- of IR-straling of zeer sterk zichtbaar licht opwekt, kan met behulp van de informatie over bronnen uit sectie 6.2 en diagram B uit sectie 2.2 een brongerelateerde inschatting worden gemaakt.

7.3 Optische straling als bijproduct

Met de term "optische straling als bijproduct" wordt bedoeld dat er een proces plaatsvindt waarbij optische straling geen essentieel middel is om dat proces te laten functioneren, maar ongewenst als bijproduct vrijkomt.

Dit kan natuurlijk ook opgaan voor verschillende delen van het spectrum. Zo zijn UV- en IR-straling als bijproduct te beschouwen in het geval van lampen die bedoeld zijn voor algemene verlichting.

Strikt genomen is de flauwe zichtbare blauwe glans van een UVC TL-buis ook optische straling als bijproduct, maar dit rapport is gericht op

veiligheidsaspecten en besteedt geen aandacht aan dit soort “omgekeerde” situaties (waar de bedoelde emissie schadelijk is en het bijproduct niet).

7.3.1 *Laserbewerkingen met secundaire emissie*

Onder bepaalde omstandigheden kan een aanzienlijke hoeveelheid UV-straling vrijkomen bij lasertoepassingen waarbij de primaire lasergolflengte helemaal niet in het UV-gebied ligt. Een voorbeeld is metaalbewerking met behulp van infrarode lasers (b.v. Nd:YAG of CO₂) met zeer snelle en krachtige pulsen (enkele kW). Boven het werkstuk ontstaat hierbij een plasma van metaaldamp dat door niet-lineaire effecten vervolgens UV-straling uitzendt. In extreme gevallen kan zelfs zachte röntgenstraling ontstaan (14). Dit fenomeen is gelukkig zeldzaam en geniet weinig bekendheid. Als het aan de orde is kan dit effect in de praktijk voor vervelende verassingen zorgen omdat beschermingsmaatregelen normaal worden ingericht op de lasergolflengte. In het infrarood zijn de toelaatbare blootstellingen voor huid en oog orde-groottes hoger dan in het ultraviolette gebied, zodat een relatief geringe bijproductie van UV-straling al snel problemen oplevert. Dit geldt vooral als op basis van de oorspronkelijke lasergolflengte alleen oogbescherming noodzakelijk lijkt. Dit fenomeen valt onder categorie 2B maar kan zich gelukkig praktisch alleen voordoen bij situaties die toch al tenminste in categorie 2A vallen.

7.3.2 *Lassen*

Afgezien van gespecialiseerde laser-lasprocessen (overwegend met klasse 4 lasers) vallen de “traditionele” lasprocessen op te delen in twee groepen, namelijk lassen met de vlam en elektrisch lassen (booglassen). In beide gevallen worden zonder beschermende maatregelen de blootstellingslimieten snel overschreden.

Wel is zo dat lassen met de vlam over het algemeen een duidelijk lagere effectieve irradiantie vertoont dan elektrisch lassen.

De onderstaande afbeelding toont het spectrum van een elektrische lasboog. Een voorbeeld van het spectrum van een acetyleen/zuurstof vlam is opgenomen in paragraaf 6.2.5. Bij elektrisch lassen hangt de biologisch effectieve irradiantie hoofdzakelijk af van de boogstroom, het beschermgas, het elektrodemateriaal en de te lassen metaalsoort. Bij dezelfde boogstroom produceert lassen aan aluminium bijvoorbeeld veel meer UV-straling dan lassen aan roestvast staal.

Lassers vormen de grootste beroepsgroep die blootgesteld worden aan gevaarlijke hoeveelheden UV-straling. De biologisch effectieve dosis van lasprocessen is zeer hoog en de tijd waarbinnen zonder beschermende maatregelen de blootstellingslimiet wordt overschreden ligt meestal in de orde van minder dan een minuut tot soms zelfs slechts enkele seconden. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de meeste lasers persoonlijke ervaring hebben met “lasogen” (fotokeratoconjunctivitis) en huidverbrandingen (erytheem).

UV-straling afkomstig van onafgeschermde werkplekken kan tot op enkele tientallen meters leiden tot het overschrijden van de blootstellingslimieten binnen minuten tot uren. Daarom moeten niet alleen de lassers zelf, maar ook helpers en eventuele omstanders beschermd worden. Lasgordijnen rondom de werkplek zijn beslist geen overbodige luxe. Indien meerdere lassers tegelijk

actief zijn, dient men hiermee terdege rekening te houden bij het opklappen van het masker voor verplaatsing van het werkstuk of inspectie van een las. Lasopleidingen besteden veel aandacht aan veiligheid en het Lasinstituut vormt hierbij een bron van kennis. Bij toepassing van de juiste maatregelen is de veiligheid gewaarborgd. Vandaar een indeling in categorie 2A.

7.3.3 *Puntlassen (elektrisch)*

Bij puntlassen zijn er géén problemen aangaande overschrijding van de ICNIRP blootstellingsniveaus voor optische straling. Oogbescherming is wel noodzakelijk, maar dit is vanwege rondspattende hete metaaldeeltjes. Optisch gezien is dit een categorie 0 situatie.

7.3.4 *Snijden (d.m.v. verhitting)*

De meest verbreide snijtechnieken door middel van verhitting zijn plasma-, autogeen- en lasersnijden. Bij alle drie deze technieken wordt een materiaal zo heet gemaakt dat het smelt. Er is dus sprake van een flinke IR-emissie, die op een niveau ligt dat bij langdurige blootstelling van de ogen kan leiden tot cataract. Deze IR-straling wordt echter ogenblikkelijk als sterke hitte door de huid gevoeld, zodat werkers een “waarschuwingssignaal” krijgen.

Bij alle drie deze technieken komt tevens UV-straling vrij (die men pas achteraf voelt en reeds bij veel lagere vermogens een rol speelt). Hoeveel UV-straling er vrijkomt hangt sterk af van het toegepaste vermogen, de materiaalsoort die gesneden wordt en eventuele beschermgassen. Enkele algemene aspecten zijn:

De UV-emissies bij plasmasnijden benaderen die bij booglassen, zie hiervoor verder 7.3.2.

De UV-emissies bij autogeensnijden liggen duidelijk lager dan bij booglassen en zijn vergelijkbaar met lassen met de vlam, zie ook hiervoor verder 7.3.2.

Bij lasersnijden overschrijden de emissies van de apparatuur per definitie de blootstellingslimieten. Veel lasersnij-apparatuur is echter opgesteld in lasercabines met een interlock-voorziening, zodat bij normaal gebruik sprake is van een categorie 1 situatie. Voor service/onderhoudswerkzaamheden kan een open systeem ontstaan, waardoor dan een categorie 2B situatie ontstaat. Bij open lasersnij-systemen zijn beschermende maatregelen noodzakelijk. Onder bepaalde (relatief zeldzame) omstandigheden kan secundaire emissie ontstaan met een veel kortere golflengte dan de laser zelf (zie 7.3.1).

7.3.5 *Sputten (onder verhitting)*

Bij sputten onder verhitting wordt een materiaal (meestal ingebracht in poeder- of draadvorm) verhit tot om en nabij het smeltpunt. Deze technieken zijn te onderscheiden in vlamspuiten, elektrisch verhit sputten en plasmasputten.

Bij vlamspuiten en elektrisch verhit sputten liggen de temperaturen tussen de 800 en 2800 °C (afhankelijk van het te versputten materiaal) en komt naar verhouding minder IR- en UV-straling vrij dan bij autogeen lassen of snijden. Dit soort processen vallen, zowel bij normaal gebruik als service/onderhoud, veelal in categorie 1 tot 2A.

Bij plasmaspuiten worden veel hogere temperaturen bereikt, waardoor de IR-emissie toeneemt, de kans op fotochemische schade door zichtbaar blauw licht ontstaat. Het vrijkomen van UV-straling vormt echter het grootste probleem. Over het algemeen valt plasmaspuiten, zowel bij normaal gebruik als service/onderhoud, in de categorie 2A.

7.3.6 *Smelt-, giet- en walsprocessen (metaal, glas)*

Bij smelt-, giet en walsprocessen van metaal komt een grote hoeveelheid IR-straling vrij en is er vaak tevens sprake van een groot stralend oppervlak.

Bij werken zonder afdoende oogbescherming bestaat op de lange termijn grote kans op grauwe staar (cataract) als beroepsziekte (36).

Voor werkers in deze omgevingen is oogbescherming dan ook noodzakelijk en deze situaties vallen in categorie 2A.

Een Canadese studie naar de oogblootstellingsniveaus van glaswerkers in 6 verschillende installaties (26) gaf aan dat de irradiaties voor het zichtbare gebied de limieten (TLV's) volgens de ACGIH/ICNIRP blootstellingslimieten overschreden bij alle onderzochte installaties. Bij handmatig glasblazen vanuit ovens werden de limieten voor het nabij infrarood (760 – 1100 nm) overschreden. Gesmolten soda-lime en kwartsglas straalden verder significante hoeveelheden langgolvig UVA uit maar deze emissies bleven onder de grenswaarden. Bij het werken met gesmolten glas dient de oogbescherming te zijn aangepast aan het proces en de verwerkte materialen. Deze werksituaties vallen in de categorie 2A.

Onderhouds- en reparatiewerkers komen zowel bij metaal- als glasverwerkende installaties zoveel verschillende situaties tegen dat sprake is van categorie 2B. Wanneer dichtbij de bron gewerkt wordt is huidbescherming meestal ook noodzakelijk.

7.4 Speciale aandacht voor onderhoud en reparatie

Ongeacht bedrijfstak of proces bestaat de meeste kans op problemen tijdens onderhoud en reparatie. De in dit rapport vermelde typische blootstellingsniveaus gelden voor normale omstandigheden, technici dienen echter altijd te weten wat er “onder de motorkap zit” vóóordat ze deze openen.



Figuur 31 UV-metingen in een medische droogkast met 254nm UVC lucht- en oppervlaktedesinfectie. Let op de met tape “gefopte” interlock schakelaar (zie pijl), die normaal gesproken de UV-lampen dooft bij opening van de deur. Oog- en huidbescherming is absoluut noodzakelijk bij dit soort werkzaamheden. Onbeschermd is hier binnen enkele minuten de blootstellingslimiet flink overschreden (“gevoel van zand in de ogen”).

Figuur 31 toont een voorbeeld waarbij een UV-droogkast bij normaal gebruik totaal geen optisch risico oplevert (categorie 0) maar waar bij storingzoeken en/of onderhoudsmetingen van een categorie 2B situatie sprake is.

Bij onderhoud en reparatie van gevaarlijke omkaste incoherente bronnen en laserapparatuur bestaan meestal hogere risico's dan tijdens de normale toepassing. Veiligheidsvoorzieningen zoals schakelaars op de omkasting moeten immers soms worden overbrugd. Vaak zal de bron ontdaan worden van de gehele omkasting, hetgeen naast stralingsrisico's ook elektrische risico's met zich mee kan brengen.

Werkzaamheden aan lasers zullen dikwijls worden uitgevoerd in een speciale laserwerkplaats of een anderszins hiertoe beveiligde ruimte. De werkplaats dient ingericht en uitgerust te zijn overeenkomstig de eisen zoals die gelden voor ruimtes waar lasers gebruikt worden. Belangrijke aandachtspunten zijn signaleringen bij toegangsdeuren, deursloten,

afscherming van vensters, aanwezigheid van brandblusmiddelen en het gebruik van een geschikte laserbril. Andere aandachtspunten zijn:

- Het (mogelijk) veranderen van de risicoklasse van de laser bij het verwijderen van de omkasting;
- Het voorkomen van reflecties van de laserbundel door gereedschappen en spiegelende oppervlakten;
- Het voorkomen van ontbranding van targetmaterialen en aanwezige reinigings- en oplosmiddelen;
- Bescherming tegen hoge elektrische spanningen en tegen röntgenstraling bij hoge voedingsspanningen;
- Bescherming tegen schadelijke stoffen (laservloeistoffen, kleurstoffen)

7.5 Voorbeelden van praktische situaties met limietoverschrijding

In deze sectie worden een aantal voorbeelden gegeven van praktische probleemsituaties. Dit soort problemen blijkt relatief vaak de aanleiding voor het invoeren van deskundige hulp en metingen ter plaatse. Het door de auteurs van dit rapport in de Nederlandse praktijk waargenomen patroon wordt verrassend eenduidig bevestigd door Duits onderzoek (35). De meest voorkomende problemen zijn:

- Emissie van straling in niet voor het werkproces benodigde spectrale gebieden

Voorbeeld: Bij een machine waarmee oppervlaktescheuren moesten worden opgespoord met m.b.v. een fluorescerende stof die oplichtte onder 365 nm UVA van een kwiklamp, werd ook bestraald met nutteloze kwiklijnen op 334 en 313 nm, waardoor jeukklachten aan de blootgestelde handen ontstonden (op de kortere golflengten van de voor de werktak nutteloze kwiklijnen zijn de biologische effecten namelijk veel sterker). Een juiste lampkeuze en/of goede filtering kan zulke problemen voorkomen.

- Beschadigde, verwijderde of door een verkeerd type vervangen filters

Voorbeeld: Een transparante kunststof ruit in de omkapping van een machine raakte door een vorkheftruck beschadigd en werd vervangen door een zelfgemaakte ruit uit een voorradige transparante plaat. Helaas was de oorspronkelijke ruit van lexan en de nieuwe ruit van UVA- en zelfs UVB-doorlatend acryl, resulterend in (gelukkig omkeerbare) oogklachten van een medewerker.

- Het op een ongelukkige manier opstellen van een bron

Voorbeeld: Bij een afvalsorteerbedrijf waren boven de toegangsdeuren (waarvan één naast een wasbak om de handen te wassen) UVC-desinfectie-armaturen zodanig aangebracht dat deze direct naar beneden straalden. Tijdens simulatie van handen wassen werd ter hoogte van de plaats waar een ontblote arm zich normaal zou bevinden, binnen slechts 8 seconden de dosislimiet overschreden van $30 \text{ J} / \text{m}^2$ die maximaal gedurende 8 uur mag worden opgelopen (35). De armaturen waren dan ook bedoeld om omhoog te stralen en niet naar beneden.

- Voor de gebruiker onverwacht sterke UV-straling uit “open vlam” processen
Voorbeeld: In een aantal verschillende situaties bleken werknemers die werkten met open acetyleen/zuurstof vlammen (zoals hardsolderen) of met open aardgas/zuurstof vlammen (zoals glassmelten) wel te weten dat ze afdoende oogbescherming moesten dragen (en dit ook te doen) maar waren daarbij niet op de hoogte van de UV-blootstelling van hun handen, armen en gezichtshuid, terwijl de limietwaarden binnen 1 tot 3 uur blootstelling werden bereikt.
- Elektrisch lassen (of helpen met vasthouden van een werkstuk) zonder laskap of zonder beschermende kleding
Dit is een zeer vaak voorkomende situatie, waarbij “het hulpje” vaak alleen het gezicht afwendt en met onbeschermden armen (of zelfs ontbloot bovenlichaam) hooguit handschoenen draagt tegen de hitte van het werkstuk. Booglassen zonder bescherming leidt meestal reeds binnen een minuut tot overschrijding van de blootstellingslimieten.
- Directe zichtlijn op zeer grote en/of zeer hete bronnen zonder beschermingsmiddelen
Voorbeeld: De blootstellingslimieten worden overschreden bij *onbeschermd* werken nabij hoogovens, in walsenrijen of bij smeltovens voor glas of metaal.

8 Inventarisatie/evaluatie risico's en beheersmaatregelen

8.1 Arbeidshygiënische strategie

Werkgevers hebben te maken met de arbeidshygiënische strategie uit de Arboret en Arboregelgeving. Deze gaat uit van de volgende aanpak:

- a) Toepassing van bronmaatregelen: Dit zijn maatregelen die het gevaar voor blootstelling zoveel mogelijk bij de bron voorkomen. Uiteraard dient de bron dan eerst op risico's ingeschat te worden. Om bronnen op gezondheidsrisico's te kunnen beoordelen zijn in dit hoofdstuk daarom een aantal vuistregels opgenomen (zie 8.3) en wordt tevens enige informatie gegeven over het meten van optische straling (zie 8.4). Bronmaatregelen zijn zeer belangrijk bij ontwerp en fabricage.
- b) Als de toepassing van bronmaatregelen redelijkerwijs niet mogelijk of niet toereikend is, dan worden andere maatregelen genomen om de blootstelling te beperken. Dit kan door aanpassing van het werk aan de mens, met name voor wat betreft de inrichting van de arbeidsplaats en de keuze van werk- en productiemethoden. In het geval van optische straling kan dit bijvoorbeeld inhouden: vergroting van de afstand tot de bron, beperking van de duur van de blootstelling of beperking van het aantal blootgestelde werknemers (groep niet groter dan nodig voor verrichting van de arbeid).
- c) Als dit alles redelijkerwijs niet mogelijk of niet toereikend is, dan wordt gebruik gemaakt van persoonlijke beschermingsmiddelen.

Aangezien dit rapport primair bedoeld is voor gebruik in de werksituatie, zal deze benadering worden uitgewerkt. Wel is het nuttig om kort te behandelen met wat voor eisen fabrikanten van machines te maken hebben.

8.2 Bronmaatregelen: de rol van fabrikanten

Fabrikanten van machines hebben te maken met de Machinerichtlijn, waaronder de norm EN 12198-1: 2000 valt. Hierin staat informatie over het nemen van beheersmaatregelen in hoofdbepaling 8.2 "*Choice of the appropriate measures*" met enkele voorbeelden in Annex C. Filosofie daarbij is dat fabrikanten risico's zo dicht mogelijk bij de bron proberen te ondervangen met gebruik van de stand van de techniek door:

1. Elimineren of voorkomen van blootstellingsrisico's door keuzes in het ontwerp. Indien dit niet mogelijk blijkt, dan kan achtereenvolgens worden overgegaan tot:
2. Reductie van het uitgestraalde vermogen;
3. Reductie door afscherming of andere technische middelen;
4. Vermindering van blootstelling door een scheiding te maken tussen de verwerkingseenheid en de bedieningseenheid;
5. Informeren van gebruikers over de resterende risico's en over de te nemen noodzakelijke maatregelen b.v. middels handleidingen.

Fabrikanten dienen producten verder zodanig te labelen en zodanige voorlichtingsmaterialen mee te leveren dat wordt voldaan aan de wettelijke eisen. Deze eisen staan in de Machinerichtlijn, de Laagspanningsrichtlijn en de produktnormen die op het betreffende produkt van toepassing zijn.

8.3 Hulp bij inschatting “gezondheidsrisico’s of niet”

8.3.1 *Vuistregels voor kunstmatige bronnen: lampherkenning*

De volgende beoordelingstips bieden enig houvast bij de beoordeling van kale lampen of andere bronnen waarvan niet zeker is wat de eigenschappen zijn (daarnaast kunt u vergelijken met de foto’s in paragraaf 6.2.2). Deze elementaire vuistregels vormen géén vervanging van vakkennis!

- Heeft de lamp één gloeidraad en geen verdere aansluitingen dan gaat het naar alle waarschijnlijkheid om een gloeilamp of halogeenlamp. In ieder geval zendt de lamp relatief veel IR-straling uit en (afhankelijk van de gloeidraadtemperatuur) ook zichtbaar licht en (daarbovenop afhankelijk van de glassoort) mogelijk ook enige UV-straling (speelt alleen bij halogeen een mogelijke rol). Bij reflector halogeenlampen met een ingebouwd venster voor de lamp opening gaat het naar alle waarschijnlijkheid om algemene verlichting. Halogeenlamp-armaturen die bedoeld zijn voor algemene verlichting zijn tegenwoordig normaal gesproken voorzien van UV-filters.
- Heeft de lamp een heldere omhulling en twee gloeidraden, dan gaat het naar alle waarschijnlijkheid om een gasontladinglamp. Voorzichtigheid is geboden, raadpleeg de bijsluiters of informeer bij de leverancier (uitzonderingen daargelaten zoals een gewone traditionele autokoplamp met aparte gloeidraad voor dimlicht en grootlicht).
- Als er geen gloeidraad te zien is dan gaat het naar alle waarschijnlijkheid om een booglamp. Het spectrum bevat dan steile lijnen en dat kan risico’s opleveren (zie ook 6.1.2). Voorzichtigheid is geboden, raadpleeg de bijsluiters of informeer bij de leverancier.
- Ligt er een kwikdruppeltje in de lamp dan is het een kwiklamp en moet u ervan uitgaan dat de lamp aanzienlijke hoeveelheden UV-straling uitzendt.
- Een TL-buis of PL-lamp met een glasheldere omhulling is naar alle waarschijnlijkheid een UVC-lamp en moet dus zondermeer als gevaarlijk worden beschouwd (ook als er geen waarschuwingssymbool op staat).
- Een TL-buis of PL-lamp die wel een fosforcoating heeft maar slechts een flets blauwig licht geeft (en veel minder dan bij een normale buis van eenzelfde vermogen) is naar alle waarschijnlijkheid een UVA- en/of UVB-lamp. Voorzichtigheid is geboden, raadpleeg de bijsluiters of informeer bij de leverancier.
- Een lamp met een zeer donkere paarsachtig gekleurde glasballon of glasbuis is naar alle waarschijnlijkheid een UVA-lamp. Voorzichtigheid is geboden, raadpleeg de bijsluiters of informeer bij de leverancier.
- Een lamp met een geheel spiegellend of dof metalig glanzend (de metaallaag kan zich aan de binnenkant van een glasachtige omhulling bevinden) of donkerrood oppervlak is waarschijnlijk een IR-lamp.

8.3.2 Overige algemene raadgevingen

- Bij lampen met een dubbele ballon dient de buitenste ballon vaak als filter voor ongewenste bijprodukten. Gebruik daarom zo'n lamp niet als de buitenste ballon beschadigd is (ook al doet hij het ogenschijnlijk nog prima).
- Gebruik nooit lampen uit laboratorium-apparatuur in verlichtingsarmaturen.
- Wanneer een onbekende lamp het niet lijkt te doen, kijk er dan nooit in voordat u weet wat u voor u heeft en wat voor bescherming nodig is.
- De ene lamp is de andere niet. Zeker voor speciale lampen die niet bedoeld zijn voor algemene verlichtingsdoeleinden geldt niet automatisch dat een lamp van een ander type een bruikbare vervanging vormt als de fitting past. Met name bij UV-lampen kunnen kleine spectrale verschillen grote verschillen in biologische effecten betekenen (zie ook 5.3).
- Het ene filter is het andere niet. Zeker voor speciale armaturen die niet bedoeld zijn voor algemene verlichtingsdoeleinden geldt niet automatisch dat een afdekkap van een ander type (of zelfbouw) een bruikbare vervanging vormt als de afmeting past. Met name bij UV-lampen kunnen kleine transmissieverschillen grote verschillen in biologische effecten betekenen (zie ook 5.3). Vervang filters en beschermkappen door originele materialen. Op het oog zijn IR- en UV-transmissieverschillen onzichtbaar!
- Als in een serviceluik of toegangsdeur een onderbrekingschakelaar is ingebouwd (Engels: "interlock switch") dan heeft dit een reden. Overbrug dit soort schakelaars alléén als u weet waar u mee bezig bent en uzelf (en eventuele anderen) voldoende heeft beschermd.
- Wees bij kortgolvlige UVC-bronnen naast de optische risico's ook alert op de risico's van ozon. De geur van ozon is een kenmerkende "elektrische" geur die ook vrijkomt bij pas gemaaid gras, vlak na een onweersbui met nabije blikseminslag of ook wel uit copieermachines of laserprinters. De maximaal toegestane ozonconcentratie voor een 8-urige werkdag (MAC-waarde) is $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (33).
- Sommige kunstmatige bronnen van optische straling kunnen erg heet worden en blijven dat ook na uitschakeling nog een tijd. Pas hiermee op.
- Raadpleeg een arts bij klachten zoals verlies van gezichtsvermogen, een gevoel van "zand in de ogen", huiduitslag of huidverbranding.
- Raadpleeg ook een arts wanneer er normaal nooit dit soort klachten optreden, maar deze opeens optreden (ook als dit tijdelijk is) nadat u (andere) medicijnen bent gaan gebruiken.

8.3.3 Vuistregels voor omgang met lasers

In principe moet alle belangrijke informatie over een laser niet alleen in de gebruikershandleiding staan, maar ook op het typeplaatje en/of bij de laseropening. Dit is via de EN-IEC 60825-normenreeks (aangewezen door de richtlijn) vereist. Uiteraard moet de laserklasse duidelijk zijn vermeld, maar daarnaast gelden moeten ook nog specifieke aanvullende waarschuwingsteksten zijn aangebracht. Voor verschillende laserklassen (zie ook 6.2.1) zijn onderstaand een aantal voorbeelden opgenomen.

In de praktijk komen ook nogal eens Amerikaanse lasers voor met indeling volgens de ANSI-norm (nationale Amerikaanse norm).



Fig. 38a Voorbeeld van Europees waarschuwingslabel volgens de norm EN-IEC 60825-1. Van hoofdlaser en richtlaser worden het vermogen en de golflengte vermeld, met daarbij het lasersymbool en een waarschuwing.

Bron: IEC



Fig. 38b Waarschuwingslabels volgens ANSI bevatten minder informatie.

De USA wijkt hiermee af van Europa.

Bron: American Laser Institute

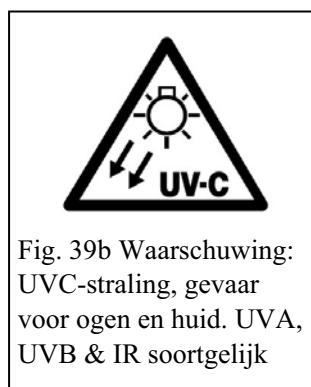
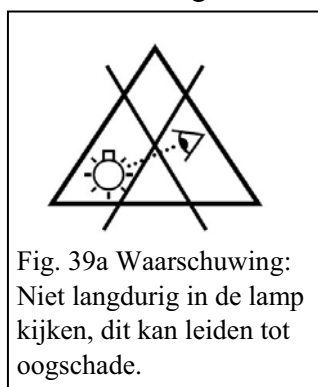
Risico's en beheersmaatregelen bij toepassing van lasers zijn, uit de aard van de opzet ervan, direct gerelateerd aan de laserveiligheidsklassen. Een laser kan zodanig door een omkasting worden omsloten dat attenderen op aanwezigheid pas relevant wordt bij het openen van de omkasting. Bij toepassingen waarbij een laserstraal met hoog vermogen door de open lucht en uit de vrije hand wordt gericht op (weefsel)materiaal zijn er grote risico's en dienen er beheersmaatregel op verschillende niveaus, technisch en organisatorisch, te worden genomen. IEC TR 60825-14 bevat nuttige informatie. Hieronder worden een aantal vuistregels gegeven die bij hogere laserklasse toenemend van belang zijn. Mogelijk te trekken grenzen liggen bij overgang van laserklasse 3R naar 3B, waarbij een gereede kans op oogschade ontstaat en bij de overgang van laserklasse 3B naar 4 waarbij het risico op huidschade en brand van materialen sterk wordt:

- Scherm de laserbundel zo veel als mogelijk af. Dit leidt tot lagere risico's, weerspiegeld in een lagere laserveiligheidsklasse.
- Gebruik een goede veiligheidsbril volgens EN 207 of EN 208 die is afgestemd op de golflengte van de gebruikte laser en voldoende bestand is tegen laserstraling bij onverhoopt treffen.
- Scherm vensters en kijkglazen af: een laserstraal dient de ruimte van toepassing niet onverwachts te kunnen verlaten (zie de normen EN 12254 en IEC 60825-4).

- Zorg voor de voorgeschreven signaleringen met waarschuwingen bij toegangsdeuren.
- Zorg voor een adequate afzuiging indien bij laserbehandeling gevaarlijke stoffen kunnen ontstaan
- Zorg voor een brandblusser en maatregelen/protocollen bij e.v.t. brand
- Wees alert op brandgevaar van bewust bestraalde materialen
- Wees alert op extra risico's bij reparatie en onderhoud
- Zorg voor een veiligheidsstructuur en –organisatie voor laserveiligheid, ingebed in algemene veiligheidsstructuur.
- Kennis van laserveiligheid, zoals m.b.t. effecten bij interactie van laserstraling met – (weefsel)materiaal is essentieel. Aanwijzing van een laserveiligheidsfunctionaris (dit kan de preventiemedewerker zijn) is aan te bevelen.
- Zorg voor goede werkprotocollen, aanvullend op gebruikersvoorschriften, en voor de benodigde opleiding en training van gebruikers.

8.3.4 Waarschuwingssymbolen

Er zijn diverse soorten waarschuwingssymbolen in omloop, de meest voorkomende **voor niet-coherente bronnen** (meestal zijn dit lampen) zijn onderstaand afgebeeld:



Het algemene waarschuwingssymbool **voor lasers** is:



Waarschuwinglabels en teksten op lasers zijn al behandeld in de voorgaande paragraaf 8.3.3. Zie voor een voorbeeld van een waarschuwing bij een LED-laser verder ook paragraaf 6.2.3.

8.3.5 *Software-modellen*

Meting en beoordeling van optische straling aangaande biologische invloed is over het algemeen een tijdrovende en kostbare aangelegenheid. Daarom is het voordelig om de informatie verkregen uit wetenschappelijk onderzoek zo goed mogelijk te gebruiken in modellen die praktisch houvast bieden door een redelijke afschatting aan de hand van enkele in te voeren gegevens (gegevens bron, verwachte blootstellingsduur, afstand waarop gewerkt wordt, etc.). Dergelijke modellen vormen in een groot aantal gevallen een prima hulpmiddel om te beoordelen of er sprake is van een veilige situatie. Als zo'n model aangeeft dat men in de buurt van de blootstellingslimiet komt kunnen metingen noodzakelijk zijn. Onderstaand worden enkele van dit soort methoden voor laser en incoherente bronnen behandeld.

De validatie van software modellen is niet altijd even duidelijk en de uitkomsten van berekeningen moeten altijd als indicatief beschouwd worden. Software modellen zijn slechts hulpmiddelen en vormen geen vervanging voor gezond verstand en kennis van zaken.

8.3.5.1 *Software-modellen voor laserveiligheid*

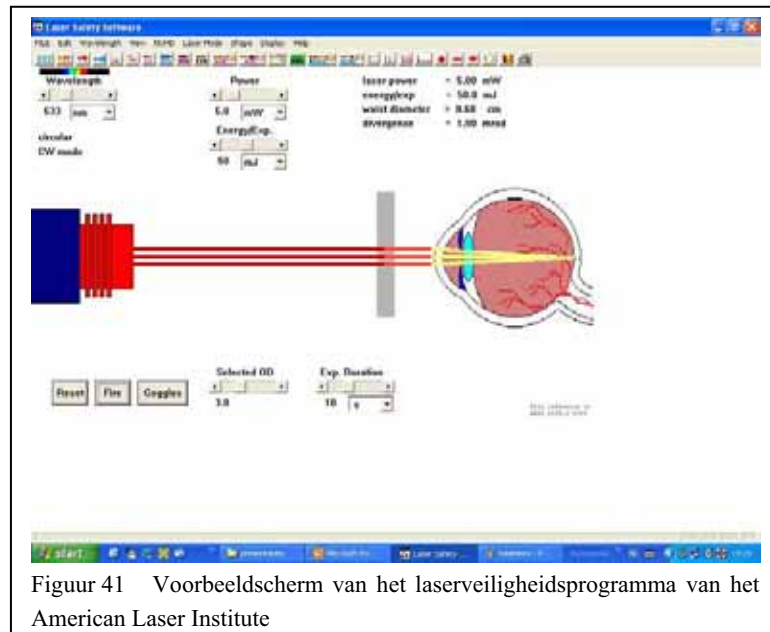
Typisch worden dit soort programma's gebruikt ter berekening van parameters zoals:

- Gevarenafstand voor het oog, ofwel **Nominal Ocular Hazard Distance (NOHD)**
- Maximaal toelaatbare blootstelling, ofwel **Maximum Permissible Exposure (MPE)**

Achtereenvolgens wordt een korte toelichting gegeven op de volgende software modellen voor laserveiligheidsberekeningen:

- Advanced Laser Hazard Evaluation Software (American Laser Institute)
- Laser Bee Laser safety Software (Lucid Optical Services LTD.)
- Risk Assesment of Laser Operations in Navigable Airspace of kortweg RALONA (TNO Defensie en Veiligheid te Soesterberg)
- Berekeningsprogramma Nationale Commissie Laserveiligheid

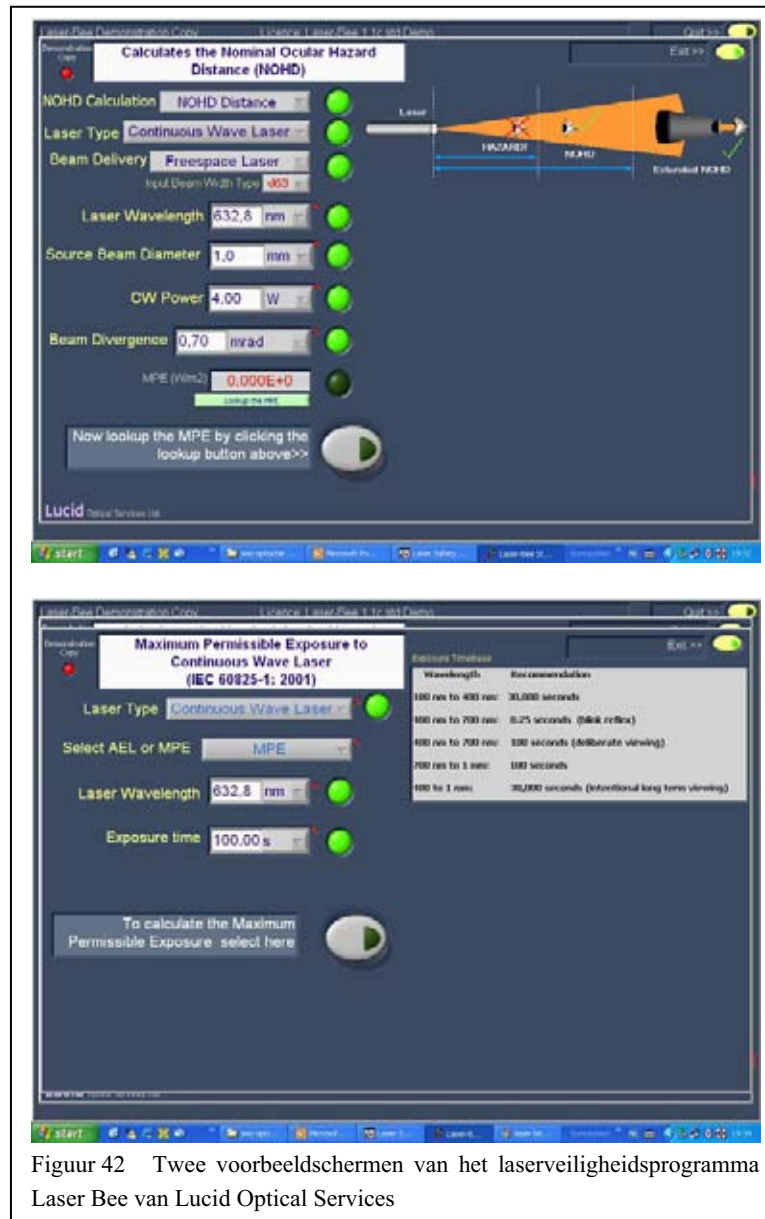
**Americam Laser Institute (LIA)
Advanced Laser Hazard Evaluation Software
LIA publication #316, ISBN 0-912035-80-3**



Figuur 41 Voorbeeldscrem van het laser veiligheidsprogramma van het American Laser Institute

Het programma is ontworpen als een hulpmiddel voor de ervaren laser veiligheidsfunctionaris. Er kunnen berekeningen mee worden uitgevoerd van de bundelirradiantie, blootstellingwaarden (MPE), de benodigde optische dichtheid van beschermingsmiddelen, de classificatie van lasers en de gevarenafstand NOHD. De berekeningen zijn gebaseerd op de USA norm ANSI Z136.1. Er zijn enige (maar beperkte) verschillen met de blootstellinglimieten uit de concept Europese Richtlijn. Bestelling is alleen rechtstreeks mogelijk via het American Laser Insitute.

Lucid Optical Services LTD.
Laser Bee Laser safety Software
Versie 2003



Figuur 42 Twee voorbeeldschermen van het laser veiligheidsprogramma Laser Bee van Lucid Optical Services

Ook dit programma is een hulpmiddel voor de ervaren laser veiligheidsfunctionaris. Naast berekeningen zoals de gevarenafstand en de benodigde optische dichtheid van beschermingsmiddelen wordt algemene informatie gegeven over soorten en classificatie van lasers. De berekeningen zijn gebaseerd op de Europese norm NEN-EN 60825, identiek aan de internationale norm IEC 60825. Verschillen met de blootstellinglimieten uit de Europese Richtlijn zijn zeer beperkt.

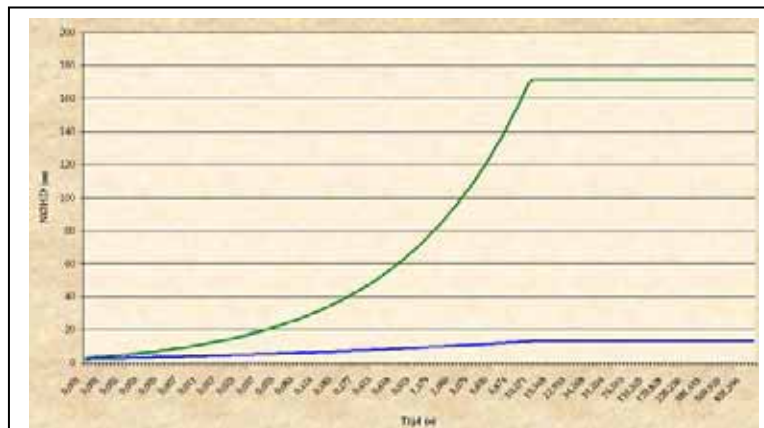
Bestelling is mogelijk via de Nederlandse vertegenwoordiger: firma Te Linteloo in Zevenaar.

Risk Assessment of Laser Operations in Navigable Airspace of kortweg RALONA.

TNO Defensie en Veiligheid te Soesterberg

Met RALONA (37) kan eenvoudig worden vastgesteld of het gebruik van laserapparatuur in de open lucht een veiligheidsnorm overschrijdt op een van de luchtvaartterreinen in Nederland. Als input wordt gebruikt de locatie van de vliegvelden, de locatie van de laser en de specificatie van de laser (vermogen, golflengte, puls/continu, divergentie, enz.). Hieruit worden gevarenczones berekend rond de locatie van de laser. Door vergelijking met de veiligheidszones rond de vliegvelden kunnen eventuele risico's worden signaleerd.

Berekeningsprogramma Nationale Commissie Laserveiligheid (NCL)



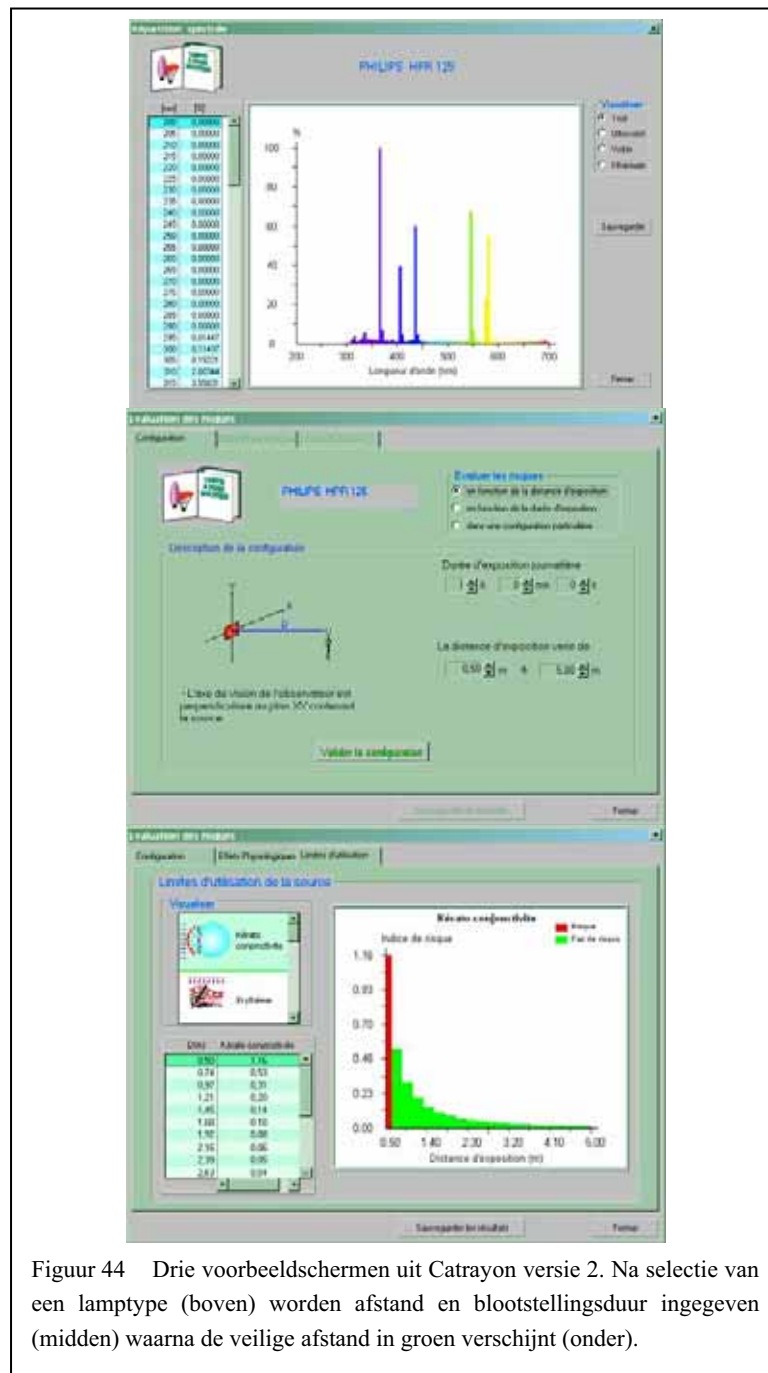
Figuur 43 Voorbeeld van een NOHD-berekening door de EXCEL rekensheet (in ontwikkeling) van de Nationale Commissie Laserveiligheid

Binnen de Nationale Commissie Laserveiligheid wordt gewerkt aan een berekeningsprogramma in de vorm van een Excel rekensheet en op basis van de blootstellinglimieten uit de Europese Richtlijn. Zoals in de twee bovenstaande programma's kan hiermee bij gegeven karakteristieken en vermogenswaarden van een laser de gevarenczones worden berekend en het effect van de optische dichtheid van een beschermingsmiddel.

Zodra dit programma vrijgegeven wordt voor gebruik, zal dit worden gemeld op de website van de Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica (NVKF).

8.3.5.2 Software-modellen voor incoherente bronnen (lampen, ovens, etc.)

Door het Franse instituut INRS werd het programma Catrayon ontwikkeld. Momenteel is versie 3 in ontwikkeling waarmee verschillende bronnen 3-dimensionaal in een virtuele werkruimte kunnen worden doorgerekend. Vanwege de uitgebreide mogelijkheden is de bediening van versie 3 vrij ingewikkeld. Versie 2 is veel gemakkelijker te bedienen maar kan slechts kale bronnen per stuk doorrekenen. Voor een eerste indruk aangaande een bron is dit echter vaak voldoende. De huidige versie 2 kent alleen Franstalige menus, in versie 3 kan worden gekozen tussen Frans en Engels.



Figuur 44 Drie voorbeeldschermen uit Catrayon versie 2. Na selectie van een lamptype (boven) worden afstand en blootstellingsduur ingegeven (midden) waarna de veilige afstand in groen verschijnt (onder).

8.4 Meting en beoordeling van blootstelling aan optische straling

8.4.1 Meten en beoordelen van kunstmatige bronnen

Onderstaand volgt een korte beschrijving van de belangrijkste normen die van toepassing zijn voor metingen aan lasers en incoherente bronnen, alsmede UV-straling uit zonlicht.

8.4.1.1 Meten en beoordelen van lasers

De norm EN-IEC 60825-1 'safety of lasers products – part 1: Equipment classification, requirements and user's guide' is de basisnorm voor laserveiligheid. Deze normenreeks wordt ontwikkeld door de Internationale Elektrotechnische Commissie (IEC) en is na goedkeuring door de CENELEC overgenomen als Europese norm. Dit gebeurt gewoonlijk ook met aanvullingen en nieuwe versies. In de EN-IEC 60825-1 staan ook meetmethoden weergegeven voor bepaling van laservermogen, gericht op bepaling van de laserveiligheidsklasse. In een tabel worden de waarden gegeven van meetdiafragma's en meetafstanden, met name in afhankelijkheid van de golflengte van de laser.

De toevoeging "-1" in het normnummer geeft al aan dat er nog meer delen zijn. Hierin zijn eisen vastgelegd voor specifieke lasertypes of toepassingen. De EN-IEC 60825-normenreeks wordt aangewezen door de EU-Richtlijn aangaande optische straling.

8.4.1.2 Meten en beoordelen van incoherente bronnen

De machinerichtlijn geeft samen met met de daaraan verbonden EN 12198-normenreeks een mogelijkheid tot indeling van machines in categorieën.

De EU-Richtlijn aangaande kunstmatige optische straling schrijft voor dat de EN 14255-normenreeks moet worden gebruikt voor de meting en beoordeling van incoherente optische stralingsblootstellingen van werkers.

In maart 2005 werd deel 1 van deze Europese normenreeks gepubliceerd, betreffende de veilige omgang met kunstmatige UV-bronnen (4). Deze norm werd samengesteld door de werkgroep 8 "photobiology" vanuit technische commissie TC 169 "Light and Lighting" van het Comité Européen de Normalisation (CEN).

De titel van de betreffende norm is EN 14255-1 "*Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation - Part 1: Ultraviolet radiation emitted by artificial sources in the workplace*".

De norm behandelt geen blootstellingslimieten, maar verwijst hiervoor naar nationale regelingen en internationale richtlijnen zoals ICNIRP. Deze werkwijze voorkomt dat er conflicten ontstaan bij eventuele aanpassingen in de blootstellingslimieten.

Waar het bij deze CEN-norm om draait is de manier waarop een aantal zaken georganiseerd dienen te zijn zoals:

- Werktaak analyse
- Meting van ultraviolette straling
- Beoordeling van de meetresultaten
- Besluitvorming omtrent beschermende maatregelen
- Vaststelling van de herhalingsfrequentie van de metingen

- Rapportage

Daarnaast worden overwegingen die een rol spelen bij de juiste keuzes met betrekking tot meetmethoden en meetinstrumenten uitgebreid toegelicht.

Uiteindelijk zal de EN 14255-normenreeks uit 4 delen gaan bestaan (46):

- EN 14255-1 “*Ultraviolet radiation emitted by artificial sources in the workplace*”

Dit 1^o deel verscheen in maart 2005 en is bovenstaand al beschreven.

- EN 14255-2 “*Visible and infrared radiation emitted by artificial sources in the workplace*”

Dit 2^o deel beschrijft procedures voor meting en beoordeling van persoonlijke blootstellingen aan kunstmatige bronnen van zichtbaar licht en infrarode straling met golflengten van 380 tot 3000 nm.^c De reden om, naast het UV-gebied, ook dit deel van het spectrum te behandelen is dat ook voor zichtbare en infrarode straling biologische schademechanismen bestaan (15, 17, 41), zoals:

- Blue Light Hazard (fotochemische schade aan het netvlies)
- Retinal Thermal Hazard (thermische schade aan het netvlies)
- Cataract (door thermische invloed)
- Thermische schade aan de huid (door optische straling)

Dit 2^o deel is in december 2005 verschenen.

- EN 14255-3 “*UV-radiation from the sun*”

Dit 3^o deel is niet relevant voor de EU-Richtlijn aangaande kunstmatige optische straling.

- EN 14255-4 “Quantities for the measurement of incoherent optical radiation exposures” – Dit vierde deel bevat informatie over eenheden, rekenregels en terminologie die toepasbaar is bij de drie voorgaande delen. Het vierde deel kan pas voltooid worden als de eerste drie klaar zijn.

8.5 Technische maatregelen aan de bron

8.5.1 Juiste keuze van de bronsoort

Primair is belangrijk dat de kale bron (lamp, LED of laser) zodanig moet worden gekozen dat deze goed bij het proces aansluit. Vooral het spectrum moet passen bij het gebruiksdoel (zie ook 7.5).

8.5.2 Afscherming en hiervoor veel gebruikte materialen

Alle optische straling (UV, VIS en IR) wordt zeer goed tegengehouden door constructiematerialen zoals hout, metaal, en steen. Sommige soorten keramiek zijn transparant in (delen van) het IR-gebied.

^c Voor de “Blue Light Hazard” geldt een iets ander golflengtebereik, namelijk 300 nm tot 700 nm.

8.5.3 Filtering

Wanneer ergens wel zicht op moet worden gehouden, maar zonder filtering oogschade ontstaat, worden vaak filtermaterialen gebruikt.

- Gewoon vensterglas is bruikbaar om zuivere UVC-bronnen (b.v. lagedruk-kwiklampen) af te schermen op een voor het oog doorzichtige manier. Gewoon vensterglas is echter minder geschikt als filter tegen UVB-straling en volkomen ongeschikt als filter tegen UVA-straling.
- Polycarbonaat (populaire benaming Lexaan®) is uitstekend geschikt als voor het oog doorzichtige afscherming tegen breedbandige UV-straling. Vanwege de hoge slagbestendigheid wordt dit materiaal tevens gebruikt als basis voor beschermbrillen, gelaatsmaskers en slagvaste ruiten. Het filtergedrag in het gebied tussen de 360 nm en de 400 nm hangt sterk af van de toevoegingen aan het polycarbonaat. Bij zware UVA-bronnen (b.v. met een 365 nm kwiklijn) is het dus wel nodig om vast te stellen of de transmissiecurve klopt bij de toepassing.
- IRA- en IRB-straling kan met verschillende optische filtermaterialen worden afgeschermd. Langgolvlige IRC-straling kan heel aardig worden afgeschermd met spiegelend metalen fijngaas.

Er zijn talloze filters in de handel. Drie belangrijke basiscategorieën zijn absorptiefilters, interferentiefilters en dichroïsche spiegels. Absorptiefilters absorberen stralingsenergie van een bepaald golflengtegebied en laten andere golflengten door. Deze filters warmen dus op door de geabsorbeerde energie. Interferentiefilters werken op basis van dunne coatinglaagjes die ervoor zorgen dat bepaalde golflengten veel sterker worden geabsorbeert of juist doorgelaten. Dit wordt gerealiseerd door een resonantie op te wekken (de ruimte tussen twee reflectielagen vormt een trilholt, net als een orgelpijp). Dichroïsche spiegels laten de ene spectrale band door en reflecteren de andere spectrale band.

Enkele punten aangaande filters die aandacht verdienen:

- Veel filters vertonen temperatuurafhankelijk gedrag (de transmissiecurve verloopt bij temperatuursveranderingen). Met name bij interferentiefilters is dit effect aanwezig. Bij ontwerp en gebruik van zware bronnen dient hiermee rekening te worden gehouden.
- Geabsorbeerde stralingsenergie wordt omgezet in stralingswarmte, voor kunststof filters is dit iets om rekening mee te houden (smelten/brand).
- De transmissie van interferentiefilters hangt af van de hoek van inval.
- Sommige filtermaterialen die IR-straling doorlaten en zichtbaar licht (VIS) uitstekend blokkeren zijn ook transparant in het UV-gebied.

8.5.4 Beveiligingscircuit (interlock)

Uitschakeling van de bron bij opening van een beschermende omkapping, het opklappen van een zichtfilter of openen van toegangsdeuren en serviceluiken is een effectieve en veelgebruikte beveiligingsmaatregel. Vanuit de aard van de werkzaamheden moeten service/onderhoudstechnici wel eens een interlock overbruggen (waarbij kennis van zaken essentieel is).

8.5.5 *Richting van openingen*

Het spreekt vanzelf dat bij de omkastingen van gevaarlijke bronnen eventuele openingen voor uittrekking van een optische bundel, maar ook ventilatie-openingen, in- en uitgangen voor lopende banden, etc. zo dienen te worden uitgevoerd dat de bestraling van personen zo gering mogelijk is.

8.6 **Organisatorische maatregelen**

8.6.1 *Beperking bestralingsduur, toegangsbeleid*

Door werknemers duidelijk (en blijvend) te wijzen op zones waar de emissie boven de grenswaarde voor 8-urige blootstelling ligt, en hiervoor een maximale verblijfsduur in te stellen kan in een aantal gevallen goed worden voldaan aan de blootstellingslimieten. Zo'n regel voor beperkte verblijfsduur moet dan wel duidelijk bekend zijn aan de personen die toegang tot de bewuste gebieden hebben. Duidelijke signaleringen zijn hiervoor belangrijk (zie bijvoorbeeld paragraaf 8.6.3).

8.6.2 *Vergroting van de afstand*

Wanneer een bron een uitwaaiende bundel heeft, dan neemt de emissie af bij het vergroten van de afstand:

- Bij een puntbron (zoals een gloeilamp) neemt de intensiteit af met de afstand R in het kwadraat ("1/ R^2 regel" of "kwadratenwet"; 2 x zo ver weg, 4 x zo weinig dosis).
- Bij een lijnbron die lang is ten opzichte van de afstand tot de bron, neemt de intensiteit af met $1/R$.

In een laserbundel met weinig divergentie blijft het optisch vermogen sterk geconcentreerd. Hierdoor heeft vergroting van de afstand bij lasers over het algemeen geen sterk blootstellingsverminderend effect.

Alleen als sprake is van een uitgangsbundel met sterke divergentie, kan afstandsvergroting een efficiënt middel zijn om blootstellingsniveaus te beperken.

8.6.3 Waarschuwborden en signaleringen

Als signalering bij de toegangsdeur naar laserruimten wordt vaak gebruik gemaakt van een lichtbak met waarschuwingstekst boven of naast de toegangsdeur die automatisch tegelijk met de laser wordt ingeschakeld.

De waarschuwing valt sterker op wanneer de lichtbak knippert. Figuur 45a geeft een voorbeeld van zo'n lichtbak. In figuur 45b en 45c vindt u voorbeelden van waarschuwingen, namelijk bij de toegangsdeuren tot een incoherente zware UV-bron en tot een zware laser.



Fig. 45c Lichtbak met signalering "laser aan" bij de toegang tot een laseropstelling.

Zodra de laser wordt ingeschakeld gaat ook de lichtbak aan. In de rechter bovenhoek van de deur is een interlock-switch aangebracht.



Pas op!
Gevaarlijke
ultraviolette straling

Maximale dagelijkse
verblijftijd zonder
bescherming van
ogen en huid:
10 minuten

Fig. 45b Voorbeeld van een waarschuwing voor een zware UV-lamp



Pas op!
Onzichtbare
laserstraling
(Nd-YaG 1064nm)

Als lamp boven deur
brandt geen toegang
zonder beschermbril
Openen van de deur
onderbreekt experiment

Fig. 45c Voorbeeld van een waarschuwing voor een zware laser in een

8.6.4 Voorlichting en instructie

Werknemers die omgaan met risicovormende kunstmatige bronnen van optische straling dienen afdoende instructie te krijgen in de veilige omgang met dergelijke apparatuur. De leverancier dient bijbehorende documentatie zoals een gebruikershandleiding mee te leveren en in staat te zijn om instructie te geven. Bij personeelwisselingen dient de werkgever ervoor te zorgen dat ook de nieuwe mensen afdoende instructie krijgen.

8.7 Persoonlijke beschermingsmiddelen

8.7.1 Bescherming van de ogen

Algemeen geldt dat beschermbrillen niet alleen het directe zichtveld moeten afschermen, maar ook de ooghoeken. Instraling vanaf de zijkant dient dus óók te zijn afgeschermd. Hou bij aanschaf ook rekening met bril dragers. De belangrijkste redenen voor gebruikers om beschermbrillen niet te dragen zijn:

- Onvoldoende draagcomfort of zelfs pijnlijk om te dragen.
- Normale bril past niet onder beschermbril
- Beschermbril te donker in het zichtbare gebied
- Beschermbril beslaat

Afhankelijk van het spectrale gebied kunnen verschillende filters worden toegepast. Voor oogbescherming is het uiteraard essentieel dat het zicht zo min mogelijk wordt belemmerd, dus onderdrukking van het zichtbare gebied dient alleen te worden toegepast als dat ook noodzakelijk is. Voor incoherente bronnen is alleen het transmissiespectrum belangrijk. Voor bescherming tegen zware lasers is het echter ook van groot belang dat het materiaal daadwerkelijk bestand is tegen een directe treffer.

Voor laserbeschermbrillen bestaat de internationale norm ISO 6161 *Personal eye protectors; Filters and eye protectors against laser radiation*.

Voor bronnen van incoherente langgolvlige infrarode straling (b.v. ovens) zijn gelaatsmaskers van fijn geweven metaalgaas soms een uitstekende oplossing. Deze beslaan in ieder geval niet.

8.7.2 *Bescherming van de huid*

De handen en het gezicht lopen de meeste kans op bestraling.

Handschoenen en gelaatsmaskers kunnen een oplossing vormen, maar moeten wel zodanig zijn uitgevoerd dat ze de gebruiker niet teveel hinderen tijdens het werk (een onnodig hoge warmtelast is b.v. zeer onplezierig).

Textielsoorten zoals katoen zijn nog redelijk transparant voor optische straling (ook voor UV, zeker in natte toestand). Lycra daarentegen heeft (mits niet “overstretched” een dichtere structuur) en laat over het gehele optische gebied minder door.

Voor bepaalde doeleinden gelden uiteraard naast de optische aspecten nog aanvullende eisen. Laskleding en lashandschoenen moeten bijvoorbeeld niet alleen voldoen aan strenge transmissie-eisen voor UV-, VIS- en IR-straling, maar moeten ook nog eens bestand zijn tegen gloeiende spetters vloeibaar metaal.

9 Deskundigheidsniveaus

In dit hoofdstuk wordt beknopt aangegeven welke doelgroepen te maken krijgen met de EU-Richtlijn optische straling (zie 9.1).

Tevens behandelt dit hoofdstuk welk kennisniveau verwacht wordt van verschillende betrokken partijen alsmede een voorbeeld van modulaire voorlichtingsniveaus (zie 9.2 voor details aangaande voorlichtingsniveau's).

9.1 Mogelijke doelgroepen voor een EU-Richtlijn optische straling

9.1.1 *Omstanders, leken of gebruikers en categorie 0 gebruikssituaties*

Van “omstanders” en “voorbijgangers” kan niet verwacht worden dat deze bekend zijn met eventuele risico's. Hun belangen dienen meegenomen te worden door de “gebruikers”. In gebruikssituaties van de categorie 0 is de bron ongevaarlijk en maakt het dus ook niet uit of iemand zo'n bron gebruikt of alleen een omstander is. Wel kan het uitmaken of iemand áán de bron gaat werken (dus service /onderhoud verricht, zie 9.1.3).

Voor deze groep volstaat het voorlichtingsniveau:

- a) Bedrijfsintroductie

9.1.2 *Gebruikers van kunstmatige optische stralingsbronnen categorie ≥ 1*

Deze gebruikers dienen te weten met wat voor machines e.d. ze omgaan. Ze dienen “leken” te kunnen waarschuwen en/of begeleiden. Van “omstanders” en “voorbijgangers” maar ook van “patiënten” kan bijvoorbeeld niet verwacht worden dat deze bekend zijn met eventuele risico's, en hun belangen dienen meegenomen te worden door de “gebruikers” (44). Daarom, en uiteraard ook voor hun eigen veiligheid, dienen gebruikers van bronnen met verhoogd risico te weten hoe ze veilig met zulke bronnen om kunnen gaan. Gebruikers hoeven echter géén uitgebreide kennis te bezitten over wat er “onder de motorkap” zit als ze daar toch niet komen.

Voor deze groep zijn de volgende voorlichtingsniveaus nodig:

- a) Bedrijfsintroductie
- b) Herkenningstraining
- c) Apparatuurgebruikstraining

9.1.3 *Werkers áán kunstmatige bronnen*

Deze groep werkers komt “onder de motorkap” en dient dus een veel hoger kennisniveau te bezitten aangaande de “kale” bronnen en bijbehorende veiligheidsaspecten.

Een industriële machine voor laserbewerkingen met afgesloten beveiligde cabine vertegenwoordigt voor de gebruiker bijvoorbeeld nauwelijks een veiligheidsprobleem (de laser kan niet aan als de toegangsdeur open is). Een monteur die bij dezelfde machine de in bedrijf zijnde zware laser af moet stellen bevindt zich in een veel risicovollere situatie (zie ook 7.4).

Voor deze groep zijn nodig:

- a) Bedrijfsintroductie
- b) Herkenningstraining

- c) Apparatuurgebruikstraining
- d) Apparatuuronderhoudstraining
- e) Cursus deskundig meten/beoordelen (alleen bij categorie 2B situatie)

9.1.4 *Arbo-deskundigen*

Voor deskundigen van ARBO-diensten is primair enige kennis omtrent de biologische effecten op de mens belangrijk (zie hoofdstuk 5) en daarnaast welke blootstellingslimieten er gelden alsmede hoe kan worden ingeschat of er inderdaad een (mogelijk) probleem is (zie hoofdstuk 8).

Voor een arbeidshygiënist biedt dit rapport alleen voldoende informatie voor uitsluiting van een groot aantal situaties waarvoor de richtlijn niet relevant is. Voor gevallen waar deze wel relevant is blijft bestudering van de richtlijn optische straling nodig. Daarnaast worden in sectie 9.2.4 een aantal instellingen opgesomd die zich bezighouden met effecten van optische straling op de mens. Naast de literatuurverwijzing in hoofdstuk 10 wordt in hoofdstuk Bijlage C een aantal bronnen genoemd waar meer informatie kan worden verkregen.

9.1.5 *Fabrikanten/leveranciers van kunstmatige optische stralingsbronnen*

Van fabrikanten en leveranciers mag verwacht worden dat zij van hun producten niet alleen de functionele eigenschappen kennen, maar ook eventuele veiligheidsaspecten. Zij dienen op de hoogte te zijn van wetgeving en relevante normen en hebben de plicht om de gebruikers van hun producten goed voor te lichten over een juiste en veilige toepassingswijze. Om deze taak te vervullen voor producten die werkelijk relevant zijn m.b.t. de richtlijn optische straling, is dit rapport niet toereikend. De hoofdstukken 4 t/m 8 bieden in dat geval alleen een eerste richting. Met de informatie uit deze hoofdstukken (en met name hoofdstuk 8) kan echter wel eventuele twijfel worden weggenomen over producten waarbij de richtlijn optische straling duidelijk niet relevant is of waarbij rekenmodellen duidelijkheid kunnen bieden.

9.2 **Beschrijving kennisniveaus**

Voor uitvoering van de bepalingen in de richtlijn dient de werkgever te beschikken over de nodige deskundigheid. Dit vergt in de eerste plaats enige kennis van de richtlijn, maar in de tweede plaats vooral deskundigheid op het gebied van optische straling, en in de derde plaats van de normen die vermelden hoe de mate van blootstelling kan worden gemeten en beoordeeld. Dit is vooral van belang voor de toetsing van blootstellingen aan de limietwaarden. Ook het nemen van effectieve maatregelen vergt een zekere mate van deskundigheid.

Indien wordt getwijfeld of er sprake is van mogelijke gezondheidsrisico's of wanneer sprake is van bronnen die niet bedoeld zijn als verlichting, dan biedt de sectie 8.3 hulp bij de inschatting of er al dan niet zo'n risico bestaat.

Voor het uitvoeren van de meting en beoordeling van blootstellingen van personen in werksituaties geldt de EN 14255-normenreeks. De EN 12198-

normenreeks geeft daarnaast uitgebreide informatie over het meten rond machines.

De werkgever heeft als er gemeten en/of beoordeeld moet worden ruwweg twee mogelijkheden:

- óf deskundigheid zelf opbouwen
- óf deze extern inhuren.

9.2.1 *Werknemers algemeen*

Binnen een werksituatie dienen werknemers voorgelicht te zijn over een aantal zaken. Onderstaande typen voorlichting en onderricht worden vergezeld van een aantal vragen die men na het volgen van onderricht dient te kunnen beantwoorden.

Deze opsomming is een eerste basislijst die per beroep kan worden aangevuld met specifieke vragen en eisen:

- a) Bedrijfsintroductie:
 - wie is de arbo-deskundige of veiligheidkundige die optische straling in zijn/haar takenpakket heeft;
 - wat is optische straling;
 - waar komt optische straling in situaties van categorie ≥ 1 voor;
 - welke apparatuur wekt de betreffende optische straling op;
 - waar mag ik niet komen (aangegeven door: zonering, signaleringstekens, afzettingen); en
 - Waar moet ik beschermingsmiddelen dragen en welk type?
- b) Herkenningstraining situaties van categorie ≥ 1 :
 - hoe herken ik apparatuur buiten de vaste werkplek (maar wel tijdens werkzaamheden) als mogelijke bron van optische straling;
 - waar vind ik de standaardlijst met foto's van apparatuur en vuistregels en tabellen voor afstanden voor de apparatuur die ik in mijn beroep tegenkom; en
 - hoe luidt de lijst met contactnummers/websites om informatie aan te vragen ?
- c) Apparatuurgebruikstraining:
 - wat zijn de karakteristieken van de apparaten;
 - bij welke instelling van de apparatuur kan je op welke locaties blootstelling boven de limietwaarden krijgen; en
 - hoe voorkom je dat jij of iemand anders daaraan wordt blootgesteld?
- d) Apparatuuronderhoudstraining
 - wat gebeurt er als je het apparaat openmaakt;
 - waartoe dienen interlock beveiligingen;
 - welke beschermingsmiddelen heb je nodig; en
 - hoe voorkom je dat jij of iemand anders daaraan wordt blootgesteld?
- e) Cursus deskundig meten/beoordelen optische blootstelling bij situaties van categorie 2B
 - hoe is het optische spectrum gerelateerd aan biologische effecten;

- wat zijn de geldende wetten en limietwaarden voor blootstelling,
- wat zijn de bekende mandaten;
- wat zijn de voorgeschreven normen voor de gebruikte apparatuur;
- wat zijn de voorgeschreven normen voor meting/beoordeling;
- hoe gebruik en lees je die normen;
- hoe gebruik je de meetinstrumenten;
- hoe kan je berekeningen zelf uitvoeren;
- welke berekeningen / metingen moet je zelf doen;
- wat zijn de mogelijke maatregelen om de blootstelling te verminderen; en
- hoe houd je je op de hoogte van de laatste ontwikkelingen?

Naast de bovengenoemde voorlichtingsniveaus van werknemers zijn er ook diverse niveaus te onderscheiden in de ARBO-structuur.

9.2.2 *Preventiemedewerker*

Een preventiemedewerker moet tenminste Deel I van dit rapport op zijn/haar werkomgeving toe kunnen passen en aan de hand van Deel I kunnen nagaan of er mogelijk ondersteuning nodig is.

Afhankelijk van de soort werkomgeving(en) in een bedrijf kan het kennisniveau van een preventiemedewerker worden verhoogd door toegesneden opleiding(en). Bij bedrijven die gespecialiseerd zijn in “zware” toepassingen van optische straling kan een preventiemedewerker soms meer kennis van zaken hebben aangaande optische stralingsveiligheid, dan een Arbo-deskundige met een algemene opleiding.

9.2.3 *Arbo-deskundige*

Hieronder kan bijvoorbeeld een arbeidshygiënist of een veiligheidskundige worden verstaan. Een Arbo-deskundige moet dit rapport tot tenminste categorie 2A in zijn geheel kunnen begrijpen en toepassen op een grote verscheidenheid aan werkomgevingen en zodoende kunnen nagaan of aanvullende ondersteuning nodig is. Tevens moet een Arbo-deskundige aan de hand van dit rapport voldoende informatie over de betreffende werkomgeving kunnen verzamelen om bij inschakeling van aanvullende expertise de probleemstelling helder te kunnen omschrijven.

Wanneer een Arbo-deskundige regelmatig te maken heeft met categorie 2B situaties, is een op de betreffende soort werkomgevingen toegesneden opleiding sterk aanbevelenswaardig.

9.2.4 *Nationale experts*

Experts op nationaal niveau moeten opleidingen kunnen verzorgen op het niveau voor arbeidshygiënisten, adviezen op maat kunnen geven bij bijzondere situaties, zeer goed op de hoogte zijn van regelgeving en normalisatie en bij voorkeur ook in staat zijn om nauwkeurige metingen te verrichten aangaande optische stralingsveiligheid. Optische stralingsveiligheidsaspecten zijn sterk afhankelijk van het spectrale gebied en de soort toepassing. In de praktijk kunnen voor verschillende deelgebieden verschillende expertiscentra relevant zijn.

Zoals in de richtlijn ook al tot uiting komt, is er een verschil in benadering tussen lasers enerzijds en incoherente bronnen anderzijds. Analooq hieraan zijn er verschillende nationale centra van expertise die zich hebben gespecialiseerd in b.v. de invloed van de zon of juist in kunstmatige bronnen met b.v. een focus op de veiligheid van lasers of juist van incoherente bronnen. In deze sectie vindt u de gegevens van enkele nationale expertisecentra aangaande kunstmatige bronnen van optische straling^f.

9.3 Expertise-centra aangaande kunstmatige bronnen

9.3.1 *Nationale Commissie Laserveiligheid (NCL)*

Deze commissie is hoofdzakelijk gericht op medische lasertoepassingen en verricht geen laser veiligheidsmetingen ter plaatse. Zij geeft een boekje uit over laser veiligheid in de gezondheidszorg en verzorgt verder informatieve lezingen op dit gebied. Het secretariaat van de Nationale Commissie Laser veiligheid wordt beheerd door:

Ir. C.J.P.M. Teirlinck
TNO Kwaliteit van Leven
Postbus 2215
2301 CE LEIDEN
Tel. 071 – 518 1818
Fax 071 – 518 1902

9.3.2 *Mikrocentrum*

Dit centrum geeft 1-daagse cursussen over laser veiligheid, met name in de industrie. De afdeling opleidingen is bereikbaar via:

Postbus 359
5600 AJ EINDHOVEN
Tel. 040 – 2969933
Fax 040 – 2969930

9.3.3 *TNO Kwaliteit van Leven en TNO Certification Medical*

Deze instituten bezitten kennis en meetmiddelen aangaande optische straling voor industriële en medische toepassingen. Met name UV-veiligheidsmetingen worden ter plaatse verricht, ook worden veiligheidstrainingen gegeven over optische stralingsveiligheid.

Voor beide TNO-instituten is de contactpersoon:

Ing. F.P. Wieringa, lid CEN TC 169 / WG 8 “Photobiology”

Researchtoepassingen:

TNO Kwaliteit van Leven
Postbus 2215
2301 CE LEIDEN
Tel. 071 – 518 1818
Fax 071 – 518 1918

Veiligheidsmetingen:

TNO Certification Medical
Postbus 310
2300AH
Tel. 071 – 535 1710
Fax 071 – 535 1717

^f Zonnestraling valt niet onder de richtlijn. Expertise-centra aangaande zonnestraling vindt u in bijlage C.

10 Literatuurverwijzing

1. Berson DM, Dunn FA, Takao M. 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* 295: 1070-3
2. BGFE. 2004. Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung. Berufgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik
3. Biesen PRvd, Berenschot T, Verdaasdonk RM, Weelden Hv, Norren Dv. 2000. Endoillumination during vitrectomy and phototoxicity thresholds. *British Journal of Ophthalmology* 84: 1372-5
4. CEN. 2005. EN 14255-1 Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation – Part 1: Ultraviolet radiation emitted by artificial sources in the workplace.
5. Cesarini JP, Sliney D. 2005. Skin colour and risk of cancer.
6. Danno K, Mori N, Toda K-i, Kobayashi T, Utani A. 2001. Near-infrared irradiation stimulates cutaneous wound repair: laboratory experiments on possible mechanisms. *Photodermatology, photoimmunology & photomedicine* 17: 261-5
7. EU. 1989. Richtlijn 89/391/EEG betreffende de tenuitvoerlegging van maatregelen ter bevordering van de verbetering van de veiligheid en de gezondheid van werknemers op het werk.
8. EU. 2005. Gemeenschappelijk Standpunt (EG) Nr. 4/2005 met het oog op de aanneming van Richtlijn 2005/.../EG van het Europees Parlement en de Raad van ... betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysieke agentia (optische straling) (19e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG van de Raad) (2005/C 172 E/02). ed. EPedRvdE Unie, pp. 26-50: Publicatieblad van de Europese Unie
9. EU. 2006. Richtlijn 2006/25/EG van het Europees Parlement en de Raad van 5 april 2006 betreffende de minimum voorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan risico's van fysieke agentia (kunstmatige optische straling) (19e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG). Publicatieblad van de Europese Unie
10. GBW, NIA-TNO, KWF. 1998. Kijk uit voor je huid - Folder.
11. GBW, NIA-TNO, KWF. 1998. Kijk uit voor je huid - Stappenplan.
12. Heidrich HU. 1999. Gefährdung durch ultraviolette Strahlung am Arbeitsplatz. In *Nichtionisierende Strahlung - mit ihr leben in Arbeit und Umwelt*, ed. N Krause, M Fischer, HP Steimel, pp. 505-12. Köln: Fachverband für Strahlenschutz
13. HSE. 2003. *Skin problems in the printing industry*. Subury, Suffolk UK: HSE Books
14. Hurup K, Glansholm A, Hietanen M, von Nandelstadh P, Schröder K. 1995. *Secondary radiation associated with laser material processing*. Presented at 3rd EUREKA Industrial Laser Safety Forum, Copenhagen
15. ICNIRP. 1997. Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3 µm). *Health Physics* 73: 539-54
16. ICNIRP. 2000. ICNIRP statement on light-emitting diodes (LEDs) and laser diodes: Implications for hazard assessment. *Health Physics* 78: 744-52
17. ICNIRP. 2002. General approach to protection against non-ionizing radiation. *Health Physics* 82: 540-8
18. ICNIRP. 2004. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Physics* 87: 171-86
19. Johnson B. 1992. Drug and chemical photosensitization. In *The Environmental Threat to the Skin*, ed. RMG Plewig, pp. 57-65. London: Martin Dunitz

20. Kleinjans HAW, Schuurman HW. 1995. Elektromagnetische straling in arbeidssituaties. ed. MvSZe Werkgelegenheid, pp. 112: VUGA Den Haag
21. Krink A, Nowak W, Weinberg L, Großewinkelmann A, Berlien HP. 2004. *Mögliche Gefahr des Auges durch Pilotlaser beim medizinischen Lasern*. Presented at Nicht Ionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit - 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln
22. KWF. 2002. *Ultraviolette straling en huidkanker*
23. Menaker M. 2003. Circadian Photoreception. *Science* 299: 231-14
24. NVDV, CBO. 2003. *Richtlijn Foto(chemo)therapie en systemische therapie bij ernstige chronische plaque psoriasis*: Van Zuiden Communications B.V. Postbus 2122, 2400 CC Alphen aan den Rijn. 112 pp.
25. O'Hagan JB, Driscoll CMH, Pearson AJ. 2003. Occupational exposure to optical radiation in the context of a possible EU proposal for a directive on optical radiation. ed. NRP Board: National Radiation Protection Board
26. Oriowo OM, Chou BR, Cullen AP. 1997. Glassblowers' ocular health and safety: optical radiation hazards and eye protection assessment. *Ophthalm. Physiol. Opt.* 17: 216-24
27. Pischel U. 2004. Photosensibilisierung durch Pharmaka. *Nachrichten aus der Chemie* 52: 1243-6
28. RadTech. 2005. Joint-protocol on improved conditions of use of UV-technology in the printing and coating industry of Europe.
29. Radtech. 2005. Press release - Europe signs landmark UV protocol for the coating and graphic arts industry. Den Haag: Radtech
30. Reidenbach HD. 2004. *Abwendungsreaktionen, Lidschlussreflex, Maximal zulässige Bestrahlung, Auslösewerte und Laserklassifizierung: Unterschiedliche Dinge in der Lasersicherheit*. Presented at Nicht Ionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit - 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln
31. Reidenbach HD. 2004. *Empfehlungen zu aktiven Schutzreaktionen als neues Konzept de Unterweisung im Umgang mit Lasern der Klasse 2*. Presented at Nicht Ionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit - 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln
32. Reidenbach HD, Dollinger K, Hofmann J, Olding S, Grave R, et al. 2004. *Untersuchungen von Abwendungsreaktionen bei Stimulation durch LED-Strahlung*. Presented at Nicht Ionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit - 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln
33. RIVM. 2004. Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu.
34. Schulmeister K, Weber M. 2004. *Potentielle Gefährdung der Augen und der Haut durch Infrarotwärmekabinen*. Presented at Nicht Ionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit - 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln
35. Schwaß D. 2004. *Ursachen erhöhter Expositionen durch UV- und IR-Strahlung an Arbeitsplätzen*. Presented at Nicht Ionisierende Strahlung - Sicherheit und Gesundheit - 36. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Köln
36. Siekmann H. 2002. Berufskrankheiten durch Optische Strahlung. Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA)
37. Toet A, Varkevisser J, Alferdinck JWAM. 2001. *RALONA: een laser zoneringsprogramma*. Rep. TNO-rapport TM-01-C033, TNO Technische Menskunde, Soesterberg
38. van den Beld GJ, Beije C, Gerritsen B, IJsselmuiden PJM, de Kort JHGM, et al. 2003. *Licht en gezondheid voor werkenden*: Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV)
39. Varkevisser J, Alferdinck JWAM. 2001. *Lichtschaderisico irisscanner*. Rep. Memo TNO-TM 2001-M019, TNO Technische Menskunde, Soesterberg

40. Vos JJ, Norren Dv. 2005. Retinal damage by optical radiation. An alternative to current, ACGIH-inspired guidelines. *Clinical and experimental Optometry* 88: 200-11
41. Vos JJ, van Norren D. 2005. Retinal damage by optical radiation. An alternative to current, ACGIH-inspired guidelines. *Clinical and experimental Optometry* 88: 200-11
42. Weiss RA, McDaniel DH, Geronemus RG, Weiss MA. 2005. Clinical trial of a novel non-thermal LED array for reversal of photoaging: Clinical, histologic, and surface profilometric results. *Lasers in surgery and medicine* 36: 85-91
43. WHO. 1995. Health and Environmental Effects of Ultraviolet Radiation. World Health Organization
44. Wieringa FP. 2002. Arbeidsveiligheidsaspecten bij industrieel, medisch en cosmetisch gebruik van kunstmatige ultraviolette straling. *NVS Nieuws* 2002: 20-2
45. Wieringa FP. 2006. *Ultraviolette straling: Veiligheidsaspecten, bronnen en toepassingen*. Leiden: TNO Kwaliteit van Leven
46. Wieringa FP, Van der Meulen AMTI. 2005. An update on optical radiation safety in Europe. *IUVA News* 7: 27-31

Bijlage A. Gebruikte afkortingen organisaties

| | |
|---------|---|
| ACGIH | American Conference of Governmental Industrial Hygienists |
| CBS | Centraal Bureau voor de Statistiek |
| CEN | Comité Européen de Normalisation |
| CENELEC | Comité Européen de Normalisation Électrotechnique |
| CIE | Commission Internationale de l'Éclairage |
| EU | Europese Unie |
| IARC | International Agency for Research on Cancer |
| ICNIRP | International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| KWF | Koningin Wilhelmina Fonds |
| LED | Light Emitting Diode |
| NKR | Nederlandse Kanker Registratie |
| STEZON | Stichting Educatie Zonnebranche |
| SZW | Sociale Zaken en Werkgelegenheid |
| WHO | World Health Organization |

Bijlage B. Terminologie aangaande optische straling

| Term | Beknopte omschrijving |
|------------------------|--|
| Actiespectrum | Een weegfunctie die het golflengte-afhankelijke verband beschrijft tussen de invallende hoeveelheid fysische stralingsenergie en een daaruit voortvloeiend biologisch effect. Het biologisch effect van een bepaalde hoeveelheid stralingsenergie hangt sterk af van de golflengte van de betreffende straling. Voor verschillende biologische effecten zijn verschillende actiespectra. |
| AEL | Accessible Emission Limit , de maximaal toegestane laser emissiewaarde die voor de gebruiker toegankelijk is |
| Albedo | Maat voor de (meestal sterk verstrooide) terugkaatsing van optische straling vanaf de bodem, vooral belangrijk voor de invloed van UV uit zonnestraling. Sneeuw en zand hebben een hoog albedo voor UV en VIS. Gras en de meeste overige groene planten hebben een laag albedo voor UV en een matig albedo voor VIS. |
| Circadiaans ritme | Dag/nacht ritme. |
| Coherent | Toestand waarbij alle fotonen dezelfde golflengte hebben (d.w.z. dezelfde “kleur” hebben) en allen in fase zijn (d.w.z. “in de pas lopen”). |
| Circadiaans ritme | Dag/nacht ritme. |
| DNA | Desoxyribo Nuclein Acid , erfelijk materiaal in de celkern |
| Dosis | De invallende stralingsenergie per eenheid van oppervlakte, geïntegreerd over zowel golflengte als tijd. |
| Effectieve dosis | Dat deel van de dosis dat zorgt voor een bepaald biologisch effect. Voor de omrekening vanaf de dosis wordt een golflengte-afhankelijke weegfunctie gebruikt (zie actiespectrum). |
| Effectieve irradiantie | Dat deel van de irradiantie dat zorgt voor een bepaald biologisch effect. Voor de omrekening vanaf de dosis wordt een golflengte-afhankelijke weegfunctie gebruikt (zie actiespectrum). |
| Incoherent | Toestand waarbij alle fotonen niet in fase zijn (d.w.z. “in de pas lopen”). Als alle fotonen dezelfde golflengte hebben (monochromatisch), hoeft er nog geen coherentie te zijn. |

| Term | Beknopte omschrijving |
|-----------------------|---|
| Irradiantie | Het invallend vermogen aan straling per eenheid van oppervlakte, geïntegreerd over golflengte. Irradiantie is golflengte-afhankelijk, zie ook spectrale irradiantie. |
| MED | Minimaal Erytheemverwekkende Dosis De MED verschilt per individu (in tegenstelling tot de rekeneenheid SED). |
| Monochromatisch | Alle fotonen hebben dezelfde golflengte (“kleur”). Als dit zo is, dan hoeft er nog geen sprake van coherentie te zijn. |
| MPE | Maximaal toelaatbare blootstelling, ofwel: Maximum Permissible Exposure (MPE) |
| NOHD | Gevarenafstand voor het oog, ofwel: Nominal Ocular Hazard Distance (NOHD) |
| SED | Standard Erythema Dose Dit is een <u>reken</u> -eenheid voor biologisch gewogen erytheem (“zonnebrand”) van de huid door UV-straling: $1 \text{ SED} = 100 \text{ J/m}^2$ (<u>niet</u> individueel). De spectrale weging wijkt iets af van het ICNIRP actiespectrum voor schade aan huid en ogen. De SED is vastgelegd in de norm CIE S007/E die internationaal is overgenomen door de ISO |
| Spectrale irradiantie | Het invallend vermogen aan straling per eenheid van oppervlakte en per eenheid van golflengte. |
| UV-straling (of UV) | Ultraviolette straling |
| VIS-straling (of VIS) | Visible radiation , zichtbaar licht, zichtbare optische straling |

Bijlage C. Overige informatiebronnen

| |
|---|
| <p>CIE Kegelgasse 27 A-1030 Vienna Austria http://www.cie.co.at/</p> |
| <p>Gezondheidsraad http://www.gr.nl</p> |
| <p>International Committee on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) http://www.icnirp.de</p> |
| <p>Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) http://www.knmi.nl Dit instituut bezit vooral veel expertise op het gebied van zonnestraling.</p> |
| <p>Nederlands Normalisatie Instituut (NEN) Postbus 5059 2600 GB DELFT http://normen.nen.nl</p> |
| <p>RadTech Europe Laan Copes van Cattenburch 79 2585 EW Den Haag www.radtech-europe.com Deze branchevereniging heeft veel kennis over de toepassing van UV en elektronenstraaltechnieken in de grafische- en coatingindustrie</p> |
| <p>Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) LSO Laboratorium voor Stralingsonderzoek Postbus 1, 3720 BA Bilthoven www.rivm.nl/milieuStoffen/straling/niet_ioniserende_straling Dit instituut bezit vooral veel expertise op het gebied van zonnestraling.</p> |
| <p>Vereniging van Integrale Kankercentra Catharijnesingel 53 Postbus 19001 3501 DA Utrecht http://www.ikc.nl</p> |
| <p>World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe http://www.euro.who.int/</p> |

Bijlage D. Lijst met fotogevoeligheid versterkende stoffen

Deze rubriek bevat voorbeelden van fotogevoeligheid versterkende stoffen. Zulke stoffen kunnen door inslikking en inademing of rechtstreeks door de huid heen worden opgenomen (19).

Medicijnen, plantaardige stoffen, parfum en ingrediënten voor cosmetica, kleurstoffen, polycyclische koolwaterstoffen in houtconserveringsmiddelen, koolteer, roet en vervuiling, zonnebrandmiddelen en drukinkten kunnen de van buitenaf of via opname door mond of neus in de huid binnendringen. Men kan met zulke stoffen te maken krijgen in een huishoudelijke omgeving (zie tabel D.1), tijdens recreatie (zie tabel D.2), op het werk (zie tabel D.3) of bij medische behandeling (zie tabel D.4).

| Tabel D.1 Fotogevoeligheid versterkende stoffen in of rondom het huis | |
|--|-------------------------------------|
| Bacteriostaten in zeepsoorten | gehalogeniseerde salicyclanilides |
| Houtconserveringsmiddelen | carbolineum en koolteer |
| Groenten | psoralenen in selderij en pastinaak |

| Tabel D.2 Fotogevoeligheid versterkende stoffen in recreatieve omgeving | |
|--|--|
| Planten: | |
| Umbelliferae: | Reuze bereklauw (<i>Heracleum mantegazzianum</i>), gewone bereklauw (<i>Heracleum sphondylium</i>), wilde pastinaak (<i>Pastinaca sativa</i>), tromso palm (<i>Heracleum laciniatum</i>) |
| Rutaceae: | Wijnruit (<i>Ruta graveolens</i>), vuurwerkplant (<i>Dictamnus alba</i>), Bergamot citrus (<i>Citrus bergamia</i>) |
| Moraceae: | Vijgeboom (<i>Ficus carica</i>) |
| Furocoumarine stoffen uit planten: | psoralen, 8-methoxypsoralen, 5-methoxypsoralen, pimpinellin, sphondin, angelicin |
| Algemeen: | |
| Parfums en cosmetica: | 5-methoxypsoralen (Bergapten) in Bergamot olie, musk ambrette (sinds 1995 verboden in de EU), 6-ethylcoumarin |
| Anti-zonnebrand middelen: | p-aminobenzoic acid (PABA), ethoxyethyl-p-methoxycinnamate, isopropylidibenzoylmethaan, butylmethoxydibenzoylmethaan |
| Tattooages: | cadmium sulfide |

| Tabel D.3 Fotogevoeligheid versterkende stoffen in werkomgeving | |
|--|---|
| Kleurstoffen op anthraquinon basis: | benzanthrone; Disperse Blue 35 |
| Polycyclische koolwaterstoffen: | roet, koolteer, houtconserveringsmiddelen, anthraceen, fluorantheen |
| Drukinkt: | amyl-o-dimethylaminobenzoic acid |
| Diervoedersupplement: | quinoxaline-n-dioxide |

| Tabel D.4 Fotogevoeligheid versterkende stoffen in medische omgeving | |
|---|--|
| Antibacteriële middelen | tetracyclines, sulphonamides, nalidixic acid, 4-quinolones |
| Tranquilizers: | phenothiazines (chloromazine) |
| Antidepressiva: | Protryptiline |
| Diuretica ("plaspillen"): | chloorthiazides, frusemide |
| Middelen tegen hartritme-stoornissen of hoge bloeddruk: | amiodarone, methyldopa, quindine, propranolol |
| Middelen tegen ontstekingen: | ibuprofen, azapropazone, naproxen |
| Middelen tegen schimmels: | Grizeofulvin |
| Bacteriostaten: | gehalogeniseerde salycilanilides, bithionol, buclosamide |
| Plaatselijk aan te brengen middelen tegen schimmel: | fentichlor, hexachlorophene |
| Anti-kramp middelen: | Quinine |
| PUVA-therapie | 8-methoxypsoralen, 5-methoxypsoralen, trimethylpsoralen |
| Behandeling van angina pectoris of astma: | dimethoxymethylfuranochromone |
| Fotodynamische therapie | photofrin II |

Er zijn ruwweg drie soorten veelvoorkomende reacties op fotochemisch actieve stoffen:

Prikkelend en brandend gevoel

Koolteer, roet en een aantal polycyclische koolwaterstoffen produceren in combinatie met zonlicht (of alleen UVA) een prikkelend en brandend gevoel in de blootgestelde huid. Langduriger blootstelling verhoogt de pijn en veroorzaakt erytheem, jeukende bultjes en een zich uitbreidende roodheid die ongeveer een uur na de blootstelling afneemt, waarna alleen de blootgestelde huid erytheem blijft vertonen. Het eerste erytheem kan ook verzwakken, maar komt dan terug en bereikt binnen 24 tot 48 uur een maximum. Bij spetters van houtconserveringsmiddelen vindt hyperpigmentatie plaats in de spetterpatronen.

De kleurstoffen benzathrone en Disperse Blue 35, medicijnen zoals benoxapofen, amiodarone en in sommige gevallen ook chloorpromazine indien oraal ingenomen, alsmede de drukinktcomponent amyldimethylaminobenzoate produceren gelijksoortige reacties. Methyleen

blauw, eosine en rose bengal, alsmede polyacetylenen en α -terthienyl van planten uit de Compositae familie hebben geen effect bij aanbrengen op de intacte huid, maar produceren een typische fototoxische “koolteer reactie” bij aanbrengen op een geschaafde huid.

Versterkte zonnebrand

Een versterkte zonnebrand reactie vormt de tweede soort reactie en kan als bijwerking optreden bij een aantal systemische medicijnen. Bijvoorbeeld bij gemiddelde doses van demethylchlortetracycline of hoge doses van andere tetracyclines zoals doxycycline en chlorpromazine. Blootstellingen aan zonlicht of UV-bronnen die normaal geen problemen opleveren veroorzaken dan wel erytheem en blootstellingen die normaal een net zichtbare erytheemreactie teweegbrengen, leiden dan tot heftige verbrandingsverschijnselen.

Blaarvorming

De derde soort reactie treedt typisch op bij de UVA-gevoelige psoralenen. Meestal wordt het proces getriggerd door contact met het sap van een psoralen-houdende plant in combinatie met de blootstelling aan zonlicht op een warme, vochtige dag. Erytheem, mogelijk met pijnklachten, verdeeld in een patroon dat overeenkomt met het contact met de plant treedt na zo'n 24 uur op. Gedurende de volgende 24 uur ontwikkelen zich dan blaren die uiteindelijk weer genezen. Waar de huid niet teveel is beschadigd blijven vervolgens zwaar gepigmenteerde vlekken achter die soms nog maandenlang zichtbaar kunnen blijven afhankelijk van hoeveel sap er op de huid is gekomen en hoeveel UVA er is ontvangen.

Bijlage E. Vergelijking categorie-indeling tussen de implementatie van de richtlijnen ‘optische straling’ en ‘elektromagnetische velden’

Optische straling en elektromagnetische velden zijn beide vormen van niet-ioniserende elektromagnetische straling. Deze beide gebieden verschillen sterk qua wijzen van meting en beoordeling aangaande gezondheidsrisico's. Daarom zijn er ook twee verschillende EU-deelrichtlijnen voor opgesteld. Voor beide EU-deelrichtlijnen is in opdracht van het ministerie SZW een praktische handreiking opgesteld ter ondersteuning bij de implementatie van de beide deelrichtlijnen.

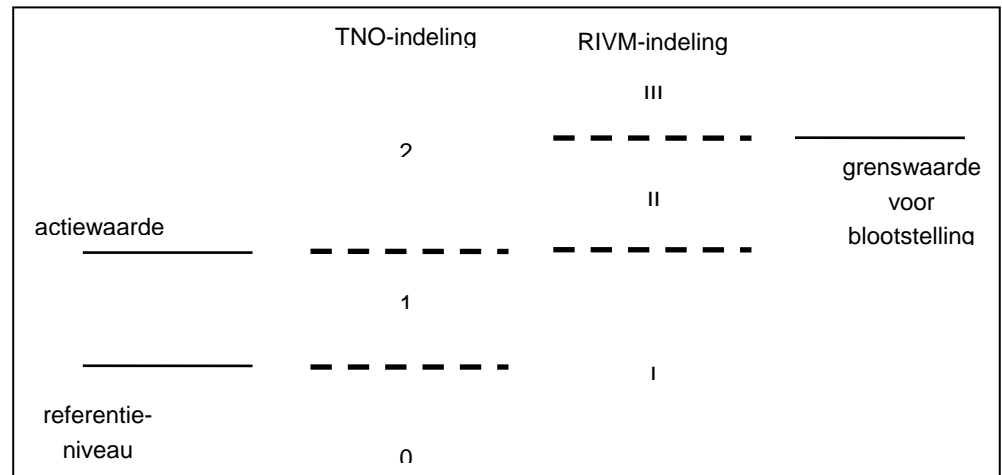
Dit rapport over optische straling is opgesteld door TNO, en een soortgelijk rapport over elektromagnetische velden is opgesteld door het RIVM.

De verschillen tussen beide vakgebieden hebben geleid tot enigszins verschillende indelingen in risico- categorieën bij beide rapporten.

In het kader van de invoering van EU-richtlijn ter bescherming van werknemers tegen blootstelling aan optische straling heeft TNO de werkomgevingen in de drie categorieën 0, 1 en 2 (gesplitst in 2A en 2B) ingedeeld. Hierbij is de indeling volgens de Europese norm NEN-EN 12198 als basis gebruikt, die in het kader van EU-richtlijn 98/37/EG (Machinerichtlijn) is opgesteld. Per categorie geldt een ander pakket maatregelen.

In het kader van de invoering van EU-richtlijn 2004/40/EG ter bescherming van werknemers tegen blootstelling aan elektromagnetische velden heeft RIVM de werkomgevingen in de drie categorieën I, II en III ingedeeld. De grenzen tussen deze categorieën zijn gebaseerd op het al of niet overschrijden van de frequentieafhankelijke actiewaarden en de grenswaarden. Ook hier geldt per categorie een ander beoordelingstraject en een ander pakket te nemen beheersmaatregelen.

NEN-EN 12198 geeft niet alleen voor optische straling, maar ook voor de bescherming tegen elektromagnetische velden een categorie-indeling in de categorieën 0, 1 en 2. De grenzen tussen de categorieën zijn gebaseerd op het overschrijden van achtereenvolgens de referentieniveaus uit de EU-aanbeveling 1999/519/EG voor de bescherming tegen blootstelling aan elektromagnetische velden van de algemene bevolking en de actiewaarden. RIVM heeft echter gekozen voor de indeling in I, II en III omdat de EU-richtlijn aangaande elektromagnetische velden pas verplicht om maatregelen te nemen als actiewaarden worden overschreden en niet reeds bij overschrijding van de referentiewaarden: zie de figuur op de volgende pagina.



Binnen de EU-Richtlijn aangaande optische straling is er geen sprake van een separate actiewaarde, maar alleen van een blootstellingslimiet, vandaar de verschillende indelingen.



**Ministerie van Sociale Zaken
en Werkgelegenheid**

Postbus 90801
2509 LV Den Haag