

Optische straling

Gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan elektromagnetische straling met golflengten tussen 100 nanometer en 1 millimeter



.....

.....

Optische straling

.....

Gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan
elektromagnetische straling met golflengten tussen 100
nanometer en 1 millimeter

.....

Aan:

De minister en de staatssecretaris van Welzijn,
Volksgezondheid en Cultuur
Sir Winston Churchillaan 362
2284 JN RIJSWIJK

Onderwerp : toezending advies
Uw kenmerk : CDBI/B-U-2705, d.d. 29 mei 1990
Ons kenmerk : U 3191/WP/MK/258-S
Bijlagen : 1
Datum : 29 juni 1993

Bij brief van 29 mei 1990 nr. CDBI/B-U-2705, verzocht de staatssecretaris van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur namens de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid de Gezondheidsraad om advies uit te brengen over de gevolgen van blootstelling aan micrometerstraling (of optische straling). Het desbetreffende verzoek van de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid was vervat in een brief van 16 maart 1990, nr. DGA/GS/90/03135.

De daartoe door mij ingestelde commissie heeft inmiddels een advies over dit onderwerp opgesteld. Ik bied u - gehoord de Beraadsgroep Stralingshygiëne - dat advies hierbij aan. Separaat stuur ik het advies toe aan de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en aan de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Op verzoek van de commissie en naar aanleiding van de bespreking van een concept van het advies binnen de genoemde beraadsgroep breng ik het volgende onder uw aandacht.

Het advies van de commissie wijkt op een aantal punten af van aanbevelingen van de American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) en van de International Non-ionizing Radiation Committee van de International Radiation Protection Association (INIRC/IRPA).

Met betrekking tot ultraviolette straling zijn de voorstellen van de commissie eenvoudiger en verdienen daarom de voorkeur. Voor thermische schade aan huid en oog in het zichtbare en infrarode gebied meent de commissie, op goede wetenschappelijke gronden en in overeenstemming met het advies 'Micrometerstraling' van de Gezondheidsraad van 1978, dat de aanbevelingen van de ACGIH en die van de INIRC/IRPA, een, vanuit gezondheidkundige oogpunt onnodige, ruime veiligheidsmarge inhouden. Dat zou de ontwikkeling van nieuwe stralingsbronnen op onjuiste gronden kunnen belemmeren.





Onderwerp : toezending advies
Ons kenmerk : U 3191/WP/MK/258-S
Pagina : 2
Datum : 29 juni 1993

Ik moge u daarom verzoeken de aanbevelingen van de commissie niet alleen te betrekken bij de ontwikkeling van het Nederlandse beleid met betrekking tot blootstelling van de bevolking of groepen uit de bevolking aan optische straling, maar ook in te brengen in het Europese overleg over een dergelijk beleid. Een vertaling van het advies is thans in voorbereiding en kan daarbij behulpzaam zijn.



prof dr L Ginjaar





.....

.....

OPTISCHE STRALING

.....

GEZONDHEIDSKUNDIGE ADVIESWAARDEN VOOR BLOOTSTELLING AAN
ELEKTROMAGNETISCHE STRALING MET GOLFLENGTEN TUSSEN 100
NANOMETER EN 1 MILLIMETER

.....

advies uitgebracht door de Commissie Optische straling van
de Gezondheidsraad

.....

aan

.....

de minister en de staatssecretaris van Welzijn, Volksge-
zondheid en Cultuur,

.....

de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid,

.....

de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en
Milieubeheer

.....

advies 1993/09, Den Haag, 28 juni 1993

.....

.....

Dit advies kan worden aangehaald als:

Gezondheidsraad: Commissie Optische straling. Optische straling. Gezondheidskundige advieswaarden voor blootstelling aan elektromagnetische straling met golflengten tussen 100 nanometer en 1 millimeter. Den Haag: Gezondheidsraad, 1993. Advies 1993/09.

.....

This report is to be cited as:

Health Council of the Netherlands: Committee on Optical Radiation. Optical radiation. Health based exposure limits for electromagnetic radiation in the wavelength range from 100 nanometer to 1 millimeter. The Hague: Health Council of the Netherlands, 1993. Report 1993/09.

.....

auteursrecht voorbehouden

.....		
5.4	Lensschade	57
5.4.1	Fotochemische schade	57
5.4.2	Thermische schade	59
.....		
6	EFFECTEN OP HET NETVLIES	65
6.1	Inleiding	65
6.2	Thermische netvliesschade	67
6.3	Fotochemische netvliesschade	71
.....		
7	GEZONDHEIDSKUNDIGE ADVIESWAARDEN	75
7.1	Begripsomschrijving	75
7.2	Indeling	76
7.3	Advieswaarden voor erytheem, hoorn- en bindvliesschade	77
7.4	Advieswaarden voor thermische schade in huid en hoornvlies	83
7.5	Advieswaarden voor staar (schade aan de ooglens)	87
7.6	Advieswaarden voor netvliesschade	87
7.7	Effecten van chronische blootstelling aan optische straling	100
7.8	Slotopmerking	102
.....		
8	TERUGBLIK EN VERVOLG	103
8.1	Verschillen in aanbevelingen	103
8.2	Voorkomen is beter dan genezen	105
8.3	Rekenvoorbeelden	106
8.3.1	Praktisch vertaling is nodig	106
8.3.2	Nd:YAG-laser	106
8.3.3	Halogeen-gloeilamp	108
8.3.4	Zonbanken	110
8.4	Produktnormen	111
8.5	Wordt vervolgd?	112

.....

.....

LITERATUUR	113
------------	-----

.....

BIJLAGEN	119
----------	-----

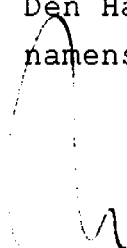
A	ADVIESAANVRAAG VAN DE MINISTER VAN SOCIALE ZAKEN EN WERKGELEGENHEID	121
B	SAMENSTELLING VAN DE COMMISSIE	123

.....


TEN GELEIDE

In het voorliggende advies beveelt de Commissie Optische straling van de Gezondheidsraad gezondheidkundige advieswaarden voor blootstelling aan optische straling aan. Het advies vervangt de aanbevelingen van de Gezondheidsraad uit 1978 over aanvaardbare niveaus van micrometerstraling. Met het uitbrengen van dit advies beschouwt de commissie haar taak als beëindigd.


Den Haag, 28 juni 1993
namens de commissie,



dr WF Passchier,
secretaris



dr JJ Vos,
voorzitter



~~prof dr D van Norren,~~
secretaris

.....

.....

.....

SAMENVATTING, GEZONDHEIDSKUNDIGE ADVIESWAARDEN

.....

Optische straling

Optische straling omvat infrarode straling, licht en ultraviolette straling. Het is een vorm van elektromagnetische straling met golflengten tussen 1 millimeter en 100 nanometer (één tienduizendste millimeter). De voornaamste bron van optische straling is de zon. Voorbeelden van kunstmatige bronnen van optische straling zijn: straalkachels, halogeenstralers voor verwarming en verlichting, gloeilampen, gasontladingsbuizen en diverse typen lasers. Overmatige blootstelling aan optische straling kan de gezondheid schaden. Bij welke niveaus dat gebeurt en welke effecten dan optreden, is onderwerp van dit advies. Mogelijke gezondheidsbevorderende effecten van optische straling blijven buiten beschouwing.

.....

Gezondheidskundige advieswaarden

Dit advies, dat is gevraagd door de Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en is opgesteld door een commissie van de Gezondheidsraad, mondt uit in voorstellen voor zogeheten gezondheidskundige advieswaarden. Onder 'gezondheidskundige advieswaarde' verstaat de commissie het hoogste, nog gezondheidskundig verantwoorde niveau van blootstelling aan optische straling. In het Engels zou men spreken van 'health based exposure limit'. Het beperken van stralingsniveaus tot onder deze advieswaarde vermijdt het optreden van gezondheidsschade, overgevoelige personen mogelijk uitgezonderd. De hier aanbevolen advieswaarden worden onderscheiden naar type schadelijke effect en naar huid en oog. Omdat optische straling slechts in geringe mate in biologisch weefsel doordringt, kan met het beschouwen van deze twee organen worden volstaan. Een uitzondering op deze regel

vormt licht (straling met golflengten tussen 400 tot 780 nanometer) dat vrijwel onverzwakt het oog passeert en pas in het netvlies wordt opgenomen.

Gezondheidskundige advieswaarden, zoals gegeven in dit advies, kunnen uitgangspunt vormen voor wettelijke maatregelen. De overheid kan er bijvoorbeeld grenswaarden voor blootstelling bij het werk op baseren; de advieswaarden kunnen ook worden gebruikt voor het opstellen van produktnormen voor stralingsbronnen en beschermingsmiddelen, zoals brillen.

.....

Eerdere adviezen van de Gezondheidsraad

Het voorliggende advies is een herziening van het advies over micrometerstraling dat de Gezondheidsraad in 1978 uitbracht. De gezondheidskundige advieswaarden die hier worden aanbevolen, vervangen de 'aanvaardbare stralingsniveaus' uit dat eerdere rapport en zijn daarmee in een aantal gevallen in getalswaarde identiek. Tevens zijn de aanbevelingen uit het Gezondheidsraadadvies van 1986 over ultraviolette straling verwerkt.

.....

Spectrale weegfuncties

De commissie drukt de aanbevolen gezondheidskundige advieswaarden uit in een waarde voor de totale bestralingsdosis, bestralingssterkte, de over de tijd geïntegreerde radiantie of de ingestraalde energie. Zij neemt in het algemeen aan dat de bijdragen van straling met verschillende golflengten als onderling onafhankelijk mogen worden beschouwd. In dat geval kan de golflengte-afhankelijkheid van de advieswaarde worden uitgedrukt in een spectrale weegfunctie. Bij deze benadering kan de voorwaarde om de blootstelling te beperken tot ten hoogste de advieswaarde in formulevorm worden weergegeven als:

$$\sum_{\lambda} (A_{\lambda} \times X'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq X_A$$

In deze uitdrukking is X de grootte die als maat voor de blootstelling wordt beschouwd (bijvoorbeeld de bestralingsdosis H) en waarvoor de gezondheidskundige advieswaarde X_A wordt aanbevolen. De over een smalle golflengteband $\Delta\lambda$ bij golflengte λ

gemiddelde spectrale waarde van X ($X'_\lambda \times \Delta\lambda$) dient te worden 'gecorrigeerd' met de weegfunctie A_λ alvorens vergelijking met de advieswaarde mogelijk is. De sommatie loopt over het gehele relevante deel van het stralingsspectrum.

.....

Erytheem, hoornvlies- en bindvliesschade

De commissie beveelt één advieswaarde aan voor erytheem van de huid en schade aan het hoornvlies en het bindvlies in het oog. Dit soort schade wordt veroorzaakt door ultraviolette straling (180 tot 400 nanometer). De gezondheidkundige advieswaarde H_λ voor de bestralingsdosis bij een golflengte van 270 nm is 30 J/m^2 voor blootstelling gedurende ten hoogste één etmaal; bij een andere golflengte λ is de advieswaarde voor de bestralingsdosis $30/Y_\lambda$. Het inacht nemen van deze advieswaarde komt in formulevorm neer op:

$$\sum_\lambda (Y_\lambda \times H'_\lambda \times \Delta\lambda) \leq 30 \text{ J/m}^2.$$

De waarden van Y_λ zijn in tabel 7.1 van het advies aangegeven. Voor het golflengtegebied van 100 tot 180 nanometer doet de commissie geen aanbeveling omdat de daarvoor benodigde gegevens ontbreken. In de praktijk is dat geen bezwaar omdat dit gebied geen stralingsbronnen kent die algemeen worden gebruikt, terwijl de straling bovendien sterk door lucht wordt geabsorbeerd.

.....

Thermische schade in huid en hoornvlies

Voor thermische schade in huid en hoornvlies laten de advieswaarden zich in termen van de bestralingsdosis formuleren als:

$$H_\lambda = 50/T_\lambda + 5,5 \times 10^3 (t)^{0,25} + 10^3 t \text{ [J/m}^2\text{]} \text{ (t in s)}.$$

In deze uitdrukking is t de blootstellingsduur. De spectrale weegfunctie T_λ , die de golflengte-afhankelijkheid van de advieswaarde beschrijft, is getabelleerd in tabel 7.2 en afgeleid van de mate waarin straling in weefsel doordringt. In het gebied van 600 tot 1900 nanometer gelden voor huid en oog verschillende waarden

.....

voor T_λ . Deze advieswaarden komen overeen met die uit het advies 1978.

Voor korte blootstellingsduren (korter dan 1 microseconde) bepaalt de doordringingsdiepte volledig de advieswaarde. Is de blootstellingsduur langer (meer dan ruwweg 1 minuut), dan is de advieswaarde onafhankelijk van de golflengte en komt ze overeen met een bestralingssterkte van 1 kW/m^2 .

.....

Staar

Voor staar beveelt de commissie een gezondheidkundige advieswaarde in termen van de bestralingssterkte aan. Deze bedraagt voor ultraviolette straling tussen 350 en 380 nanometer $0,25 \text{ kW/m}^2$ en bij een golflengte λ : $0,25/G_\lambda \text{ kW/m}^2$. In formulevorm:

$$\sum_\lambda (G_\lambda \times E'_\lambda \times \Delta\lambda) \leq 0,25 \text{ kW/m}^2.$$

De spectrale weegfunctie G_λ is gegeven in tabel 7.3.

.....

Netvliesschade

Thermische netvliesschade (netvliesverbranding) kan vooral optreden in het golflengtebereik van 300 nanometer tot 1400 nanometer (1,4 micrometer). Ook hier geldt een ingewikkelde afhankelijkheid van de golflengte en van de blootstellingsduur. Verder dient onderscheid te worden gemaakt tussen zogeheten punt- en veldbeelden, wat op empirische manier gebeurt met behulp van een kritische beelddiameter. De relatie tussen deze kritische beelddiameter en de blootstellingsduur is weergegeven in figuur 7.5.

Voor puntbeelden en een korte blootstellingsduur (minder dan 1 microseconde) is de advieswaarde voor de bestralingsdosis ter plaatse van het hoornvlies bij 550 nm gelijk aan $0,006 \text{ J/m}^2$. Bij grotere waarden van de blootstellingsduur (meer dan 1 s) beveelt de commissie, bij dezelfde golflengte, als advieswaarde voor de bestralingssterkte 20 W/m^2 aan. In formulevorm komt het inachtnemen van de gezondheidkundige advieswaarde neer op:

$$\sum_{\lambda} (F_{\lambda} \times H'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 0,006 + 20t \text{ [J/m}^2\text{]} \text{ (t in s)}.$$

De functie F_{λ} , die de golflengte-afhankelijkheid van de advieswaarde voor netvliesschade beschrijft, is getabelleerd in tabel 7.4; t is de blootstellingsduur.

Voor veldbeelden geldt overeenkomstig: advieswaarde voor de over de tijd geïntegreerde radiantie bedraagt bij korte blootstellingsduur (minder dan 1 microseconde) en een golflengte van 550 nanometer $1 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \times \text{sr})$, advieswaarde voor de radiantie bedraagt bij langere blootstellingsduur (meer dan 1 seconde) en een golflengte van 550 nanometer $100 \text{ kW}/(\text{m}^2 \times \text{sr})$. In formulevorm komt, voor veldbeelden, het inacht nemen van de gezondheidskundige advieswaarde neer op:

$$\sum_{\lambda} (F_{\lambda} \times L'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 10^3 + 5 \times 10^4 t^{1/3} + 10^5 t \text{ [J}/(\text{m}^2 \times \text{sr})\text{]} \text{ (t in s)}.$$

Naast netvliesverbranding kan optische straling in het ultraviolette en het zichtbare bereik ook fotochemische schade in het netvlies teweegbrengen ('blauw licht'-schade). De commissie beveelt in dit geval een gezondheidskundige advieswaarde voor de over de tijd geïntegreerde radiantie aan van $10^6 \text{ J}/(\text{m}^2 \times \text{sr})$ bij 440 nanometer aan. De integratietijd loopt hier over 1 etmaal. In formulevorm komt het inacht nemen van de gezondheidskundige advieswaarde voor 'blauw licht'-schade neer op:

$$\sum_{\lambda} (B_{\lambda} \times L'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 10^6 \text{ J}/(\text{m}^2 \times \text{sr}).$$

De functie B_{λ} , die de golflengte-afhankelijkheid van de advieswaarde voor de over de tijd geïntegreerde radiantie weergeeft, is opgegeven in tabel 7.5

Mensen bij wie de ooglenzen is verwijderd en die niet zijn voorzien van een implantlens die ultraviolette straling absorbeert, worden door het inacht nemen van de gegeven advieswaarde niet beschermd. Voor hen beveelt de commissie aan om, in plaats van de functie B_{λ} , een weegfunctie A_{λ} toe te passen, die eveneens in tabel 7.5 is aangegeven.

.....

.....

Huidkanker en netvliesschade op termijn

Twee vormen van schade heeft de commissie niet bij haar aanbevelingen betrokken. Voor een verhoogde kans op het optreden van huidkanker door blootstelling aan ultraviolette straling is een gezondheidskundige advieswaarde moeilijk aan te geven. Er is in dit geval geen drempel aan te geven waaronder zo'n verhoging bij het merendeel van de bevolking volstrekt niet optreedt. Wel wijst de commissie erop dat het inacht nemen van de door haar voor andere effecten aanbevolen advieswaarden bij blootstelling aan kunstmatige bronnen, tot geringere waarden van de bestralingsdosis leidt dan bijvoorbeeld het geval is bij mensen die geregeld werk buitenshuis verrichten of geregeld in de vrije tijd intensief zonnebaden.

Verder zijn er aanwijzingen dat bij langdurige blootstelling aan relatief lage stralingsniveaus (in het bijzonder van licht) ook een vorm van netvliesschade kan optreden. De commissie acht de kennis over deze zogeheten 'visueel pigment'-schade nog onvoldoende om gezondheidskundige advieswaarden te kunnen afleiden.

.....

Aanbevelingen van anderen

Bij haar aanbevelingen heeft de commissie voorstellen van anderen, in het bijzonder die van de American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), de International Electrotechnical Committee (IEC) en de International Non-Ionizing Radiation Committee van de International Radiation Protection Association (IRPA) betrokken. Waar zij dat wetenschappelijk verantwoord achtte, heeft ze zich bij de aanbevelingen van die instanties aangesloten. Op verscheidene punten meende zij echter voldoende steekhoudende argumenten te hebben om een eigen koers te varen. In hoofdstuk 7 en 8 licht zij dat toe.

De commissie benadrukt dat in een aantal gevallen de door andere instanties aanbevolen advieswaarden een grote veiligheidsmarge inhouden, waarvoor wetenschappelijk geen grond is. Dat kan leiden tot een, althans uit gezondheidskundige oogpunt, onnodige rem op de technische ontwikkeling van stralingsbronnen.

SUMMARY

of a report of a committee of the Health Council of the Netherlands

Optical radiation

Health based exposure limits for electromagnetic radiation in the wavelength range from 100 nanometer to 1 millimeter

Optical radiation

Optical radiation includes infrared radiation, light and ultraviolet radiation. It is a form of electromagnetic radiation with wavelengths between 1 millimetre and 100 nanometres (one ten-thousandth of a millimetre). The main source of optical radiation is the sun. Examples of artificial sources of optical radiation are electric radiators, halogen heaters and lamps, light bulbs, gas discharge tubes and various types of lasers. Excessive exposure to optical radiation can damage health. The levels at which this happens and the effects that occur are the subject of this report. Possible health-promoting effects of optical radiation are not considered.

Health-based exposure limits

This report, which was requested by the Minister of Social Affairs and Employment and was drawn up by a committee of the Health Council, recommends health-based exposure limits for optical radiation, that is the maximum levels of exposure which do not

present a health hazard. Keeping radiation levels below this limit prevents damage to health, except perhaps in the case of hypersensitive people. The recommended exposure limits are distinguished according to the type of harmful effect and the effect on skin and eyes. It is sufficient to consider the effect on these two organs since optical radiation penetrates biological tissue only to a limited extent. Light (visible radiation with a wavelength of between 400 and 780 nanometres) forms an exception to this rule since it passes through the eye almost without being reduced in strength and is absorbed only by the retina.

The health based exposure limits, such as are recommended, in this report, may be used as a basis for protection regulations. The authorities may derive maximum permissible exposure levels from them. Also, the recommended limits can be used for the derivation of product standards for radiation sources and personal protection devices, like safety goggles.

.....

Earlier Health Council reports

The present report constitutes a revision of the report on micrometre radiation published by the Health Council in 1978. The health-based exposure limits recommended here replace the 'acceptable radiation levels' from the earlier report; in several cases they are identical. The recommendations in the Health Council's 1986 report on ultraviolet radiation are also taken into account.

.....

Spectral weighting functions

The committee expresses the recommended health-based exposure limits as a value for the total radiant exposure, irradiance, time-integrated radiance or energy influx. In general it assumes that the contributions of radiation of different wavelengths may be regarded as mutually independent. This allows the dependence of the exposure limits on wavelength to be expressed in a spectral weighting function. The equation is as follows:

$$\sum_{\lambda} (A_{\lambda} \times X'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq X_A$$

In this equation X symbolizes as a measure of exposure (e.g. the radiant exposure H), for which the health-based exposure limit X_A is recommended. The spectral value of X (X'), averaged over a narrow wavelength band $\Delta\lambda$ at wavelength λ , should be corrected with the weighting function A_λ before a comparison can be made with the exposure limit. The function A_λ represents the dependence of the effectiveness of the radiation to induce the effect considered as a function of the wavelength λ . The summation comprises the entire relevant part of the radiation spectrum.

.....

Erythema, damage to the cornea and conjunctiva

The committee recommends one exposure limit for erythema of the skin and damage to the cornea and conjunctiva in the eye (keratitis and conjunctivitis). This type of damage is caused by ultraviolet radiation (180 to 400 nm). The health-based exposure limit H_A for the radiant exposure at a wavelength of 270 nm is 30 J/m² for exposure during a maximum of one day. At other wavelengths the exposure limit for the radiant exposure is equal to 30/ Y_λ J/m². This limit is expressed in the following equation:

$$\sum_{\lambda} (Y_{\lambda} \times H'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 30 \text{ J/m}^2$$

The values of Y_λ are given in table 7.1. For wavelengths from 100 to 180 nanometres, the committee makes no recommendation because the relevant data are not available. In practice, this has no serious consequences since there are no sources of radiation in this range which are in common use, and the radiation is absorbed in the air to a significant extent.

.....

Thermal damage to skin and cornea

For thermal damage to skin and cornea, the exposure limits can be expressed in terms of the radiation dose as follows:

$$H_A = 50/T_\lambda + 5.5 \times 10^3 (t)^{0.25} + 10^3 t \text{ [J/m}^2\text{]} \text{ (t in s)}$$

In this equation t is the exposure time. The spectral weighting function T_λ , that represents the wavelength dependence of the

recommended exposure limit for the radiant exposure, is given in table 7.2 and is derived from the penetration depth of the radiation in tissue. In the 600 to 1900 nanometre range, different T_λ values apply to skin and eye. These exposure limits agree with those in the 1978 report.

For short exposure times (less than 1 microsecond), the exposure limit is determined entirely by the penetration depth. For long exposure times (greater than about 1 minute), the exposure limit is independent of the wavelength and is equal to an irradiance of 1 kW/m².

.....

Cataracts

For cataracts, the committee recommends a health-based exposure limit expressed in terms of irradiance. This is a value of 0.25 kW/m² for ultraviolet radiation between 350 and 380 nanometres. At other wavelengths the recommended exposure limit for the irradiance is 0.25/G_λ kW/m². The equation is:

$$\sum_{\lambda} (G_{\lambda} \times E'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 0.25 \text{ kW/m}^2$$

The spectral weighting function G_λ is given in table 7.3.

.....

Damage to the retina

Thermal damage to the retina (retinal burn) occurs mainly in the wavelength range from 300 to 1400 nanometres (1.4 micrometres). Here, too, there is a complicated dependence on the wavelength and exposure time. In addition, a distinction should be drawn between 'point sources' and 'extended sources', this being done empirically with the help of a critical viewing angle. The relation between the critical angle and the exposure time is shown in figure 7.5.

For point sources and short exposure times (less than 1 microsecond), the exposure limit for the radiant exposure at the cornea at 550 nm is equal to 0.006 J/m². At longer exposure times (greater than 1 s), the committee recommends an exposure limit for the irradiance of 20 W/m² at the same wavelength. This exposure limit is expressed in the following equation:

$$\sum_{\lambda} (F_{\lambda} \times H'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 0.006 + 20t \text{ [J/m}^2\text{]} \text{ (t in s)}$$

The function F_{λ} , that represents the wavelength dependence of recommended exposure limit for the radiant exposure, is given in table 7.4; t is the exposure time.

For extended sources, the exposure limit for time-integrated radiance is 1 kJ/(m²×sr) for short exposure times (less than 1 microsecond) at a wavelength of 550 nanometres; the exposure limit for radiance is 100 kW/(m²×sr) for long exposure times (greater than 1 second) at a wavelength of 550 nanometres. This exposure limit is expressed in the following equation:

$$\sum_{\lambda} (F_{\lambda} \times L''_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 10^3 + 5 \times 10^4 t^{1/3} \text{ [J/m}^2\text{×sr]} \text{ (t in s)}$$

In addition to retinal burn, optical radiation in the ultraviolet and visible ranges can also cause photochemical damage to the retina ('blue light' damage). In this case, the committee recommends a health-based exposure limit for time-integrated irradiance of 10⁶ J/(m²×sr) at 440 nanometres; at other wavelengths the health based recommended time-integrated irradiance limit is 10⁶/B_λ J/(m²×sr). The integration time here is 1 day. This exposure limit is expressed in the following equation:

$$\sum_{\lambda} (B_{\lambda} \times L''_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 10^6 \text{ J/(m}^2\text{×sr)}.$$

The function B_{λ} , that represents the wavelength dependence of the exposure limit for 'blue light' damage, is given in table 7.5.

People who have had the lens of their eye removed and do not have an implanted lens which absorbs ultraviolet radiation are not protected by this exposure limit. For them, the committee recommends using a weighting function A_{λ} , which is also given in table 7.5, instead of the function B_{λ} .

.....

Skin cancer and retina damage in the long term

There are two forms of damage that the committee did not include in its recommendations. It is difficult to give a health-

based exposure limit for an increased risk of skin cancer resulting from exposure to ultraviolet radiation. In this case, no threshold can be given below which such an increase is ruled out among the majority of the population. The committee would, however, point out that, as far as exposure to artificial sources is concerned, observing the exposure limits it has recommended for other effects leads to lower radiant exposures than is the case, for example, with people who normally work outdoors or spend their leisure time in the burning sun.

There is evidence that damage to the retina can also occur in the event of long-term exposure to relatively low radiation levels (especially light). In the committee's opinion, knowledge of this 'visual pigment' damage is not yet sufficient to derive health-based exposure limits for it.

.....

Recommendations by other organisations

The committee took account in its recommendations of the proposals made by other organisations, especially the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), the International Electrotechnical Committee (IEC) and the International Non-Ionising Radiation Committee of the International Radiation Protection Association (IRPA). It adopted the recommendations of these organisations where it considered them to be scientifically sound. On certain points, however, it believed that it had sufficient solid arguments to pursue an independent course. This is discussed in chapter 7 and chapter 8 of the report.

The committee wants to point out that in some instances the recommended exposure limits from the other organisations mentioned imply an excessive safety margin, for which there is no scientific basis. This may hamper unnecessarily, at least from a public health point of view, the development of useful radiation sources.

1 INLEIDING

1.1 De adviesaanvraag en de commissie

Per brief van 29 mei 1990 verzocht de staatssecretaris van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur, namens de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, de voorzitter van de Gezondheidsraad om het advies over micrometerstraling uit 1978 te herzien. De tekst van de adviesaanvraag is opgenomen in bijlage A. Ter beantwoording van die vraag installeerde de voorzitter van de Gezondheidsraad op 19 juni 1990 de Commissie Optische straling, hierna te noemen: de commissie. De samenstelling van de commissie is weergegeven in bijlage B. Enkele leden van de commissie, waaronder de voorzitter, werkten destijds mee aan het genoemde advies over micrometerstraling.

1.2 Achtergrond

Het Gezondheidsraadadvies over micrometerstraling

In 1978 bracht de Gezondheidsraad advies uit over 'aanvaardbare niveaus voor elektromagnetische straling in het golflengtegebied tussen 100 nm en 1 mm (micrometerstraling)' (GR78). In dat advies werden de schadelijke biologische effecten van blootstelling van mensen aan elektromagnetische straling met de genoemde golflengten beschreven. De term 'micrometerstraling', die de opstellers van het advies uit 1978 introduceerden, is niet ingeburgerd geraakt. De commissie spreekt in het voorliggende advies in plaats daarvan over optische straling.

De in het advies van 1978 aanbevolen 'aanvaardbare stralingsniveaus' waren (uiteraard) gebaseerd op de toen bekende schadegrenzen. Het inacht nemen van deze niveaus moest schade aan

huid en oog bij onbedoelde blootstelling zoveel mogelijk voorkomen. De blootstellingslimieten waren niet bedoeld voor de toepassing van ultraviolette lampen of van lasers bij de behandeling van patiënten. In aansluiting bij de huidige terminologie zullen de vroegere 'aanvaardbare stralingsniveaus' in het voorliggende advies worden aangeduid als 'gezondheidskundige advieswaarden'.

Omdat de ontwikkeling van lasers en andere kunstmatige stralingsbronnen nog in volle gang was, evenals het onderzoek naar de schadelijke effecten van de blootstelling aan de straling van deze bronnen, meende de toenmalige commissie dat haar uitspraken over de blootstellingslimieten na uiterlijk vijf jaar aan een kritische beschouwing dienden te worden onderworpen.

.....

Nieuwe gegevens over de effecten van optische straling

Sedert 1978 zijn inderdaad nieuwe gegevens ter beschikking gekomen, in het bijzonder over de gevolgen van blootstelling van huid en oog aan ultraviolette straling, over warmtestaar in de ooglenzen en over lichtschade in het netvlies.

Het advies over ultraviolette (UV) straling dat de Gezondheidsraad in 1986 uitbracht (GR86), is een gedeeltelijke herziening van het advies over micrometerstraling en bevat een beschrijving van de inwerking van UV straling op het menselijk lichaam. Tevens bevelen de opstellers ervan richtlijnen aan voor bedoelde blootstelling aan ultraviolette straling bij het gebruik van zonnebanken, solaría en dergelijke bronnen. De commissie zal zich voor straling met golflengten kleiner dan 400 nanometer voornamelijk baseren op dat advies. Over de mogelijke invloed van UV straling op het immuunsysteem en op het ontstaan van melanomen heeft de Gezondheidsraad een afzonderlijk advies in voorbereiding.

De resultaten van onderzoek naar de mechanismen van staarvorming vereisen een herziening van het advies van 1978 op dit punt. Onderzoek naar de gevolgen van langdurige blootstelling van het netvlies aan straling met golflengten groter dan 400 nm leverde nieuwe gegevens over schadegrenzen en nieuwe theoretische concepten.

.....

1.3 Nieuw advies

.....

Aard

In het advies van 1978 wordt aangegeven waarom het aanbevelen van 'aanvaardbare stralingsniveaus' zinvol was. De commissie die het advies opstelde, wees op de opkomst van nieuwe en steeds sterkere bronnen van optische straling en noemde in het bijzonder de lasers. De ingebouwde, zintuiglijke waarschuwingsmechanismen van de mens, zoals het vermogen om warmte, pijn en licht waar te nemen, geven tegen blootstelling aan de straling van deze bronnen veelal geen afdoende bescherming.

De overheid is niet overgegaan tot het stellen van normen voor blootstelling aan optische straling, noch als onderdeel van het arbeidsomstandighedenbeleid, noch als onderdeel van het milieubeleid. Het advies van 1978 is dus geen grondslag voor normstelling geweest, zoals de toenmalige commissie voor ogen stond. Wel is het in de praktijk gebruikt als basisinformatie om het veilig gebruik van bronnen van optische straling te bewerkstelligen. De (huidige) commissie verwacht dat het voorliggende advies in elk geval deze rol van het eerdere rapport kan overnemen. Daarnaast heeft de Engelse vertaling van dat advies een rol gespeeld in de internationale discussie over normstelling in het optische-stralingsgebied (GR79).

.....

Aanvaardbare niveaus en gezondheidkundige advieswaarden

De term 'gezondheidkundige advieswaarde' heeft in dit advies dezelfde betekenis als 'aanvaardbaar niveau' in het advies uit 1978. Het laatste begrip doet echter sterk denken aan de term 'MAC-waarde', die in Nederland staat voor 'maximaal aanvaarde concentratie'. In die grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling aan een chemische stof is, naast een wetenschappelijk, ook een maatschappelijk oordeel verwerkt (MAC78). Aangezien dat laatste niet tot de competentie van de Gezondheidsraad behoort, heeft de commissie voor de andere aanduiding gekozen.

Opzet

De commissie beperkt zich in dit advies tot de biologische effecten van optische straling die kunnen leiden tot gezondheidsschade, en die van belang (kunnen) zijn voor de aan te bevelen gezondheidkundige advieswaarden. Gegevens over effecten die de gezondheid bevorderen of lijken te bevorderen, zal zij niet bespreken.

De commissie zal voor de onderbouwing van de door haar aanbevolen advieswaarden veelvuldig verwijzen naar de adviezen van 1978 en 1986, in het bijzonder daar waar de inzichten niet wezenlijk zijn gewijzigd. Slechts als zij duidelijk een andere koers vaart, geeft zij een nadere argumentatie.

Eerst omschrijft de commissie in hoofdstuk 2 enkele begrippen. In hoofdstuk 3 gaat zij globaal in op de inwerking van optische straling op biologisch weefsel, in hoofdstuk 4 behandelt zij de effecten op huidweefsel, in hoofdstuk 5 de inwerking van optische straling op de oogmedia, waarna in hoofdstuk 6 de netvliesschade meer speciaal aan de orde komt. In hoofdstuk 7 beveelt de commissie gezondheidkundige advieswaarden aan. In het laatste hoofdstuk (8) maakt zij enkele kanttekeningen die bij het in de praktijk brengen van haar aanbevelingen van belang kunnen zijn. Tevens laat zij aan de hand van voorbeeld-berekeningen zien hoe de aanbevolen advieswaarden kunnen worden gebruikt bij het beoordelen van de veiligheid van het toepassen van optische-stralingsbronnen.

.....

.....

2 BEGRIPPEN

.....

In dit hoofdstuk omschrijft de commissie verscheidene begrippen die verderop in het advies worden gebruikt. Tabel 2.1 geeft een overzicht van grootheden, gebruikelijke symbolen en eenheden.

.....

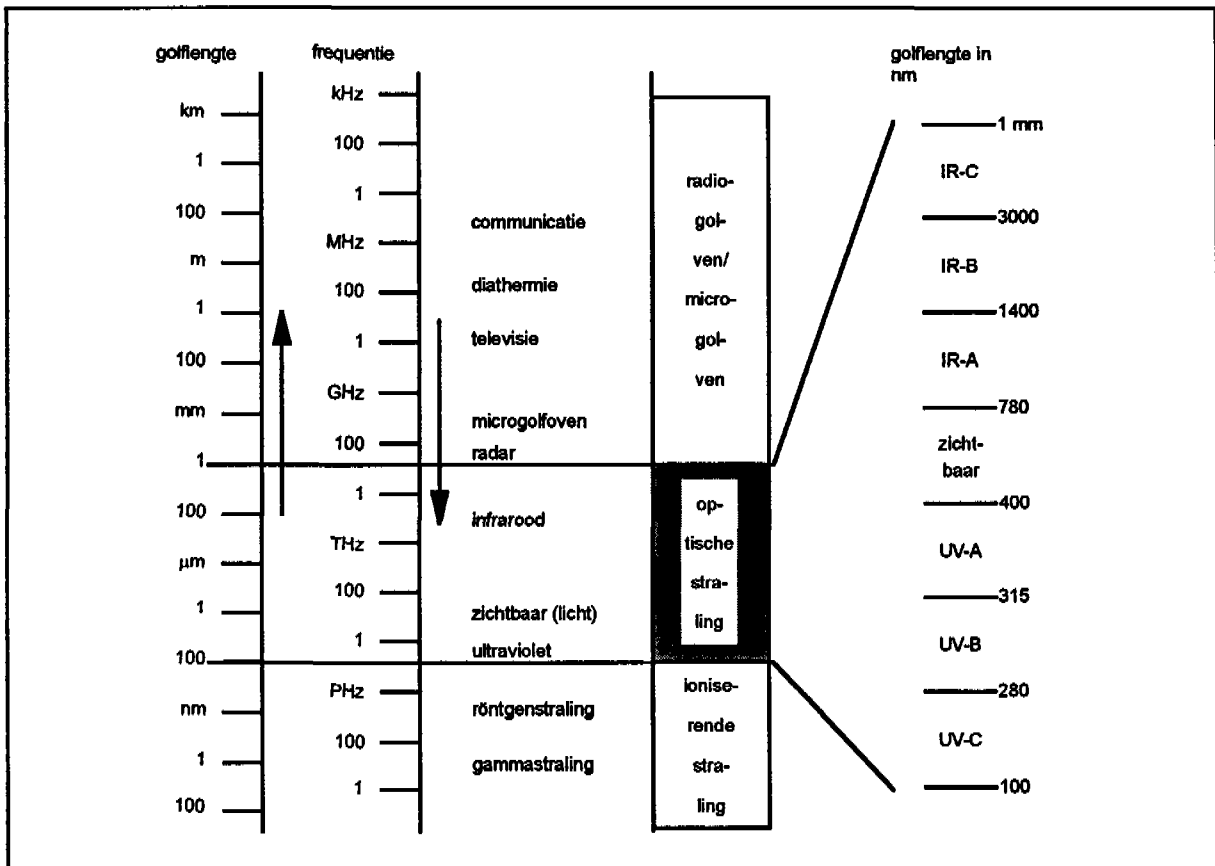
Elektromagnetische straling

Dit advies gaat over de mogelijke schadelijke werking van optische straling op biologisch weefsel. Optische straling is een vorm van elektromagnetische straling. Elektromagnetische straling wordt gekarakteriseerd door de frequentie (f). In plaats van de frequentie wordt ook de golflengte in het luchtledige (λ) gebruikt. Tussen beide grootheden bestaat een eenvoudig verband:

$$f = c / \lambda$$

waarin $c = 3 \times 10^8$ m/s (lichtsnelheid in vacuüm). De diverse vormen van elektromagnetische straling zijn naar frequentie en golflengte gerangschikt in figuur 2.1. Optische straling beslaat het golflengtebereik van 100 nanometer tot 1 mm en omvat de infrarode straling, het (zichtbare) licht en de ultraviolette straling. Bij kleinere golflengten komt men in het gebied van de ioniserende straling (röntgen- en gammastraling), bij de grotere in dat van de micro-, radio- en radargolven.

Een stralingsbron zendt in het algemeen straling van verscheidene golflengten uit. Het verband tussen de intensiteit van de uitgezonden straling en de golflengte wordt stralingsspectrum genoemd. De straling van lasers omvat één of enkele golflengten (lijnspectrum). Het stralingsspectrum op een bepaalde



Figuur 2.1. Elektromagnetische straling gerangschikt naar golflengte en frequentie, en enkele bijbehorende toepassingsgebieden (Bron: CIE87).

plaats kan verschillen van het spectrum bij de bron, afhankelijk van de absorptie, de verstrooiing en de reflectie die de straling heeft ondergaan (bijvoorbeeld in de lucht).

Verstrooiing, reflectie, absorptie, fluorescentie

Komt straling in aanraking met materie (bijvoorbeeld met de huid of het oog) dan kunnen zowel de voortplantingsrichting, als de intensiteit en de golflengte van de straling veranderen. Bij verstrooiing wordt veelal slechts de richting van de straling gewijzigd. Een speciaal geval van verstrooiing is reflectie aan oppervlakken. De mate van reflectie kan sterk afhankelijk zijn van de golflengte.

Bij absorptie wordt de stralingsenergie aan de materie overgedragen. Daardoor kunnen chemische reacties op gang komen

(bij extreem hoge intensiteiten vallen de moleculen geheel uiteen), maar ook kan de stralingsenergie geheel of gedeeltelijk in warmte worden omgezet. De warmte kan vervolgens weer worden afgestaan door het uitzenden van elektromagnetische straling met een (veel) grotere golflengte dan de oorspronkelijke ('warmtestraling'). Daarnaast kan een deel van de stralingsenergie weer (direct) als elektromagnetische straling worden uitgezonden. Men spreekt dan van fluorescentie. De golflengte van de fluorescentiestraling is altijd groter dan die van de invallende straling.

.....

Onderverdeling

Bij de bespreking van biologische effecten wordt optische straling veelal ingedeeld volgens de meest rechtse kolom van figuur 2.1. De biologische effecten veranderen niet abrupt bij de overgang van het ene naar het andere deelgebied; de relatie van de onderverdeling met biologische effecten is dan ook slechts globaal.

.....

Bestralingssterkte, bestralingsdosis en radiantie (CIE87)

De intensiteit van de straling die op de huid of op het oog valt, drukt men uit in de bestralingssterkte (Engels: irradiance). De bestralingssterkte is de door de straling getransporteerde energie die per tijdseenheid per oppervlakte-eenheid een bepaald vlak bereikt. De eenheid is W/m^2 en het gebruikelijke symbool E . Sommeert men de bestralingssterkte over een bepaalde periode dan krijgt men de bestralingsdosis (Engels: radiant exposure) met als eenheid J/m^2 en gebruikelijk symbool H .

De radiantie L is de energie die per tijdseenheid door een bundel binnen een bepaalde ruimtehoek in een bepaalde richting wordt getransporteerd. De eenheid is $W/(m^2 \times sr)$; sr staat voor steradiaal, de eenheid van ruimtehoek. De integraal van de radiantie over de tijd zal in dit advies worden aangeduid als geïntegreerde radiantie; symbool L^* en eenheid $J/(m^2 \times sr)$.

Ten slotte kan, vooral bij bestraling van het oog door lasers, het bestraalde oppervlak zo klein zijn, dat niet de bestralingsdosis maar de totaal ingestraalde energie (symbool Q , eenheid J) de effect-bepalende grootte is.

.....

.....

Spectrale werkzaamheid (actiespectrum)

De totale bestralingssterkte E in een golflengtegebied S wordt gegeven door:

$$E = \int_S E'(\lambda) d\lambda$$

In deze uitdrukking is $E'(\lambda) d\lambda$ de bestralingssterkte in een klein golflengtegebied $d\lambda$ bij golflengte λ ; $E'(\lambda)$ wordt de spectrale bestralingssterkte genoemd (gebruikelijke eenheid: $W/(m^2 \times nm)$). De bestralingssterkte (of de bestralingsdosis) is vaak een goede maat voor van effecten, maar de werkzaamheid van de straling kan van golflengte tot golflengte verschillen. Om dat in rekening te brengen is de zogenoemde effectieve bestralingssterkte $E_{eff,g}$ voor effect g ingevoerd:

$$E_{eff,g} = \int_S s_g(\lambda) E'(\lambda) d\lambda$$

De functie $s_g(\lambda)$ is de zogeheten spectrale werkzaamheid (spectrale werkingsfunctie of actiespectrum) voor effect g en geeft aan hoe de effectiviteit van de straling om effect g teweeg te brengen verandert met de golflengte λ . Bovenstaande uitdrukking wordt vaak als een som geschreven omdat bestralingssterkte en spectrale werkzaamheid veelal slechts voor golflengtebanden bekend zijn. De uitdrukking wordt dan:

$$E_{eff,g} = \sum_i s_{g,i} E'_i \Delta\lambda_i$$

$s_{g,i}$ is de over de golflengteband met breedte $\Delta\lambda_i$ bij golflengte λ_i gemiddelde waarde van $s_g(\lambda)$ en E'_i is de gemiddelde spectrale bestralingssterkte in golflengteband $\Delta\lambda_i$.

Min of meer arbitrair wordt s_g bij een bepaalde (referentie) golflengte gelijk gesteld aan 1. Het relateren van een effect aan een effectieve bestralingssterkte is alleen zinvol als de bijdragen tot het effect van straling met verschillende golflengten additief zijn.

Analoog aan de effectieve bestralingssterkte kan men een effectieve bestralingsdosis voor effect g , $H_{\text{eff},g}$, definiëren:

$$H_{\text{eff},g} = \int_S s_g(\lambda) H'(\lambda) d\lambda$$

of

$$H_{\text{eff},g} = \sum_i s_{g,i} H'_i \Delta\lambda_i .$$

Het is alleen zinvol dit te doen als het effect onafhankelijk is van de wijze waarop de bestralingssterkte verandert in de tijd waarin een bepaalde bestralingsdosis wordt ontvangen.

.....

De commissie formuleert haar aanbevelingen voor gezondheidskundige advieswaarden in termen van weegfuncties die goed zijn te vergelijken met de hiervoor genoemde spectrale werkzaamheid $s_g(\lambda)$. Deze weegfuncties zijn opgesomd in tabel 2.1 en worden verder besproken in hoofdstuk 7.

Tabel 2.1. Overzicht van de in dit hoofdstuk besproken grootheden, met de bijbehorende eenheden en de gebruikelijke symbolen.

grootheid	symbool	eenheid
golflengte	λ	m ^s
energie	Q	J
bestralingssterkte	E	W/m ²
spectrale bestralingssterkte	E' _{λ}	W/(m ² ×m) ^{ss}
bestralingsdosis	H	J/m ²
spectrale bestralingsdosis	H' _{λ}	J/(m ² ×m) ^{ss}
radiantie	L	W(m ² ×sr)
spectrale radiantie	L' _{λ}	W(m ² ×sr×m) ^{ss}
geïntegreerde radiantie	L*	J/(m ² ×sr)
equivalente doordringingsdiepte van huid en netvlies (tabel 4.1) ^{sss}	d _e	m ^s
weegfuncties voor		
- fotochemische schade in huid, hoornvlies en bindvlies tabel 7.1	Y _{λ}	
- thermische schade in huid en hoornvlies tabel 7.2	T _{λ}	
- staar tabel 7.3	G _{λ}	
- netvliesverbranding tabel 7.4	F _{λ}	
- 'blauw licht'-schade in het netvlies tabel 7.5	B _{λ}	
- 'blauw licht'-schade in het netvlies van afaken en pseudofaken tabel 7.5	A _{λ}	

^s In dit advies meestal in nanometer (nm) of micrometer (mm).

^{ss} In plaats van per m, meestal per nm.

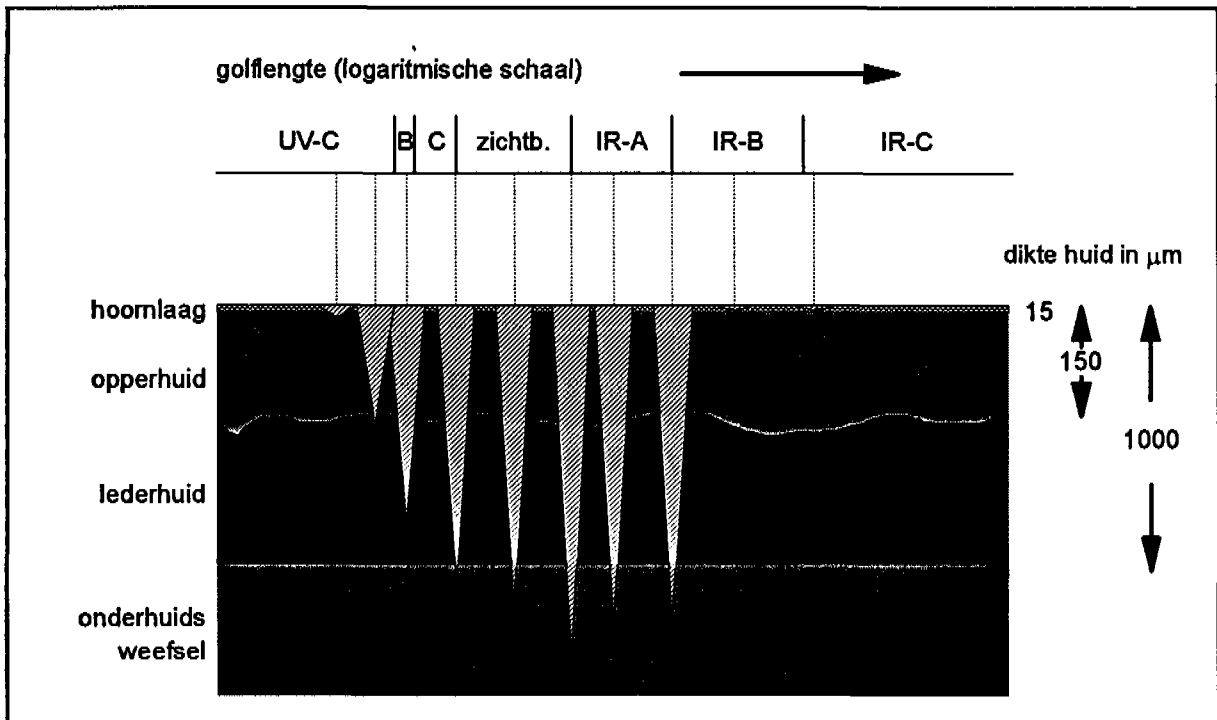
^{sss} Komt aan de orde in hoofdstuk 4.

3 OVERZICHT

3.1 Optische straling

Het golflengtegebied van 100 nm tot 1 mm kan men als een afzonderlijk gebied binnen het spectrum van elektromagnetische straling beschouwen (figuur 2.1). De biologische werking van de optische straling en de aard van de optische-stralingsbronnen geven samen dit gebied een eigen karakter. Optische straling aan de kortgolvlige zijde van het gebied zal in hoofdzaak een fotochemische werking hebben die zich bijvoorbeeld zal uiten als zonnebrand. Aan de langgolvlige zijde is de inwerking thermisch van aard, hetgeen uiteraard ook weer chemische gevolgen kan hebben. In dit advies gaat de commissie voornamelijk in op de gevolgen van blootstelling aan optische straling met golflengten groter dan 180 nm. Over de gevolgen van straling met kleinere golflengten zijn nauwelijks onderzoeksgegevens voorhanden. Er zijn geen stralingsbronnen in dat gebied die op grote schaal worden gebruikt, terwijl de straling sterk wordt geabsorbeerd in de lucht. Het ontbreken van gezondheidkundige advieswaarden voor het golflengtegebied van 100 tot 180 nm zal, naar het inzicht van de commissie, daarom geen grote maatschappelijke consequenties hebben.

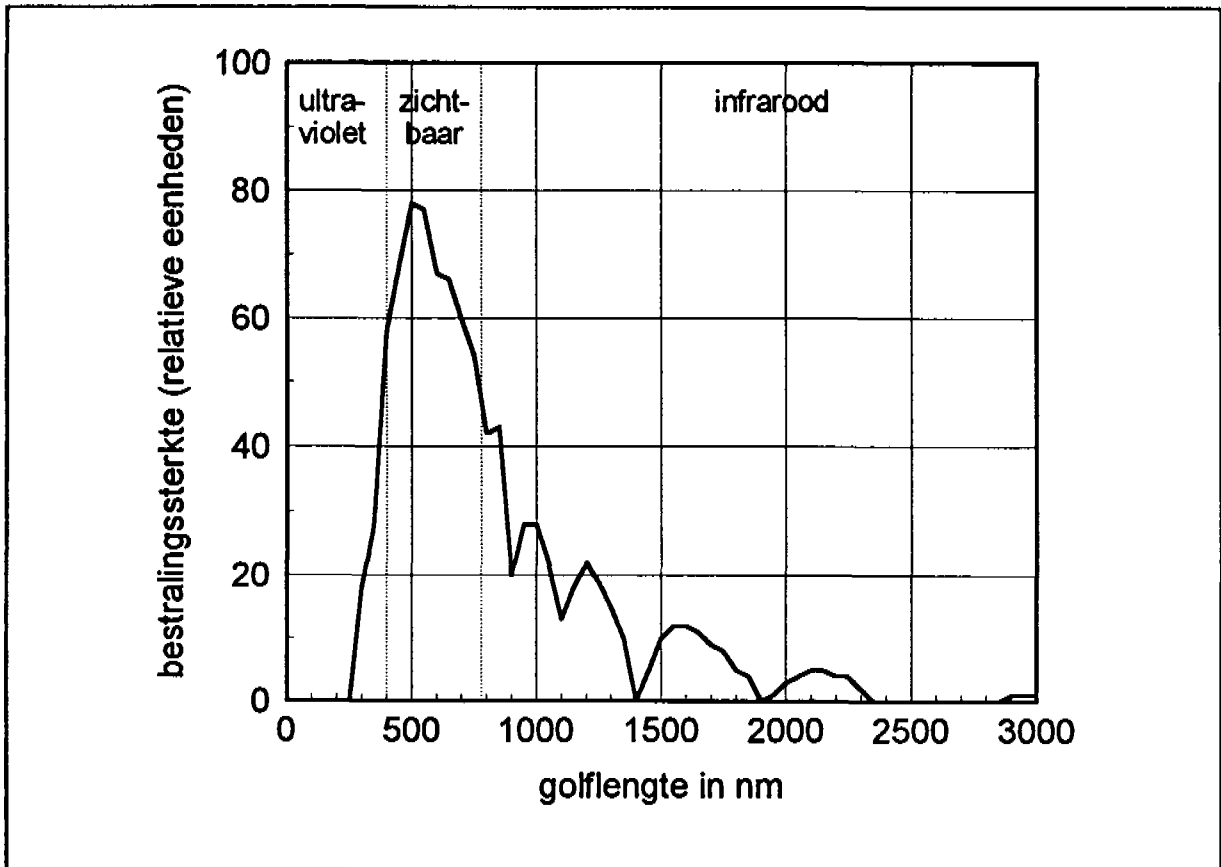
Zowel de röntgenstraling uit het kortgolvlige buurgebied, als de microgolven uit het langgolvlige buurgebied kunnen tamelijk diep in het lichaam doordringen, namelijk van enkele millimeters tot praktisch volledig. De indringing van optische straling blijft in het algemeen beperkt tot de meest oppervlakkige buitenlaag, dat wil zeggen van enkele micrometers tot ten hoogste enkele millimeters. Figuur 3.1 geeft daarvan een schematisch beeld voor de huid. Voor het oog geldt een dergelijk beeld, behalve voor de zichtbare straling. In dit geval kan men echter het netvlies



Figuur 3.1. Schematisch overzicht van de transmissie van optische straling door de diverse lagen van de huid. De aangegeven doordringingsdiepten corresponderen ruwweg met een restintensiteit van 1%. De dikten van hoornlaag, opperhuid en lederhuid zijn niet op schaal getekend. (Bron: vrij naar Gie76 en Par78).

beschouwen als de shadebepalende oppervlaktestructuur, zij het met een 'voorzetoptiek'. Zoals de commissie verderop zal bespreken kan ook deze 'voorzetoptiek' - hoornvlies, lens en iris - shade oplopen.

De voornaamste bron van optische straling is de zon. Het stralingsspectrum van de zon is weergegeven in figuur 3.2. In de atmosfeer wordt een deel van de kortgolvlige ultraviolette straling door ozon geabsorbeerd. Waterdamp en koolzuurgas absorberen straling in het infrarode gebied. Voorbeelden van kunstmatige bronnen van optische straling zijn: straalkachels, halogeenstralers voor verwarming en verlichting, gloeilampen, gasontladingsbuizen al dan niet voorzien van een fluorescentiecoating (neonverlichting, natriumstraatverlichting, TL-lampen) en diverse typen lasers.



Figuur 3.2. Spectrum van de straling van de zon op het aardoppervlak (relatieve eenheden). De ongelijkmatige vorm vindt zijn oorzaak in de absorptie van straling door ozon, zuurstof, waterdamp en koolzuurgas in de atmosfeer. (Bron: vrij naar Gie76).

Al deze bronnen kan men als typisch voor het optische gebied beschouwen. Straling met kortere golflengten wordt uitgezonden door röntgenbuizen en radioactieve stoffen. In het microgolfg gebied zijn magnetrons en klystrons karakteristieke stralers.

3.2 Effecten

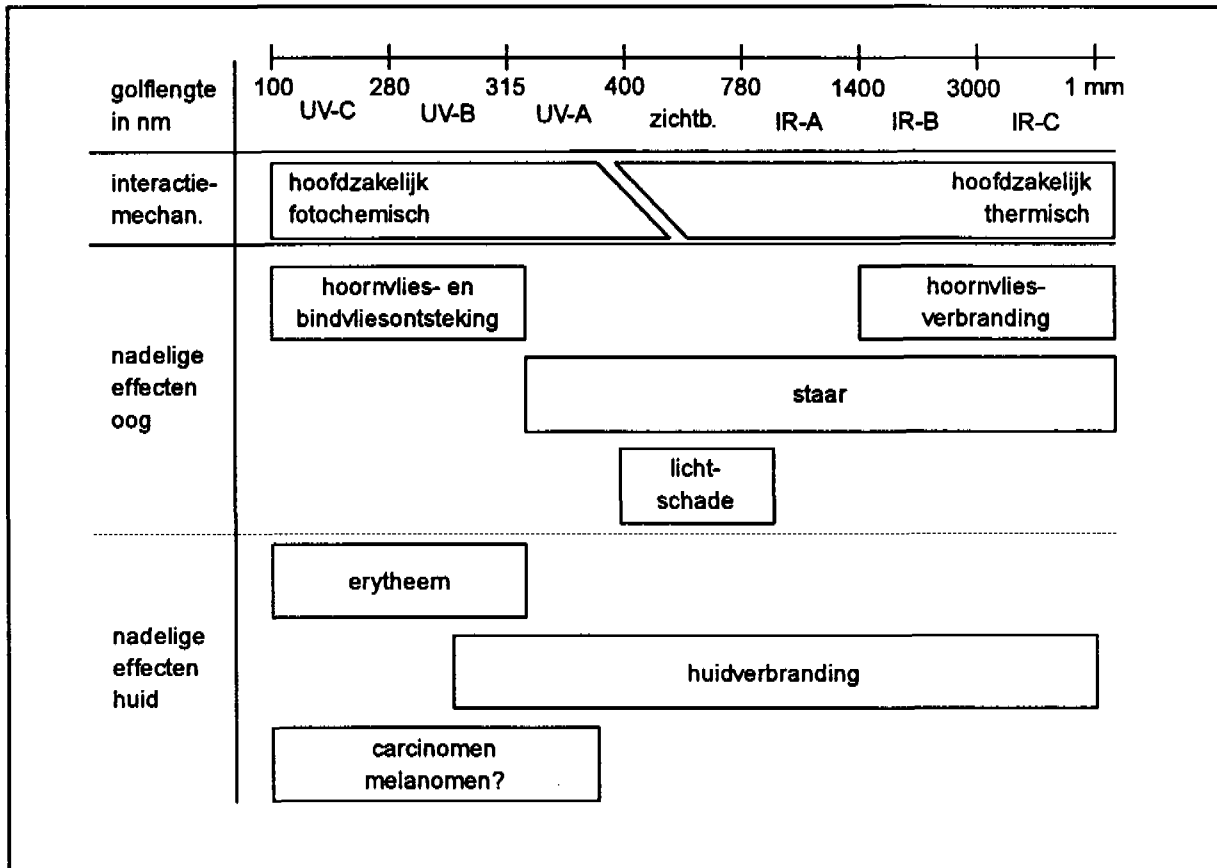
Door de afgifte van stralingsenergie aan het weefsel kunnen verschillende processen in gang worden gezet. De aard van het proces hangt af van de energie van de straling (gekaracteriseerd door de golflengte), de intensiteit en de tijdsduur van de inwerking van de straling op het weefsel. De resulterende effecten vallen uiteen in fotomechanische, fotochemische en thermische.

Fotomechanische effecten treden alleen op bij zeer hoge bestralingssterkten, zoals die kunnen worden veroorzaakt door lasers met stralingspulsen die korter duren dan ruwweg een microseconde. Bij enkele medische behandelingen vinden deze effecten toepassing. Voor het onderhavige advies zijn ze niet van belang; al bij lagere bestralingssterkten en -doses treedt gezondheidsschade door fotochemische of fotothermische werking op, zodat de daarop gebaseerde gezondheidskundige advieswaarden ook bescherming bieden tegen fotomechanische effecten.

Bij fotochemische reacties verandert in eerste instantie de moleculaire structuur door absorptie van stralingsenergie. Hoornvliesontsteking of erytheem van de huid kan daaruit voortvloeien. Ook bij processen die voor het organisme noodzakelijk zijn, zoals de produktie van vitamine D onder invloed van zonnestraling en het proces van het zien, speelt de fotochemische wisselwerking tussen straling en weefsel een rol. Het proces dat leidt tot 'zien', vangt aan met absorptie van zichtbare straling in de lichtgevoelige elementen in het netvlies (de 'netvliesreceptoren'). Bij overmatige blootstelling kan blijvende schade ontstaan, de zogenoemde 'lichtschade'.

De geabsorbeerde stralingsenergie kan ook worden omgezet in warmte. De temperatuurstijging van het weefsel is afhankelijk van de hoeveelheid geabsorbeerde energie en van het volume en de tijd waarin absorptie plaatsvindt. De warmte wordt door convectie, verdamping of straling, weer afgestaan aan de omgeving, of door geleiding aan omliggend weefsel en dan voornamelijk via de bloedstroom afgevoerd. Naarmate het bestraalde oppervlak kleiner is en de blootstellingsduur langer, heeft de geleiding een grotere invloed op de te bereiken eindtemperatuur. De temperatuurstijging kan tot het afsterven van weefselcellen leiden. Dit hoeft echter geen gevolgen te hebben voor het functioneren van het organisme als geheel. Langdurige temperatuursverhoging van grote delen van organen (tot boven 42 °C) kan tot ernstige schade leiden.

Kenmerkend voor de fotochemische effecten is dat er een zekere tijd verstrijkt tussen de inwerking van de straling en het aan de dag treden van de schade. Thermische effecten manifesteren



Figuur 3.3. Globaal overzicht van fotochemische en thermische effecten van optische straling in weefsel, in afhankelijkheid van de golflengte. De rol van UV straling bij het optreden van melanomen is niet goed bekend. (Bron: vrij naar Sli85).

.....

zich daarentegen meestal vrijwel onmiddellijk na de blootstelling aan de straling.

.....

Figuur 3.3 is een overzicht van de voornaamste effecten gerangschikt naar de golflengte van de straling.

.....

4 EFFECTEN IN DE HUID

4.1 Inleiding

De commissie behandelt in dit hoofdstuk de fotochemische en fothermische effecten van absorptie van optische straling in de huid. Tot de schadelijke fotochemische effecten, die in het bijzonder door UV straling worden veroorzaakt, behoren erytheem van de huid ('zonnebrand') en de verhoogde kans op het optreden van huidkanker. Fothermische effecten variëren, afhankelijk van de bereikte eindtemperatuur, duur van de blootstelling en grootte van het bestraalde oppervlak, van een lichte warmtesensatie tot ernstige verbranding en blijvende schade aan de huid.

Inwerking van UV straling op de huid kan door verdikking van de opperhuid (epidermis) en bruining bescherming bieden tegen de gevolgen van latere blootstelling. Verder stimuleert UV straling de produktie van vitamine D. De warmte van infrarode straling kan een heilzaam effect hebben. Op deze en andere effecten die de gezondheid bevorderen of mogelijk bevorderen, gaat de commissie in dit advies niet in.

In paragraaf 4.2 bespreekt de commissie het optreden van erytheem door inwerking van UV straling op de huid. Effecten die zijn waargenomen bij langdurende blootstelling aan UV straling, komen in de daarop volgende paragraaf aan de orde. Deze twee paragrafen geven een samenvatting van hetgeen het advies over UV straling uit 1986 (GR86) hierover vermeldt, voorzien van een enkele aanvulling. Thermische huidschade komt in paragraaf 4.4 aan bod.

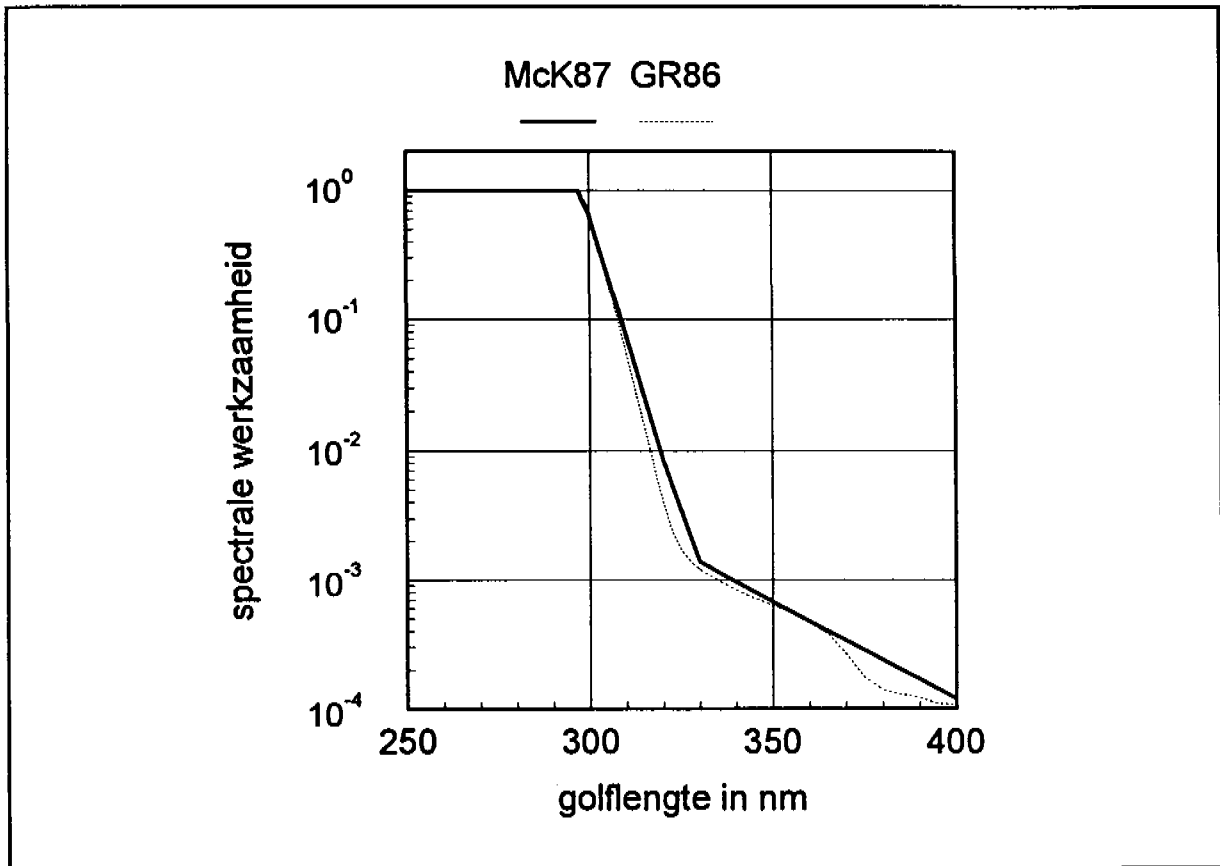
.....

4.2 Erytheem van de huid

Erytheem is algemeen bekend als 'zonnebrand' (zonnebrand is eigenlijk een verzamelnaam voor erytheem, vervelling, pijngevoel, jeuk, en mogelijk blaarvorming als gevolg van blootstelling aan zonnestraling en UV straling). De huid wordt, wanneer de UV-bestralingsdosis een bepaalde drempelwaarde overschrijdt, na enkele uren rood door verwijding van de bloedvaten in de huid. UV-bestralingsdoses die binnen een periode van grofweg 8 uur worden ontvangen, 'tellen op' voor het optreden van erytheem. Verstrijkt een langere periode tussen opeenvolgende bestralingen dan dragen de eerdere bestralingen in geringere mate of in het geheel niet bij. Verder kan onder invloed van eerdere bestralingen de opperhuid zijn gebruikt en verdikt, waardoor een grotere bestralingsdosis nodig is om erytheem op te wekken (vooral verdikking is effectief). Erytheem verdwijnt meestal binnen enkele dagen. Het verschijnsel kan gepaard gaan met irritatie en een brandend gevoel, en gevolgd worden door blaarvorming en vervelling. Bij een aanmerkelijke overschrijding van de drempeldosis in grote delen van de huid - zoals die tijdens een langdurig verblijf aan een zonnig strand kan optreden - kunnen levensbedreigende verbrandingen ontstaan.

De bestralingsdosis die minimaal nodig is om erytheem op te wekken, hangt af van de golflengte van de straling en van de gevoeligheid van de huid. Uit onderzoek naar de relatie tussen het optreden van erytheem en de golflengte blijkt dat UV-C en UV-B straling veel effectiever erytheem opwekken dan UV-A straling. Bij blootstelling aan zonnestraling is erytheem voornamelijk het gevolg van de daarin aanwezige UV-B straling (zonnestraling bevat aan het aardoppervlak praktisch geen UV-C straling).

In het in 1986 uitgebrachte advies over UV straling zijn gegevens over de minimaal benodigde bestralingsdosis bij diverse golflengten vermeld (GR86). Of straling van verschillende golflengten in dezelfde mate erytheem opwekt als monochromatische straling, is niet goed bekend. Vooralsnog lijkt een onafhankelijke (additieve) werking de beste kwantitatieve beschrijving te geven. Het is dan mogelijk het stralingspectrum te wegen met behulp van een spectrale werkingsfunctie. Op deze wijze kan men de erytheem-



.....
 Figuur 4.1. Spectrale werkzaamheid voor erytheem, zoals voorgesteld door de Gezondheidsraad (GR86) en door McKinlay (McK87).

effectieve bestralingssterkte en erytheem-effectieve bestralingsdosis bepalen (zie hoofdstuk 2). De spectrale werkzaamheid wordt afgeleid door de reciproke te nemen van de functie die de relatie tussen de minimaal benodigde bestralingsdosis en de golflengte het best beschrijft.

De spectrale werkingfunctie voor erytheem die men voor beschermingsdoeleinden kan gebruiken, is de afgelopen jaren in diverse internationale commissies onderwerp van discussie geweest. In figuur 4.1 zijn de door de Gezondheidsraad in 1986 aanbevolen functie en het voorstel van McKinlay (McK87) weergegeven. Dit laatste, dat overigens in grote lijnen met dat van de Gezondheidsraad overeenkomt, is in kringen van de Commission Internationale de l'Eclairage en de International Electrotechnical Committee aanvaard (officieel alleen door de IEC; de functie is ook opgenomen in Europese norm EN 60335-2-27). De commissie ziet

geen wetenschappelijke bezwaren tegen de overname ervan in Nederland. Zoals in de figuur is te zien, is de spectrale werkzaamheid bij 297 nm genormaliseerd op 1.

De minimale erytheemdosis verschilt van individu tot individu. Internationale adviescommissies hebben voor deze grootte een referentiewaarde opgesteld, de zogenoemde MED. De MED op basis van het voorstel van McKinlay correspondeert met een erytheem-effectieve bestralingsdosis van 250 J/m^2 (dit getal komt redelijk overeen met de 200 J/m^2 op basis van de spectrale werkzaamheid die de Gezondheidsraad in 1986 aanbeval). Deze waarde geldt voor de drempel voor erytheem van de huid van blanke personen die in de zon geleidelijk bruinen. Het gaat om huid die gedurende langere tijd niet aan de zon is blootgesteld geweest. Mensen met een donkere huid krijgen pas erytheem bij een 3 tot 5 maal grotere bestralingsdosis. Daarentegen zullen mensen die nooit bruinen, zoals roodharige, sproetige personen van veelal Keltische (Iers-Schotse) afkomst, al erytheem krijgen bij een erytheem-effectieve bestralingsdosis die een factor 2 tot 3 kleiner is dan de MED. Verder lijkt de gevoeligheid voor erytheem niet sterk af te hangen van de leeftijd (Cox92). Een erytheem-effectieve bestralingsdosis van 50 J/m^2 of minder zal alleen bij overgevoelige personen erytheem teweeg kunnen brengen.

.....

4.3 Huidveroudering en huidkanker

Bij chronische blootstelling van de huid aan UV straling kunnen op den duur onomkeerbare effecten optreden: versnelde huidveroudering en huidkanker. Bij het ontstaan van huidtumoren speelt de inwerking van UV straling op het immuunsysteem een rol. Die inwerking zou mogelijk ook andere gezondheidseffecten kunnen hebben. De Gezondheidsraad zal op de invloed van UV straling op het immuunsysteem, zowel in relatie tot het ontstaan van huidtumoren als tot een mogelijke vergroting van de vatbaarheid voor andere aandoeningen, in een afzonderlijk advies ingaan. Het is naar het inzicht van de commissie op dit ogenblik nog niet mogelijk de aan die inwerking verbonden gezondheidsrisico's in maat en getal uit te drukken. (Kri91).

.....

.....

Huidveroudering

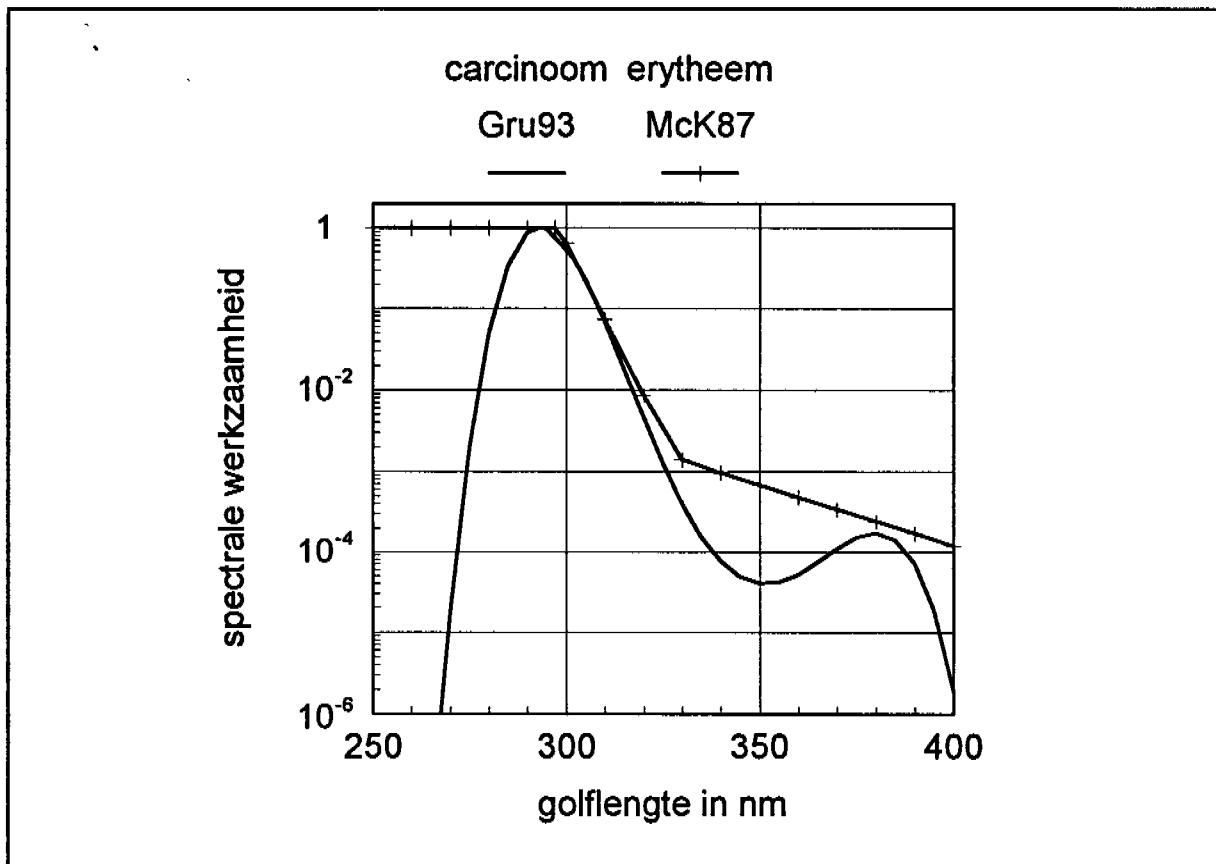
Bij het ouder worden verliest de huid haar elasticiteit, en wordt rimpelig en vlekkelig (zogenoeten 'levertvlekken'). UV straling versnelt dit proces. Aanwijzingen daarvoor vindt men uit het vergelijken van de huid van mensen die relatief veel aan zonnestraling zijn blootgesteld, zoals agrariërs, wegwerkers en zeelieden, met die van weinig door de zon bestraalde personen. Ook bij proefdieren is de versnelde veroudering van de huid door UV straling aangetoond. Voor zover bekend, heeft de veroudering van de huid geen nadelige invloed op de gezondheid (afgezien van een mogelijk psychologische). De spectrale werkingsfunctie voor huidveroudering is niet bekend. Wel zijn er aanwijzingen dat blootstelling aan zowel UV-B straling als UV-A straling een rol kan spelen (Kli87, Gil86).

.....

Huidcarcinomen

Een huidcarcinoom is een kwaadaardig gezwel van huid-epitheelcellen. Twee veel voorkomende typen huidcarcinomen zijn: basaalcelcarcinomen en plaveiselcelcarcinomen. De eerstgenoemde komen bij blanken ongeveer vier maal vaker voor dan de laatstgenoemde. Beide treden het meest op (voor meer dan tachtig procent) op huidgedeelten die geregeld aan zonnestraling worden blootgesteld. De kans op huidcarcinomen neemt toe met de mate van blootstelling aan zonnestraling; mensen met een lichte huid zijn gevoeliger dan donkergekleurde mensen. De meeste huidcarcinomen zijn door verwijdering te genezen; naar schatting is de sterfte door huidcarcinomen minder dan één procent van de incidentie.

Voor het ontstaan van huidcarcinomen onder invloed van UV straling kan geen drempelwaarde worden gegeven. Er bestaat steeds een zekere kans op het ontstaan van een kwaadaardige huidtumor. Deze kans neemt duidelijk toe met toenemende UV-bestralingsdosis. Zo blijkt het optreden van basaalcelcarcinomen ongeveer evenredig te zijn met het kwadraat van de regelmatig ontvangen (jaarlijkse) bestralingsdosis en het optreden van plaveiselcelcarcinomen zelfs met de derde macht van de dosis (Sla86, GR86).



Figuur 4.2. Spectrale werkzaamheid voor huidcarcinomen, zoals voorgesteld door De Gruijl en collega's (Gru93). Ter vergelijking is ingetekend de spectrale werkzaamheid voor erytheem volgens de voorstellen van McKinlay (McK87).

Het advies van 1986 bevat de aanbeveling om vooralsnog voor huidcarcinomen de spectrale werkzaamheid voor erytheem te gebruiken. Sindsdien zijn echter meer gegevens beschikbaar gekomen over het ontstaan van huidkanker in muizen die aan UV straling waren blootgesteld. Sterenborg publiceerde gegevens over het optreden van huidkanker bij 50% en 5% van de proefdieren als functie van de golflengte (Ste87). Onlangs hebben De Gruijl en anderen ook de gegevens geëvalueerd die sedert 1987 bekend zijn geworden. Uit alle beschikbare gegevens te zamen hebben zij een spectrale werkingsfunctie voor huidcarcinomen afgeleid (UNEP91, Gru93); zie figuur 4.2. Voor berekeningen ter beoordeling van het risico op huidkanker na blootstelling aan UV straling bij de mens is deze functie naar het oordeel van de commissie het meest aangewezen.

.....

.....

Melanomen van de huid

Melanomen zijn kwaadaardige tumoren van de pigmentcellen (melanocyten). Zij komen minder voor dan huidcarcinomen, maar zijn agressiever en zaaien in veel grotere mate uit. De incidentie van melanomen is de laatste decennia aanzienlijk toegenomen. Blootstelling aan zonnestraling blijkt van invloed te zijn op het ontstaan van bepaalde typen van melanomen. Dit blijkt onder andere uit de volgende bevindingen (Kam87):

- de verdeling van melanomen over het lichaam lijkt mede te zijn bepaald door de mate waarin kleding bescherming biedt tegen zonnestraling
- het optreden van (bepaalde typen) melanomen staat in verband met de duur van blootstelling aan zonnestraling (o.a. van lentigo maligna)
- het voorkomen van (bepaalde typen) melanomen lijkt in verband te staan met frequente zonnebrandreacties in het verleden.

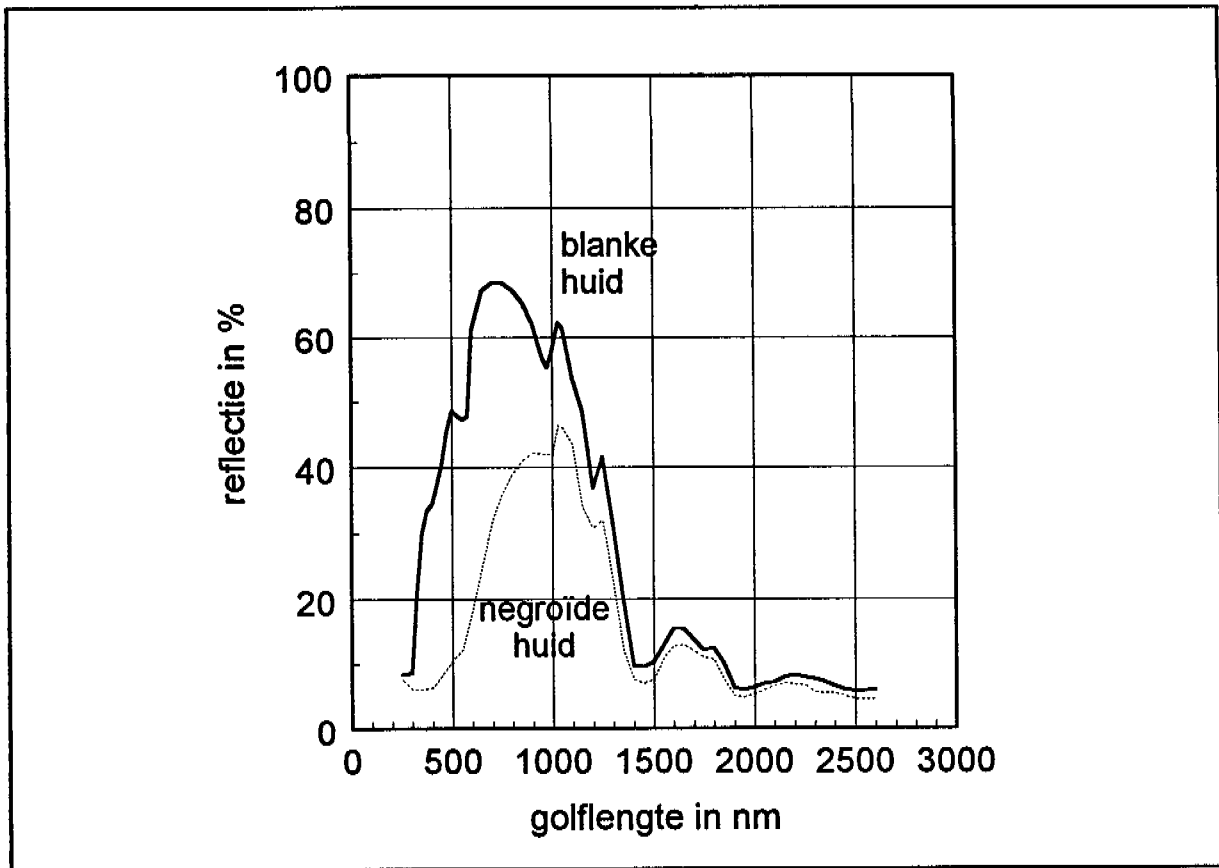
Voorts zijn overerfbare eigenschappen, zoals het hebben van een huid die gevoelig is voor zonnebrand, en de aanwezigheid van veel moedervlekken, risicofactoren (Koh91). Daarnaast is het mogelijk gebleken in twee soorten proefdieren melanomen door blootstelling aan UV straling op te wekken (Set89, Ley89).

De commissie acht het niet mogelijk om de thans beschikbare gegevens over het optreden van melanomen na blootstelling aan UV straling te gebruiken bij het afleiden van gezondheidskundige advieswaarden.

.....

4.4 Thermische huidschade

Als gevolg van de absorptie van stralingsenergie kan het huidweefsel warm worden. Ook in het omliggende, niet bestraalde weefsel stijgt de temperatuur door warmtedissipatie. De temperatuurstijging zal afhankelijk zijn van de mate waarin de huid de straling reflecteert en absorbeert en van de warmte-afgifte aan het omringende weefsel en de omgeving (en dus van de grootte van het bestraalde oppervlak; WHO82, Mar70, Bra88).

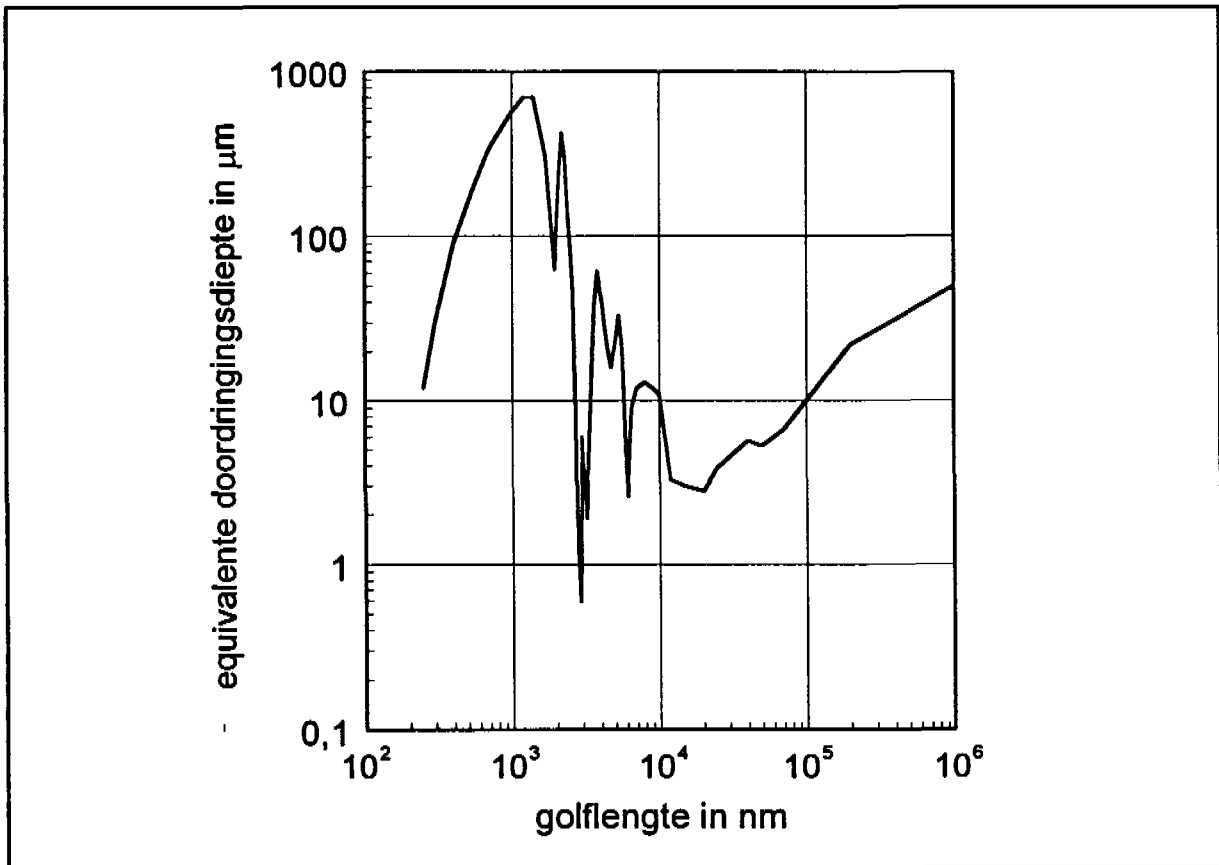


Figuur 4.3. Reflectie (in procent) als functie van de golflengte, voor een blanke huid en voor een zeer donkere huid. (Bron: Jac56).

Stijging van de temperatuur beïnvloedt de biochemische processen in en tussen de lichaamcellen; bij hogere temperaturen treden onomkeerbare verschijnselen op. Boven 41,5 °C veranderen eiwitten van structuur en vlokken uit, verliezen enzymen hun activiteit, verandert de doorlaatbaarheid van de celwanden en stagneert de aanmaak van DNA en van eiwitten. Langdurige temperatuurverhoging tot boven 43 °C leidt tot het afsterven van cellen (Mal86).

De temperatuur van de huid is normaal lager dan die in het lichaam. Absorptie van straling in de huid geeft een warmtesensatie. De pijngrens ligt bij een huidtemperatuur van omstreeks 45 °C.

De huid reflecteert vooral de straling in het zichtbare spectraalgebied. In figuur 4.3 is de spectrale reflectie voor een



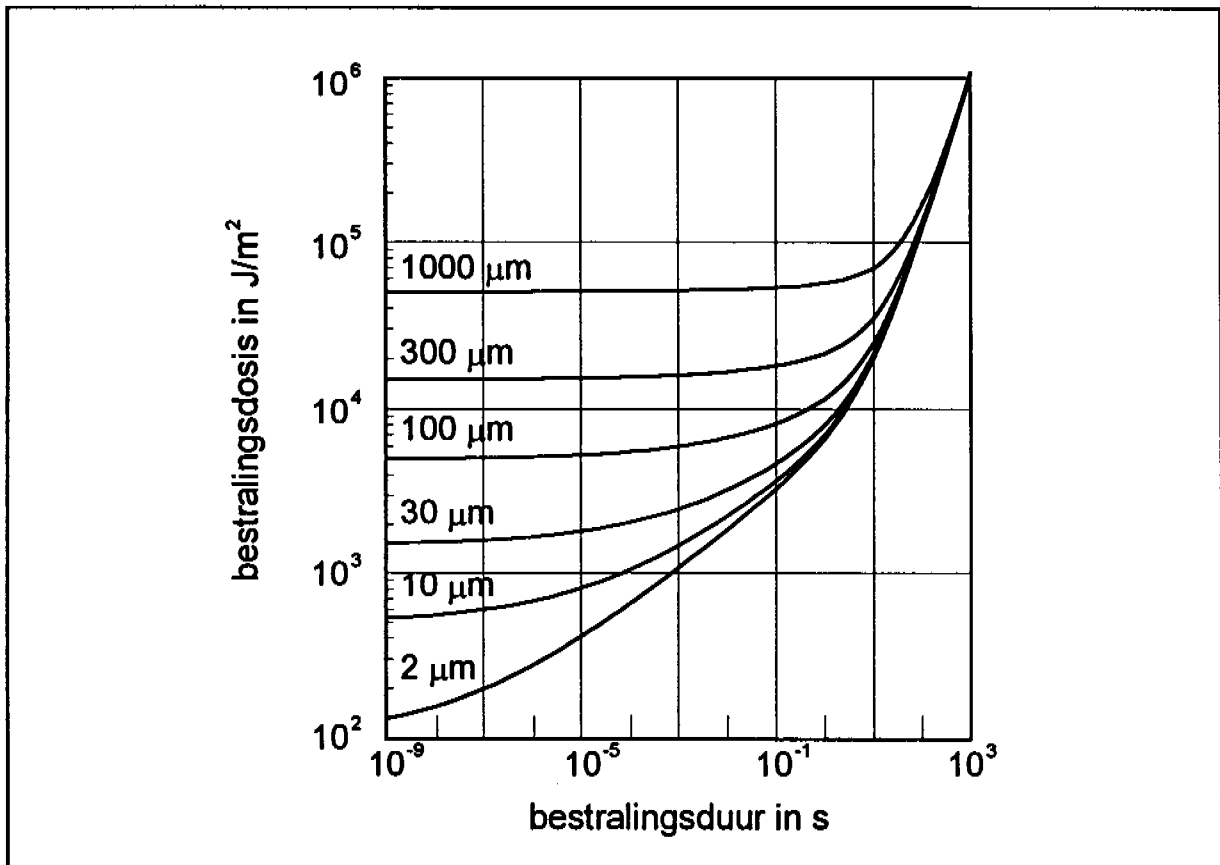
Figuur 4.4. Mate van absorptie van optische straling in de huid weergegeven als de diepte waarop 50% van loodrecht invallende stralingsenergie is geabsorbeerd ('equivalente doordringingsdiepte'). Curve afgeleid uit gegevens in Bru84, GR78, Har56, Par78. De waarden zijn ook opgegeven in tabel 4.1.

blanke en een zeer donkere huid weergegeven. De niet-gereflecteerde straling dringt, afhankelijk van de golflengte, meer of minder diep door in de huid (figuur 4.4 en tabel 4.1). Naarmate de straling dieper in het huidweefsel doordringt, is het volume waarin de stralingsenergie wordt geabsorbeerd, groter. Bij een gegeven absorptie van stralingsenergie zal de temperatuurstijging dus geringer zijn; daar staat tegenover dat ook de warmte-afgifte aan het omringende weefsel langzamer verloopt. De afgifte van warmte naar omringend weefsel treedt op via geleiding of via de bloedbaan. Aan het huidoppervlak treedt warmteverlies ook op door convectie, straling of door verdamping van vocht. In het algemeen blijft de absorptie van de straling beperkt tot de epitheelagen.

Tabel 4.1. Equivalente doordringingsdiepte* d_e in huid en oog als functie van de golflengte λ .

λ (nm)	d_e (μm)	λ (nm)	d_e (μm)	λ (nm)	d_e (μm)	λ (nm)	d_e (μm)
huid							
250	12	550	200	1200	700	1950	63
300	30	700	340	1400	700		
400	90	1000	570	1700	300		
oog							
600	3036000	850	160000	1100	39900	1500	380
625	2480000	875	123000	1130	17000	1550	690
675	1670000	900	102000	1170	6900	1600	1000
700	1153000	925	48100	1200	6700	1650	1300
725	437000	950	17900	1250	7700	1700	1300
750	265000	975	15500	1300	6300	1750	1100
775	289000	1000	19100	1350	2800	1800	860
800	353000	1030	37900	1400	560	1850	700
825	250000	1070	54000	1450	270	1900	84
huid en oog							
1950	63	3000	0,6	6100	2,6	50000	5,3
2000	100	3200	1,9	6500	9,1	70000	6,7
2100	260	3400	9,6	7000	12	100000	10
2200	420	3600	38	8000	13	200000	22
2300	290	3800	61	9000	12	500000	35
2400	140	4100	40	10000	11	1000000	50
2500	84	4400	23	12000	3,3		
2600	45	4700	16	15000	3,0		
2700	7,8	5000	22	20000	2,8		
2800	1,3	5300	33	25000	3,9		
2900	0,6	5600	22	40000	5,7		

* Deze waarde is de diepte, berekend vanaf de positie van intree op de huid of het hoornvlies, waarop de intensiteit van de straling met de helft is afgenomen, onder de veronderstelling dat de extinctie uniform is en de wet van Beer volgt. De equivalente doordringingsdiepte is dus een rekgrootheid. De absorptie door de lens is daarin niet verdisconteerd.



Figuur 4.5. Drempelwaarde van de bestralingsdosis voor thermische huidschade als functie van de bestralingsduur en de equivalente doordringingsdiepte. (Bron: GR78).

Sinds het vorige advies zijn in de literatuur geen nieuwe gezichtspunten naar voren gekomen. De commissie merkt op dat de gehanteerde schadecriteria nogal uiteenlopen; zowel het bereiken van de pijngrens als het optreden van verbranding wordt genoemd.

Kwalitatief kan men, aannemende dat de uitgebreidheid van het bestraalde huidoppervlak veel groter is dan de altijd zeer geringe doordringingsdiepte, het verband tussen de temperatuurstijging en de absorptie van energie in de huid als volgt omschrijven. Voor een korte bestralingsduur (korter dan ruwweg 1 seconde) is de (lokale) stijging van de temperatuur vrijwel evenredig met de bestralingsdosis. De afvoer van warmte naar het omringende weefsel speelt dan nog geen rol. Bij een langere bestralingsduur heeft de warmte-afvoer wel invloed; ook weer afhankelijk van de doordringingsdiepte treedt er evenwicht op

tussen aan- en afvoer. De temperatuursstijging is nu vrijwel evenredig met de bestralingsdosis (het toegevoerde vermogen). Alle krommen in figuur 4.5 komen samen bij een drempelwaarde voor de bestralingssterkte van 1 kW/m^2 ; dat stralingsniveau komt overeen met de inderdaad 'brandende' zonnestraling bij onbewolkte hemel en hoge zon.

In het advies van 1978 is dit verloop weergegeven in de vorm van een verband tussen de drempelwaarde van de bestralingsdosis, $H_{\text{drempel, huid}}$, en de bestralingsduur, t , in afhankelijkheid van de equivalente doordringingsdiepte, de diepte waarop de bestralingssterkte bij homogene opbouw van de huid tot op de helft zou zijn verzwakt. De afleiding van de curven was gebaseerd op zowel theoretische overwegingen als op de randvoorwaarde dat de experimentele schadepunten zich 'boven' de curven bevinden. De commissie meent dat de redenering in het advies van 1978 nog steeds opgeld doet en verwijst voor details naar dat advies (GR78). Blijft de bestralingsdosis op de huid beneden de door de curven (figuur 4.5) aangegeven waarden, dan zal warmteschade in de intacte huid achterwege blijven.

.....

5 EFFECTEN IN DE OOGMEDIA

.....

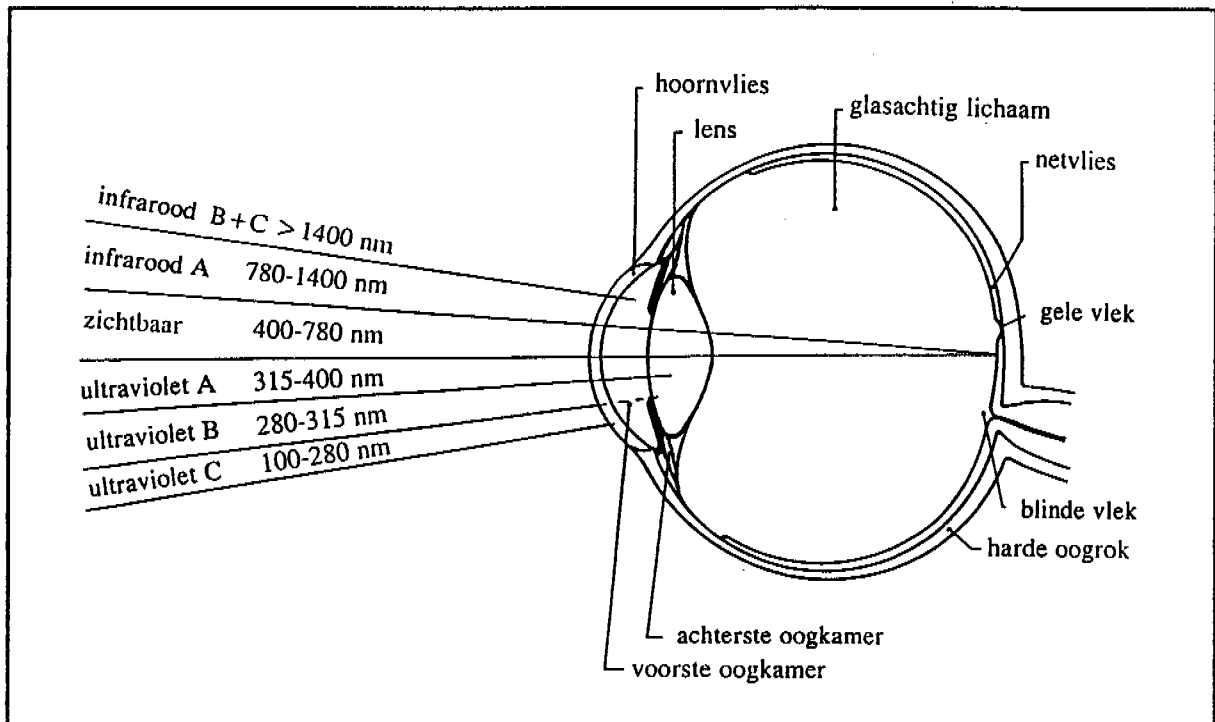
5.1 Inleiding

Bij blootstelling van de ogen aan optische straling wordt eerst het hoornvlies getroffen. Straling die daar niet wordt geabsorbeerd of gereflecteerd, dringt door tot de iris en de lens. Afhankelijk van de golflengte kan de straling het oog nog verder binnendringen en wordt ze uiteindelijk in de oogbodem geabsorbeerd. Het kunnen doordringen tot het netvlies en de spectrale absorptie in de lichtgevoelige pigmenten aldaar bepalen het kleine gebied van elektromagnetische straling dat we licht noemen. Het gaat om straling met golflengten tussen ruwweg 400 en 780 nm.

De mens beschikt over 'ingebouwde' mechanismen die zijn ogen tegen overmatige blootstelling beschermen. Het feit dat de ogen wat naar achteren in de oogkassen liggen, biedt bescherming tegen de hoog aan de hemel staande zon en tegen hoge kunstmatige stralingsbronnen. Verder knijpen we de ogen reflexmatig dicht bij fel licht, en ten slotte biedt ook de pupilreflex bescherming.

Toch kunnen de ogen overmatig worden bestraald. De blootstelling kan bijvoorbeeld zo snel optreden dat de knipperreflex of de pupilreactie te laat komt. Bovendien werken deze reflexen niet voor UV en IR straling. Daarnaast vinden sommige schadelijke effecten hun oorzaak in een blootstelling gedurende langere tijd, in welk geval de reflexen niet effectief zijn.

In de volgende paragraaf bespreekt de commissie kort de bouw en de optische eigenschappen van het oog. Daarna komen de schadelijke effecten van optische straling in het hoornvlies en de ooglens aan de orde. In hoofdstuk 6 gaat zij in op thermische en fotochemische effecten in het netvlies.



Figuur 5.1. Schematische doorsnede en spectrale transmissie-eigenschappen van het oog. De aangegeven grenzen zijn niet scherp. Voor straling met een golflengte van 1400 nm en groter is de transmissie van het hoornvlies en het kamerwater kleiner dan 1%. Beneden 400 nm neemt de transmissie van de lens af tot minder dan 5%. Beneden 315 nm neemt de transmissie van het hoornvlies af tot minder dan 5%. UV-B straling wordt daarom deels doorgelaten (aangegeven met stippellijn).

5.2 Bouw van het oog en optische eigenschappen

Het oog is een bolvormig orgaan met een diameter van ongeveer 2,5 cm. Figuur 5.1 geeft een schematische doorsnede. Het oog is omgeven door een stevig vlies, de harde oogrok (sclera). Aan de voorzijde is dit vlies transparant en draagt het de naam hoornvlies (cornea). Het grensvlak tussen lucht en hoornvlies is het belangrijkste brekende oppervlak van het oog, met een sterkte van ongeveer 40 dioptrie. Het hoornvlies bestaat uit een buitenste laag epitheel met een dikte van ongeveer 75 μm , het stroma (een laag collageenlamellen en keratocyten) van ongeveer 500 μm en een laag endotheel van 5 μm . De epitheelcellen gaan aan de rand van het hoornvlies over in het bindvlies (conjunctiva); het stroma wordt gecontinueerd in de harde oogrok. Belangrijk in het kader van een

beschouwing over schade is, dat de laag van epitheelcellen zich in enkele dagen vernieuwt (dat geldt niet voor de endotheelcellen).

In het inwendige van het oog onderscheiden we, meegaand met binnendringende straling, eerst de voorste oogkamer, die is gevuld met een waterige substantie. Vervolgens komen we het regenboogvlies (iris) tegen, dat de kleur van de ogen bepaalt. De grootte van de pupilopening in de iris wordt bepaald door de hoeveelheid (zichtbare) straling die op het netvlies valt. Tussen de iris en de lens bevindt zich een kleine, met waterig vocht gevulde ruimte die de achterste met de voorste oogkamer verbindt. De lens is een belangrijk optisch element van het oog, met een (variabele) sterkte van maximaal ongeveer 20 dioptrie. Zij bestaat uit met eiwit gevulde vezels die zijn gegroepeerd in een gelaagde structuur, vergelijkbaar met die van een ui. Achter de lens vinden we het glasachtig lichaam, dat bestaat uit een gelei-achtige, transparante substantie.

Het netvlies is opgebouwd uit zenuw- en steuncellen. De oppervlakkige lagen zijn geheel transparant. De fotoreceptoren (staafjes, kegeltjes) bevinden zich in de diepste laag. De oppervlakkige lagen van het netvlies zijn doorbloed, behalve in de gele vlek (fovea centralis of macula lutea), het netvliesdeel waarmee we fixeren. Direct achter het netvlies ligt het retinaal pigmentepitheel (RPE), dat uit één cellaag bestaat met een dikte van ongeveer 10 μm . Het RPE bevat veel melanine, dat zichtbare straling zeer sterk absorbeert. Dit pigment komt ook in ruime mate voor in het vaatvlies (de choroidea), dat achter het RPE ligt.

Het oog wordt bijeengehouden door de omhullende harde oogrok. Het sterk gekromde hoornvlies en de lens vormen samen het optische systeem dat de buitenwereld afbeeldt op het netvlies.

.....

Een schematisch beeld van de absorptie in diverse delen van het oog als functie van de golflengte, valt eveneens uit figuur 5.1 af te lezen. Het hoornvlies absorbeert UV-C, UV-B, IR-B en IR-C straling in vrij sterke mate, maar laat straling met golflengten tussen 300 en 1400 nm (deel van het UV-B, UV-A, licht en IR-A) grotendeels door. De ooglenzen absorbeert UV-A straling in sterke mate; straling met golflengten tussen 400 en 1400 nm kan

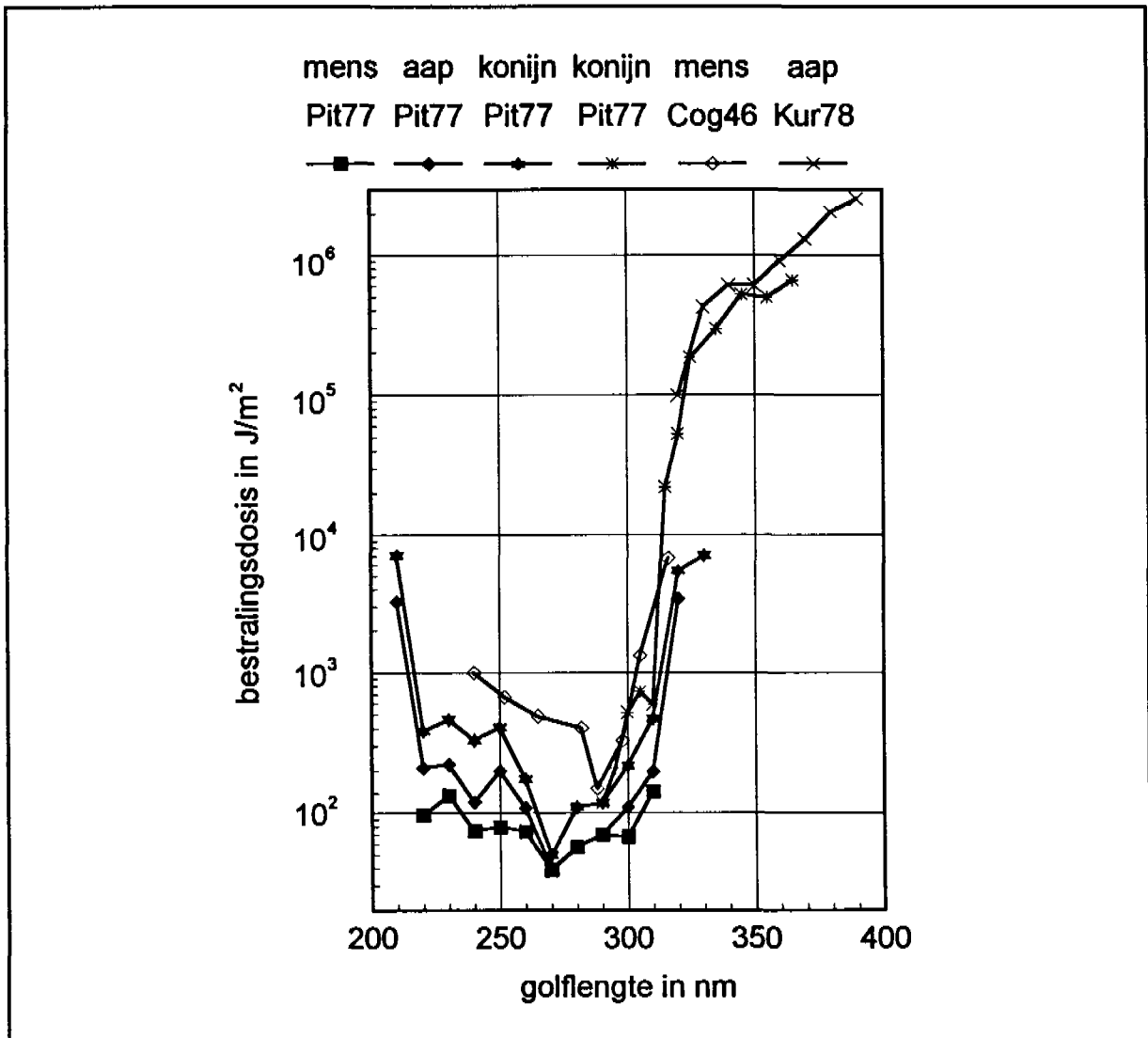
grotendeels doordringen tot het netvlies. Na lensextractie kan UV-A straling wel tot het netvlies doordringen. Tegenwoordig ondervangt men dat vaak door de gebruikelijke plastic implantlens te voorzien van pigmenten die UV-A straling absorberen.

.....

5.3 Hoorn- en bindvliesschade

Als gevolg van absorptie van UV straling kan schade aan het hoornvlies en het bindvlies ontstaan (vaak aangeduid als hoorn- en bindvliesontsteking, of respectievelijk keratitis en conjunctivitis). Keratitis staat ook bekend als 'sneeuwblindheid' en als 'lasogen'. De schade treedt zes tot twaalf uur na overschrijding van een drempeldosis aan het licht. De symptomen (pijn, tranen, lichtschuwheid en knipperen) verdwijnen veelal binnen twee etmalen door regeneratie van de epitheelcellen. Valt de gehele (overmatige) blootstelling binnen een periode van 24 uur, dan is de drempelwaarde van de bestralingsdosis niet afhankelijk van de bestralingssterkte en de verandering van die grootte in de loop van de tijd. Bij spreiding van de blootstelling over langere tijd gaan herstelprocessen een rol spelen, waardoor de drempelwaarde voor bestralingsperioden van een week of langer beter kan worden uitgedrukt in termen van de bestralingssterkte (Zuc80). Bij een aanzienlijke overschrijding van de drempelwaarde kunnen ook dieper gelegen delen van het hoornvlies beschadigd raken, hetgeen een blijvend effect kan hebben op het gezichtsvermogen. Literatuurgegevens over drempelwaarden als functie van de golflengte, zoals samengevat in het advies van 1986, zijn weergegeven in figuur 5.2. Sindsdien zijn op dit gebied geen nieuwe gezichtspunten naar voren gekomen. Enkele oudere literatuurgegevens (Kur78) die niet in het advies van 1986 waren vermeld, zijn ook in de figuur opgenomen. Zij ondersteunen de voorstellen voor de destijds gegeven advieswaarden.

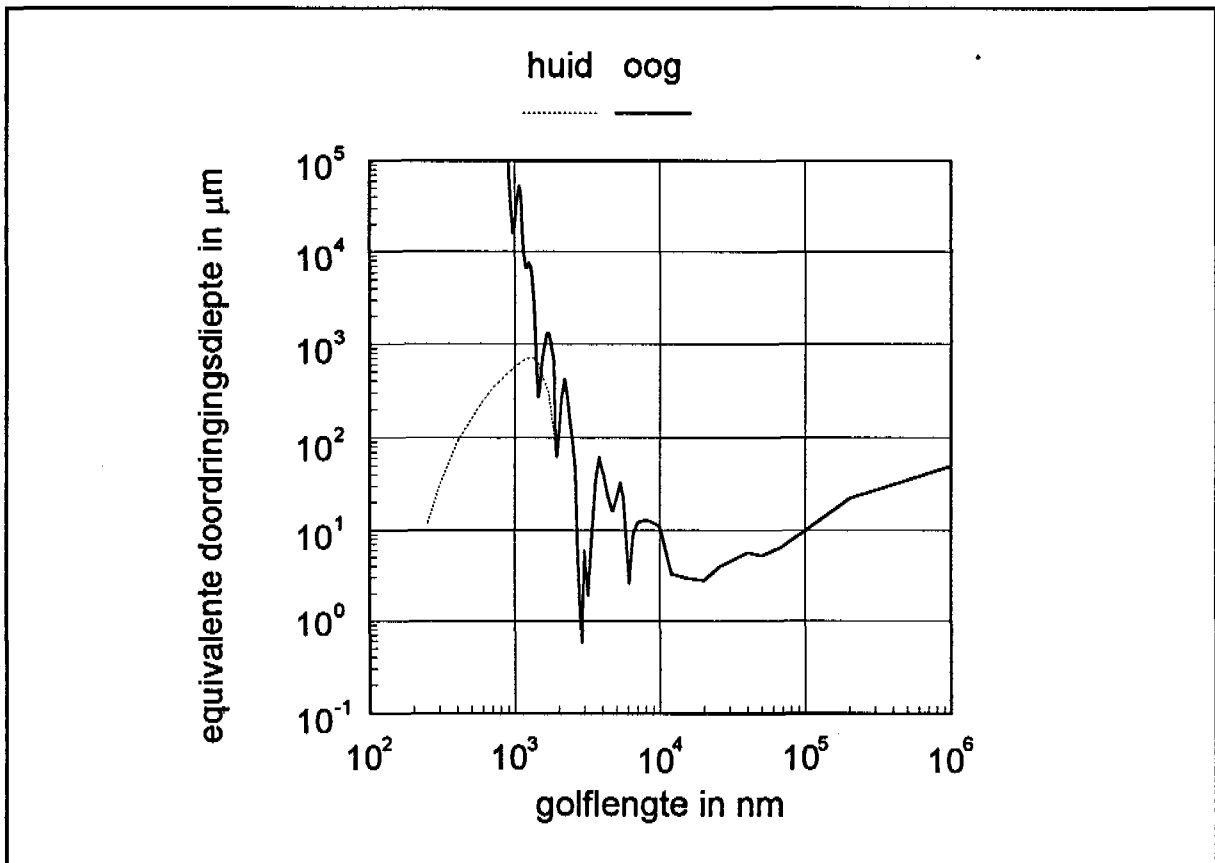
Een nieuwe ontwikkeling is de therapeutische toepassing van fotomechanische schade (ablatie). Hierbij stelt men het hoornvlies bloot aan zeer korte pulsen (in de orde van grootte van 10^{-9} s) van straling van excimer-lasers met een golflengte van ongeveer 200 nm. Daarbij wordt een uiterst oppervlakkig weefsel-laagje als het ware weggedampt, doordat chemische bindingen worden



Figuur 5.2. Drempelwaarden van de bestralingsdosis voor ontsteking van het hoornvlies, als functie van de golflengte. De meetpunten Pit77 en Cog46 waren vermeld in het advies van 1986. De waarden Kur78 komen hiermee goed overeen.

verbroken. Deze 'etstechniek', waarmee de brekende werking van het hoornvlies kan worden bijgesteld, verkeert momenteel in een verkennend stadium. Omdat het hier het opzettelijk aanbrengen van schade betreft, laat de commissie dit effect buiten beschouwing.

De processen die bij 'thermische bestraling' van het hoornvlies optreden, verschillen niet van die bij de huid bij dezelfde doordringingsdiepte (GR78, Fle86). De commissie verwijst daarvoor naar hoofdstuk 4. De doordringingsdiepte voor het oog



Figuur 5.3. Mate van absorptie van optische straling in het oog, weergegeven als de diepte waarop 50% van loodrecht invallende stralingsenergie is geabsorbeerd ('equivalente doordringingsdiepte'). Ter vergelijking zijn gestippeld de waarden voor de huid weergegeven (zie figuur 4.4); bij golflengten groter dan 1900 nm vallen de curven voor huid en oog samen. Curve afgeleid uit gegevens in GR78.

verschilt wel van die voor de huid. In figuur 5.3 zijn de waarden voor het oog gegeven met, ter vergelijking, gestippeld de waarden voor de huid.

Over de effecten van chronische blootstelling aan UV straling is weinig bekend. Bindvlieswoekering (pterygium) en de 'klimaatgebonden druppelvormige keratitis' brengt men daarmee wel in verband, maar duidelijk is die relatie niet (Mil87, Gra92). Beide aandoeningen kwamen niet of nauwelijks in Nederland voor; uit kringen van oogartsen komen berichten dat ze thans ook hier meer dan vroeger worden waargenomen, in het bijzonder onder allochtone bevolkingsgroepen. Er zijn aanwijzingen dat zich, net

als in de huid, in het hoornvlies carcinomen en mogelijk ook melanomen kunnen ontwikkelen onder invloed van UV straling; deze vormen van kanker zijn echter zeldzaam (Kop79, Sed90). Over het verband tussen blootstelling en effect als functie van de golflengte is niets bekend. Gezien de overeenkomst tussen de effecten in de huid en in het hoornvlies na kortdurende bestraling, beveelt de commissie aan vooralsnog van een zelfde gevoeligheid uit te gaan (zie paragraaf 4.3).

.....

5.4 Lensschade

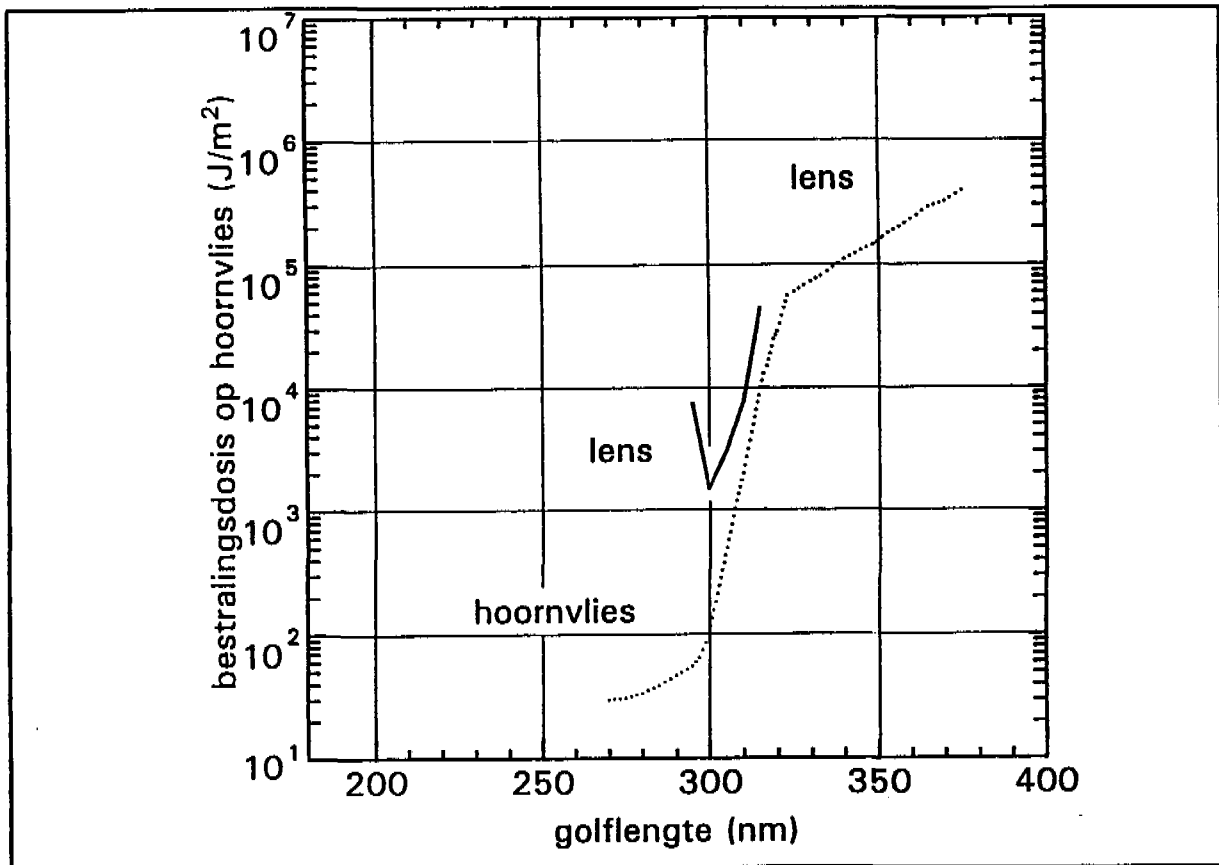
.....

5.4.1 Fotochemische schade

In de lens kan door absorptie van UV-B straling binnen korte tijd fotochemische schade ontstaan; 'kort' betekent hier 'binnen enkele dagen'. Bij het juist overschrijden van een drempeldosis is die schade zichtbaar als korrelige witte plekje die weer kunnen wegtrekken. Bij iets grotere bestralingsdoses treden ook blijvende troebelingen op. In figuur 5.4 is het spectrale verloop weergegeven van de bestralingsdosis waarboven schade is waargenomen; de dosiswaarden zijn gemeten ter plaatse van het hoornvlies (Pit76). Door de sterke absorptie in het hoornvlies en in het kamerwater dringt straling met golflengten kleiner dan 300 nm nauwelijks tot de lens door. Rekent men - door deze absorptie in rekening te brengen - de drempelwaarden in figuur 5.4 om tot waarden ter plaatse van het voorste lensoppervlak*, dan blijken de drempelwaarden voor lens- en hoornvliesschade vrijwel samen te vallen. Dat betekent een bevestiging van het fotochemische karakter van de lensschade. Het betekent ook dat bij blootstelling van het oog tot de drempelwaarde van de bestralingsdosis voor schade in het hoornvlies schade, in de lens zeker niet zal optreden.

.....

* In sommige publikaties wordt ten onrechte gesuggereerd dat de lenskromme in figuur 5.4 betrekking heeft op de bestralingsdosis ter plaatse van de lens (zie bijvoorbeeld Wax86).



Figuur 5.4. Drempeldosis voor acute fotochemische lensschade bij het konijn, als functie van de golflengte (Pit76). Ter vergelijking is een deel van de drempelkromme voor hoornvliesbeschadiging uit het advies van 1986 afgebeeld.

Met toenemende leeftijd wordt de lens steeds geler; deze geelkleuring wordt wel toegeschreven aan de chronische inwerking van UV-A straling (Gro72). Dit effect heeft een beschermende werking, doordat de doorlaatbaarheid van de lens voor UV-A straling en voor violet licht vermindert en zo inwerking van deze straling op het netvlies wordt voorkomen (zie paragraaf 6.3).

De verkleuring van de lens kan echter overgaan in troebeling, een vorm van staar (of cataract). Ook andere mechanismen kunnen leiden tot staar. De resultaten van epidemiologisch onderzoek wijzen op een verband tussen de mate van blootstelling aan zonlicht en het ontstaan van lenstroebeling (Wax86). Uit een onderzoek in de VS, waarin veel aandacht werd

besteed aan het nauwkeurig vaststellen van de bestralingsdosis op het oog, volgde dat de (cumulatieve) bestralingsdosis van UV-B straling de kans op corticaal cataract (staar in de oppervlakkige lagen van de lens) significant verhoogt (Tay88). De onderzoekers vonden geen verband tussen de UV-B-bestralingsdosis en staar in de kern van de lens, en evenmin tussen de UV-A-bestralingsdosis en staar. Uit dit onderzoek bleek ook een verhoogde kans op zogeheten sub-capsulair cataract aan de achterzijde van de lens bij hoge blootstelling aan UV-B straling (Boc89). In welke mate UV straling een directe, oorzakelijke factor is bij het optreden van staar, is onderwerp van wetenschappelijke discussie.

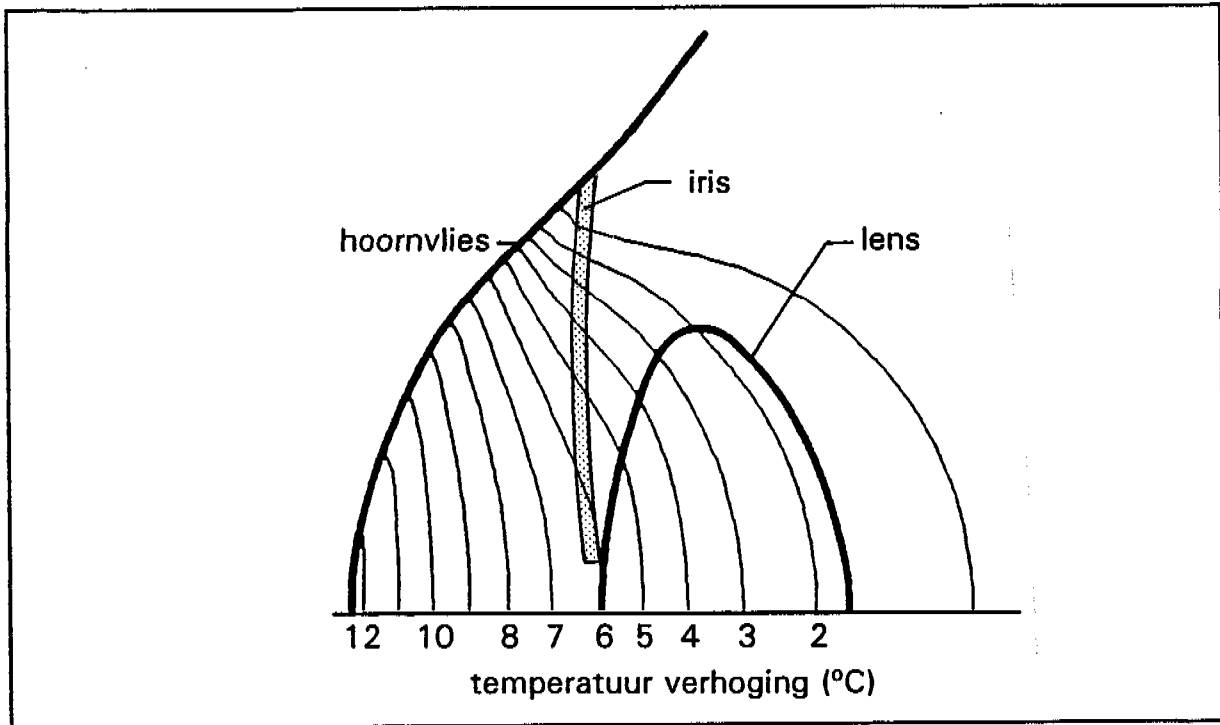
Resultaten van dierexperimenteel onderzoek naar de gevolgen van chronische blootstelling zijn nauwelijks voorhanden. Recent werd voor het eerst bij dagdieren (eekhoorns) een verband geconstateerd tussen chronische blootstelling aan straling van 365 nm (bestralingssterkte van 60 W/m² gedurende 1 jaar) en lensschade (Zig91). Een spectrale werkingsfunctie voor dit type schade is niet voorhanden.

.....

5.4.2 Thermische schade

Overmatige opwarming van de lens kan staar veroorzaken. Bij chronische blootstelling aan warmtestraling kan het tientallen jaren duren voordat deze zogenoemde glasblazersstaar manifest wordt. Maar ook na kortstondige verwarming van de ooglenzen kunnen blijvende troebelingen optreden.

Een probleem bij het vaststellen van waarden van de bestralingsdosis of bestralingssterkte waarbij of waarboven schade optreedt, is de ontoereikendheid van zowel de experimentele als de epidemiologische gegevens. De laatstgenoemde geven slechts aan dat bij werkers bij glas- en hoogovens met het stijgen van de leeftijd meer staar voorkomt dan bij mensen met andere beroepen; een betrouwbare blootstelling-effectrelatie kan er niet uit worden afgeleid (Lyd84). Het onderzoek naar de gevolgen van blootstelling van proefdieren aan (in de meeste gevallen) breedbandige IR-A straling, heeft slechts informatie opgeleverd over acute oogschade. Om tot een enigszins betrouwbare schatting te komen van schadedrempels als functie van de golflengte, moet men zich daarom



Figuur 5.5. Berekende isothermen van temperatuurverhoging in het voorste deel van het oog bij continue blootstelling aan een bestralingssterkte van 2 kW/m^2 afkomstig van een 'zwarte' straler met een temperatuur van 1473 K ($1200 \text{ }^\circ\text{C}$); de pupildiameter bedraagt 2 mm en de iris is bruin gekleurd (Oku91). De afscherpende werking van de oogleden (die niet zijn getekend) is er de oorzaak van dat de temperatuur naar boven toe steeds lager wordt. Het gladde verloop van de isothermen duidt erop dat het hoornvlies als enige warmtebron optreedt en dat opwarming vanuit de iris (Gol30) geen belangrijke rol speelt.

voornamelijk verlaten op modelberekeningen. De commissie vat hieronder het resultaat van dergelijke berekeningen samen.

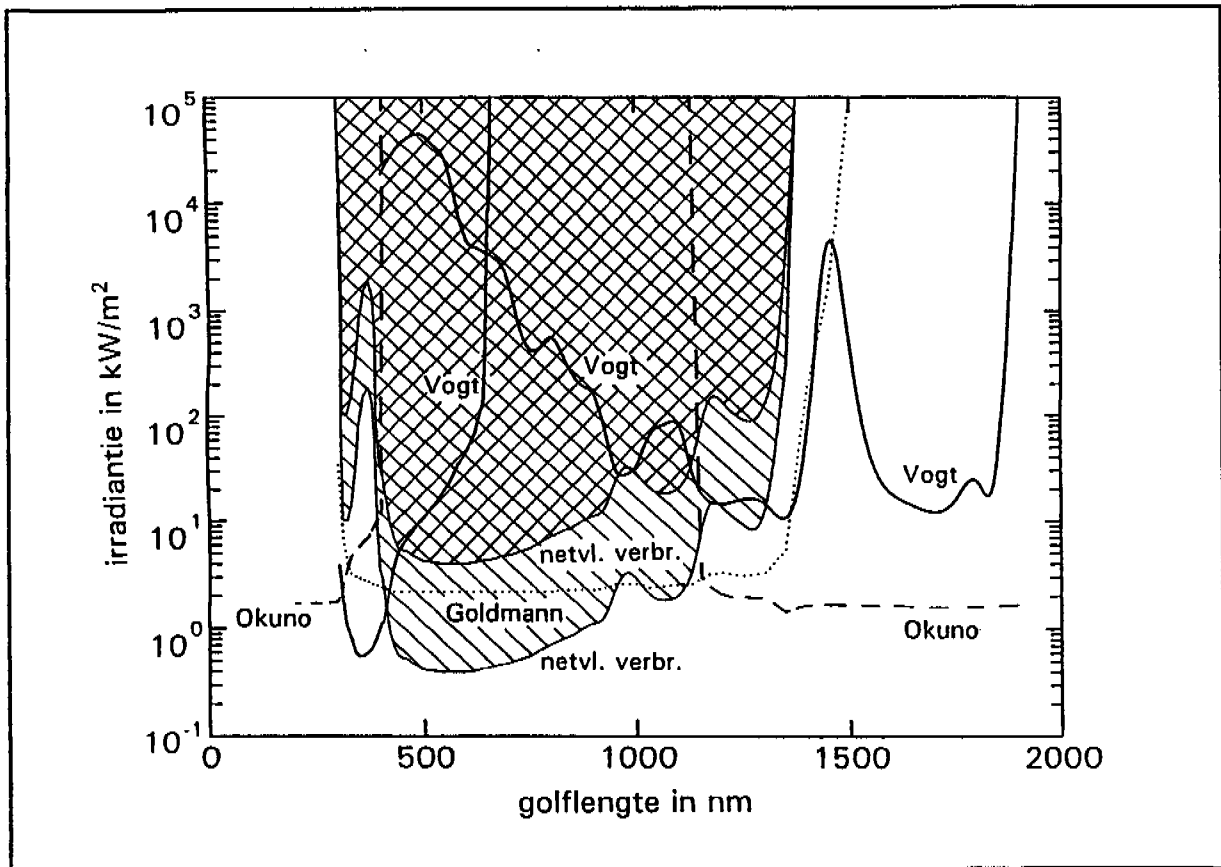
In de literatuur zijn drie mechanismen voor het opwarmen van de lens door optische straling beschreven; in historische volgorde:

- opwarming door absorptie van straling in de lens zelf ('Vogt-mechanisme'; Vog19)
- indirecte opwarming via absorptie van straling in de iris ('Goldmann-mechanisme'; Gol30)
- indirecte opwarming via absorptie van straling in het hoornvlies ('Okuno-mechanisme'; Oku91).

Het doorrekenen van deze drie schademechanismen leidt tot de conclusie dat elk, al naar gelang de omstandigheden, een rol kan spelen (Vos93). Het Okuno-mechanisme is het normale patroon. De straling van gloeiende voorwerpen, zowel van lampen als van industriële ovens, ligt voor het grootste deel in het IR-B en IR-C spectrale gebied; straling in dit golflengtegebied wordt vrijwel geheel in het hoornvlies geabsorbeerd. Modelberekeningen van Okuno (Oku91) leren dat de opwarming van het hoornvlies via geleiding in het kamerwater inderdaad kan leiden tot opwarming van de lens tot schadelijke niveaus (figuur 5.5). Alleen bij blootstelling aan stralingsbundels waaruit de IR-B en IR-C componenten zijn verwijderd of bij blootstelling aan de straling van IR-A-lasers, is het mogelijk dat dieper gelegen delen van het oog direct opwarmen. Opwarming van de lens zal dan in het algemeen vooral plaatsvinden via het Goldmann-mechanisme, dat wil zeggen door absorptie van straling in de iris. Het ontstaan van warmteschade via het Vogt-mechanisme, dus via absorptie in de lens zelf, zal zich in de praktijk vrijwel alleen kunnen voordoen bij specialistische proefopstellingen waarbij lokale bestraling met smalle bundels mogelijk is.

Schade aan de lens treedt niet op indien de lenstemperatuur lager blijft dan 40 °C (Gol30). In de modelberekeningen is van deze waarde uitgegaan; tevens is verondersteld dat straling in het oog wordt geabsorbeerd volgens de karakteristiek van figuur 5.3. Het resultaat van de berekeningen is weergegeven in figuur 5.6. Deze figuur toont:

- Het spectrale verloop van de schadedrempel volgens het Okuno-mechanisme. In het UV-B, het IR-C en IR-B spectrale gebied heeft de berekende schadedrempel een waarde van ongeveer 1,7 kW/m². In dat gebied dringt de straling niet verder dan het hoornvlies door. In het golflengtegebied tussen 315 en 1150 nm wordt de via het Okuno-mechanisme berekende schadedrempel veel groter en kan dit mechanisme in de praktijk geen rol spelen.
- Het spectrale verloop van de schadedrempel volgens het Goldmann-mechanisme. Tussen 315 en 1400 nm heeft de berekende schadedrempel in termen van de bestralings-



Figuur 5.6. Berekende schadedrempels voor thermische schade aan de ooglens. Uitgangspunt is opwarming van de ooglens tot een temperatuur van 40 °C. De tekst bevat een toelichting op de achtergronden van het Vogt-mechanisme (getrokken lijn), het Goldman-mechanisme (gestippelde lijn) en het Okuno-mechanisme (gestreepte lijn). In het gearceerde gebied treedt netvliesverbranding als schadebepalend mechanisme bij blootstelling van het oog aan optische straling op. (Bron: Vos93).

sterkte in goede benadering een waarde van 2,2 kW/m² en wordt hij begrensd door scherp oplopende flanken. Ruwweg 'vult' de schadedrempel berekend volgens het Goldman-mechanisme het 'gat' in de schadedrempelfunctie berekend volgens het Okuno-mechanisme.

- Het spectrale verloop van de schadedrempel volgens het Vogt-mechanisme. De schadedrempelfunctie (in termen van de bestralingssterkte) bestaat uit twee takken, te weten een kortgolvlige die wordt bepaald door de absorptie in het gele lenspigment, en een langgolvlige die wordt bepaald

door de absorptie in water. Alleen tussen 315 en 420 nm is de schadedrempel lager dan die berekend volgens het Okuno- of het Goldmann-mechanisme, en vormt hij de schadebepalende ondergrens. Bij blootstelling aan nauwe stralingsbundels die de iris niet raken, zou het Vogt-mechanisme eveneens schade-bepalend kunnen zijn.

- Een gearceerd gebied, waarbinnen netvliesverbranding kan optreden (in het dubbel gearceerde gebied voor smalle en brede bundels en in het enkel gearceerde gebied voor brede bundels). De commissie heeft met het aangeven van dit gebied, in navolging van Vos en Van Norren (Vos93), willen benadrukken dat bij blootstelling van het oog aan straling met golflengten tussen 400 en 1150 nm niet thermische staar, maar netvliesverbranding het schadebepalend effect is.

Zoals de commissie hierboven reeds vermeldde, ontbreekt een experimentele bevestiging van het resultaat van deze modelberekeningen zo goed als geheel. Er is één uitzondering: de enige aan de commissie bekende drempel voor thermische staar in het UV-A gebied komt overeen met de berekende waarde volgens het Vogt-mechanisme (Zuc76).

.....

.....

6 EFFECTEN OP HET NETVLIES

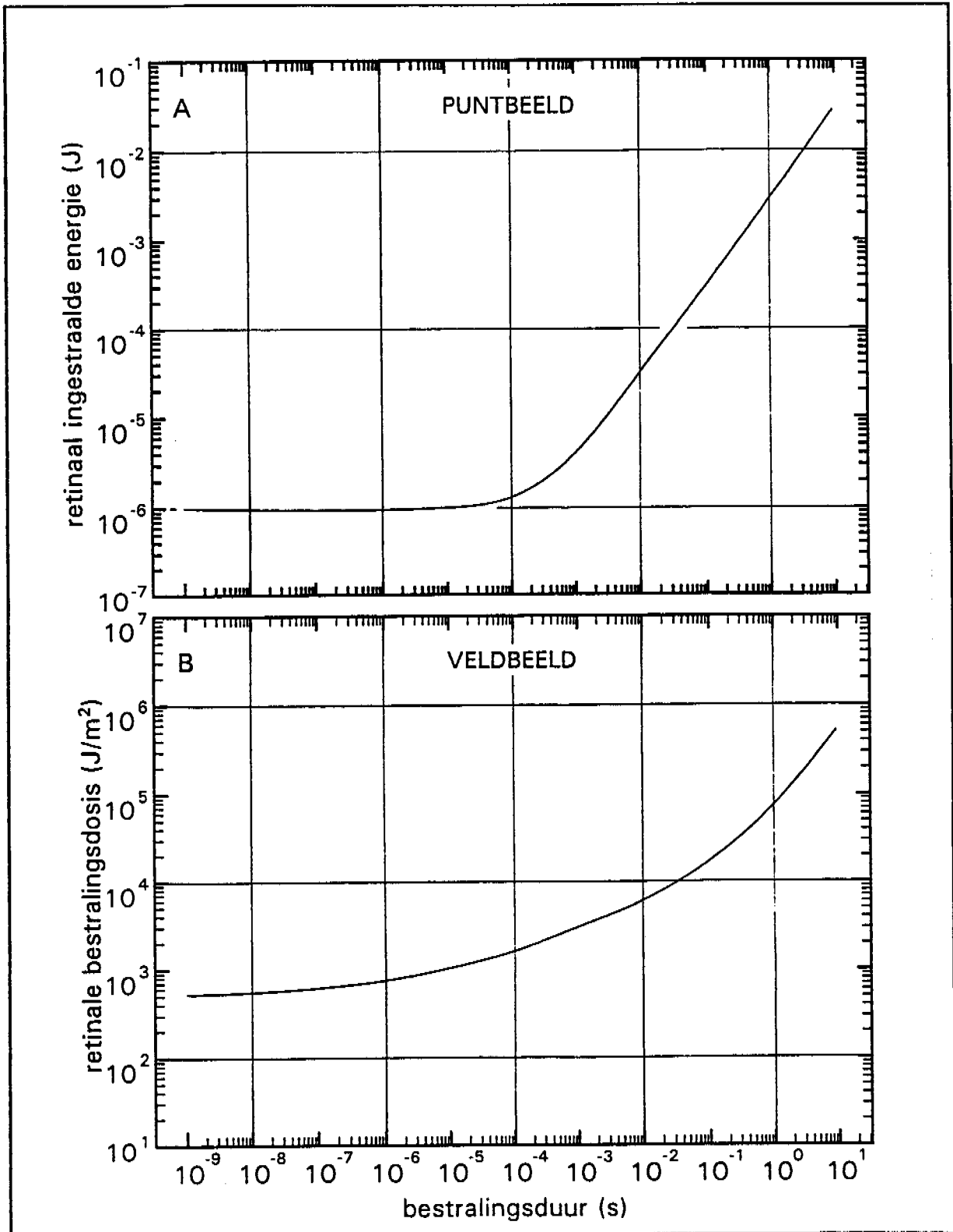
.....

6.1 Inleiding

Slechts een deel van de straling die op het oog valt, bereikt het netvlies (zie figuur 5.1) en daarvan wordt maar een klein deel gezien, dat wil zeggen geabsorbeerd door de visuele pigmenten. Het grootste deel wordt in de pigmentlagen vlak achter het netvlies, het pigmentepitheel (RPE) en het vaatvlies, na absorptie omgezet in warmte. Wanneer de instraling te groot wordt, kan de temperatuur lokaal zo hoog oplopen dat een vorm van weefselschade ontstaat die bekend staat als netvliesverbranding. Naast dit thermische effect kan optische straling ook fotochemische effecten teweeg brengen. In dat geval bewerkstelligt de straling een serie van opeenvolgende chemische reacties die tot schade leiden.

Netvliesschade is een ernstig letsel wanneer het optreedt in het centrum van het gezichtsveld, met name in de gele vlek (fovea). Foveale beschadiging leidt tot vermindering van de gezichtsscherpte. Daarentegen zal schade in de periferie van het gezichtsveld functioneel vaak weinig betekenis hebben: een kleine blinde vlek extra beïnvloedt het gezichtsvermogen nauwelijks. Niet te ernstige schade kan nog goeddeels genezen. Maar een forse bestralingsdosis kan lokaal het pigmentepitheel en het netvlies permanent verwoesten.

In de volgende paragrafen beschrijft de commissie thermische en fotochemische schade van het netvlies in meer detail. Voor meer uitgebreide verhandelingen raadplege men handboeken (Sli80, Wax86, Cro86).



Figuur 6.1. Drempelwaarden voor thermische netvliesschade als functie van de blootstellingsduur. A: ingestraalde energie Q op het netvlies voor puntbeelden. B: bestralingsdosis H op het netvlies voor veldbeelden. (Bron: GR78).

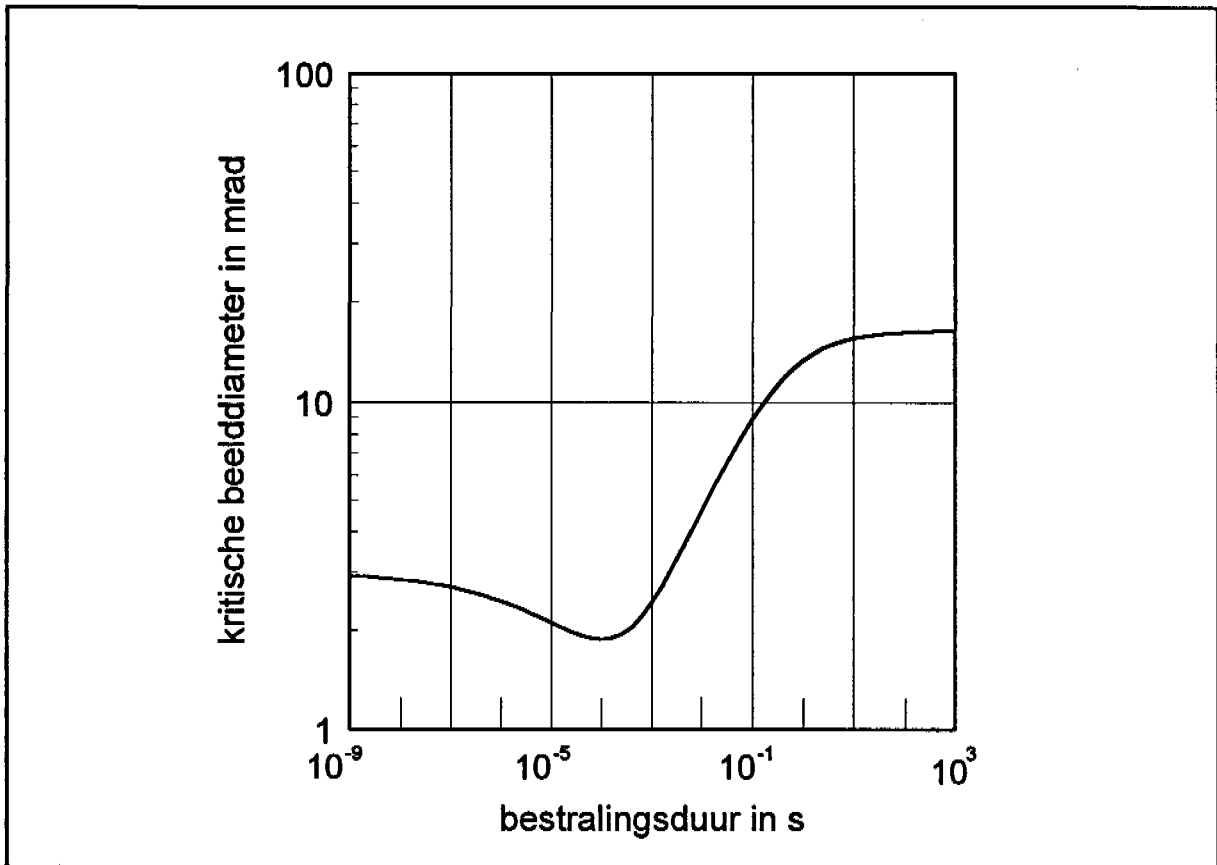
.....

6.2 Thermische netvliesschade

Thermische netvliesschade is, vrijwel direct na de stralingsinwerking, via 'oogspiegelen' zichtbaar als een lokale grijze verkleuring van de oogbodem. Veel schadedrempelbepalingen zijn op deze manier gedaan; met meer verfijnde opsporingstechnieken, zoals elektronen-microscopie, neemt men al bij kleinere bestralingsdoses tekenen van schade waar. Globaal genomen kan men stellen dat de laagste schadedrempelwaarden overeenkomen met bestralingsdoses die naar berekening in het retinaal pigmentepitheel (RPE) een temperatuursverhoging van 10 °C of meer produceren.

Bij een klein netvliesbeeld kan de warmte veel makkelijker weglekken dan bij een groot beeld, omdat de verhouding van het warmte-afgevend oppervlak ten opzichte van het bestraalde volume groter is. Het oplopen van de temperatuur met de tijd, en daarmee de relatie tussen de drempelwaarde van de bestralingsdosis en de bestralingsduur, hangt daarom af van de beeldgrootte. In de praktijk kan men een schematische tweedeling maken. Bij kleine beelden ('puntbeelden') is de schade-bepalende grootte de ingestraalde energie (in J). Bij grote beelden ('veldbeelden') is de schadebepalende grootte de bestralingsdosis op het netvlies (in J/m²).

De in het advies van 1978 verschafte experimentele gegevens over de drempelwaarde van de ingestraalde energie als functie van de bestralingsduur voor puntbeelden hebben hun geldigheid behouden. De drempelwaarde blijkt constant te zijn tot ongeveer 10⁻⁴ s en wordt bij langere bestralingsduur geleidelijk steeds beter beschreven als evenredig met die duur; er is dan sprake van een constante drempelwaarde van het ingestraalde vermogen. De relatie tussen de drempelwaarde van de ingestraalde energie, $Q_{\text{drempel, netvlies, puntbeeld}}$ en de bestralingsduur, t , is voor het midden van het visuele spectrum weergegeven in figuur 6.1A. De volgende empirische formule geeft een wiskundige beschrijving van deze relatie:



Figuur 6.2. Verband tussen de kritische beelddiameter α_{krit} en de bestralingsduur. (Bron: GR78).

$$Q_{\text{drempel,netvlies,puntbeeld}} = 10^{-6} + 3 \times 10^{-3} t \text{ [J], } t \text{ in s}$$

Ook voor veldbeelden is de experimentele onderbouwing van het verband tussen de schadedrempel en de bestralingsduur sedert het verschijnen van het advies van 1978 niet wezenlijk aangevuld of gewijzigd. Ook hier geldt dat de drempelwaarde van de bestralingsdosis (ter plaatse van het netvlies) constant is tot circa 10^{-4} s. Bij een bestralingsduur langer dan 1 s is deze drempelwaarde evenredig met de duur, dat wil zeggen er is sprake van een constante drempelwaarde van de bestralingssterkte. De relatie tussen de drempelwaarde van de bestralingsdosis, $H_{\text{drempel,netvlies,veldbeeld}}$, en de bestralingsduur, t , is voor het midden van het visuele spectrum weergegeven in figuur 6.1B. De volgende

empirische formule geeft een wiskundige beschrijving van deze relatie:

$$H_{\text{drempel, netvlies, veldbeeld}} = 500 + 2,5 \times 10^4 t^{1/3} + 5 \times 10^4 t \quad [\text{J/m}^2],$$

t in s

Bij deze pragmatische tweedeling hoort een kritische beeldgrootte op het netvlies, O_{krit} , die een puntbeeld van een veldbeeld onderscheidt. Dit is het beeldoppervlak waarbij de bestralingsdosis voor het puntbeeld gelijk is aan die voor het veldbeeld; dit oppervlak wordt verkregen door beide relaties op elkaar te delen:

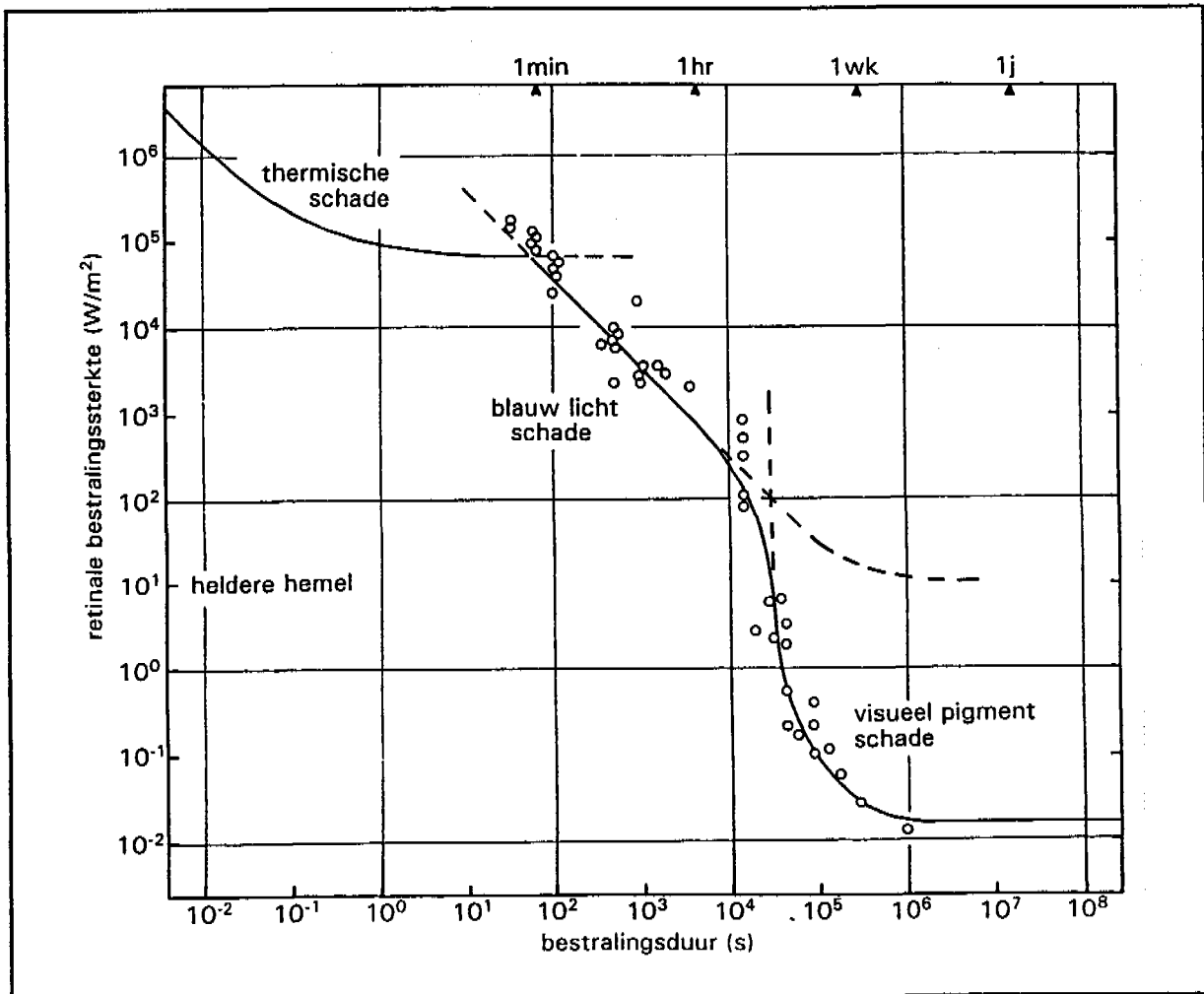
$$O_{\text{krit}} = \frac{10^{-6} + 3 \times 10^{-3} t}{500 + 2,5 \times 10^4 t^{1/3} + 5 \times 10^4 t} \quad [\text{m}^2], \quad t \text{ in s}$$

Het is gebruikelijk dit oppervlak om te rekenen in een kritische diameter, α_{krit} , uitgedrukt in een hoekmaat (in het 'standaard-oog' komt een rond netvliesbeeld met een diameter van 16,7 mm overeen met een hoek van 1 radiaal; Sli80):

$$\alpha_{\text{krit}} = 3 \sqrt{\frac{1 + 3000 t}{1 + 50 t^{1/3} + 100 t}} \quad [\text{milliradiaal}]$$

Deze relatie is weergegeven in figuur 6.2. De vorm laat zien dat bij grote waarden van de bestralingsduur, waarbij de warmte de tijd krijgt om 'uit te smeren', de overgang van puntbeeld naar veldbeeld bij een grotere diameter ligt.

De gepresenteerde relaties gelden voor het midden van het visuele spectrum, waar zowel de doorlatendheid van de oogmedia als de absorptie in het RPE groot is. Naar het blauw toe neemt de doorlatendheid van de oogmedia snel af, en naar het rood toe vermindert de absorptie in het RPE. In het IR-A spectrale gebied bereikt de doorlatendheid van de oogmedia vrijwel de waarde nul (Boe62). Straling buiten het centrum van het visuele gebied zal,



Figuur 6.3. Experimentele gegevens over drempelwaarden van de bestralingssterkte op het netvlies voor netvliesschade door wit licht bij verschillende diersoorten (Kre88, Kre89, Nor90). De getrokken lijn is gebaseerd op een model van Kremers en Van Norren (Kre88).

bij een zelfde bestralingsdosis ter plaatse van het hoornvlies, het netvlies dus minder opwarmen dan straling in het zichtbare spectraalgebied. Men kan dit in de drempelformules in rekening brengen door vermenigvuldiging met een correctiefactor C_λ . Het verband tussen C_λ en de golflengte λ is aangegeven in hoofdstuk 7.

.....

.....

6.3 Fotochemische netvliesschade

.....

Effecten na kortdurende blootstelling

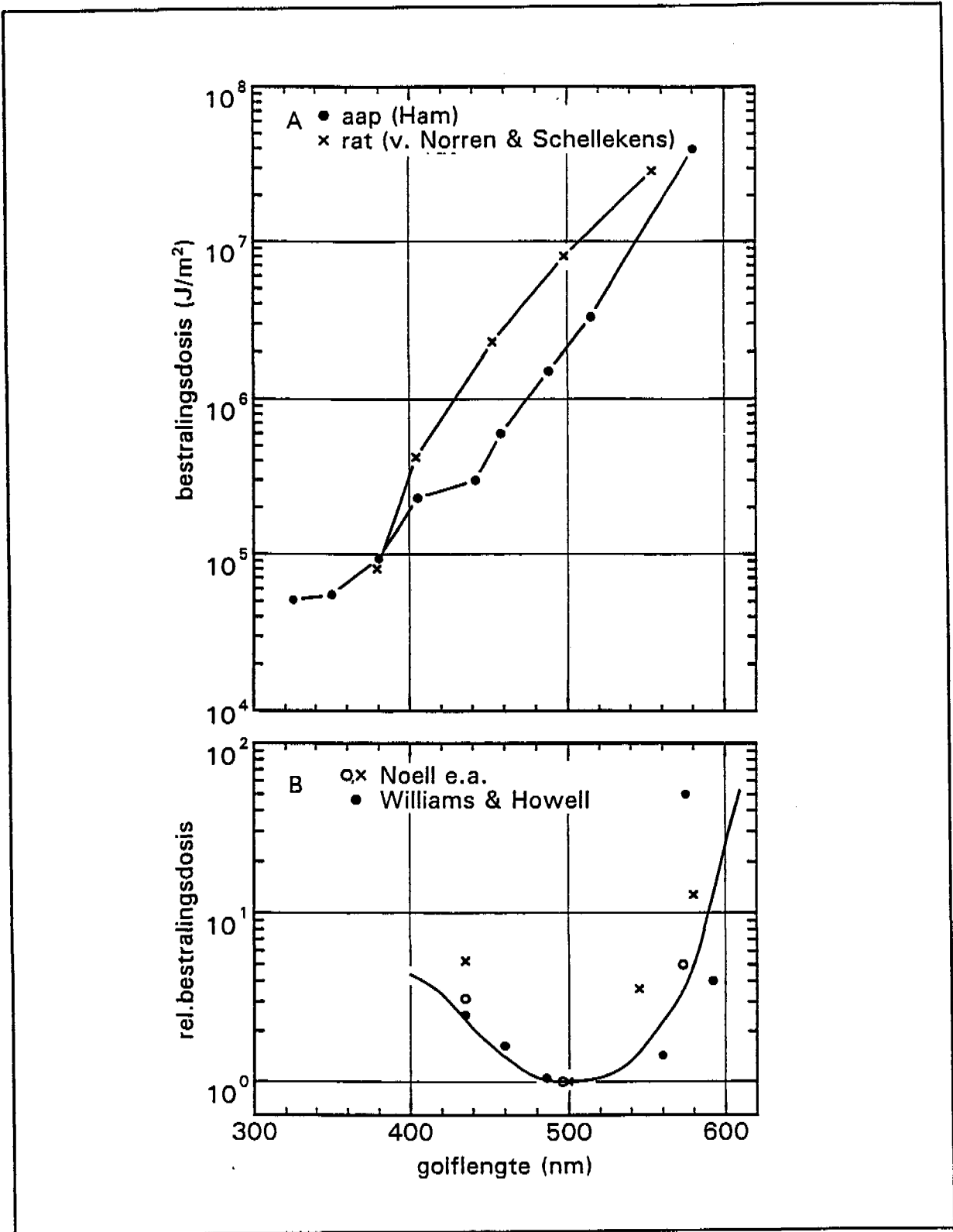
Voor een blootstellingsduur groter dan ongeveer 1 minuut domineert fotochemische schade over thermische schade (Mil87, Kre88). In figuur 6.3 zijn (dier)experimentele gegevens over drempels voor netvliesschade door wit licht aangegeven. Bij de verklaring van de ligging van deze schadepunten heeft men onderscheid gemaakt tussen twee typen schade: het 'blauw licht'-type en het 'visueel pigment'-type.

Schade van het 'blauw licht'-type speelt een rol bij de grotere waarden van de bestralingssterkte. Het is onbekend welk pigment, of welke combinatie van pigmenten, de straling absorbeert bij dit type schade. Men ziet de eerste schadeverschijnselen meestal alleen in het RPE.

Bij een golflengte van 325 nm is de drempelwaarde van de bestralingsdosis ter plaatse van het netvlies het kleinst (Ham82), waarbij de commissie aantekent dat voor kleinere golflengten geen gegevens voorhanden zijn (figuur 6.4). Voor de praktijk is niet de spectrale werkzaamheid ter plaatse van het netvlies, maar die ter plaatse van het hoornvlies van belang. In dat laatste geval is rekening gehouden is met absorptie in de oogmedia. Het maximum valt dan in het blauwe deel van het zichtbare spectrum. Zich aansluitend bij de Angelsaksische literatuur, waar gesproken wordt over de 'blue light hazard', heeft de commissie voor de naam 'blauw licht'-schade gekozen.

Patiënten die na een lensextractie een implantlens zonder beschermend filter hebben gekregen, hebben een grotere kans op schade dan mensen met een normale ooglens. Ook jonge kinderen lopen een enigszins verhoogd risico, omdat hun ooglens meer doorlaatbaar is voor UV straling dan de lens van een volwassene.

Bij een blootstellingsduur van langer dan 8 uur blijkt schade in het netvlies bij relatief kleine waarden van de bestralingssterkte te kunnen optreden (zie figuur 6.3). Noell maakte er in 1966 voor het eerst melding van op grond van een onderzoek bij ratten (Noe66). Later werd de schade ook bij andere



Figuur 6.4. Gegevens uit proefdieronderzoek over de golflengte-afhankelijkheid van de bestralingsdosis op het netvlies voor fotochemische netvliesschade. A: schade van het 'blauw licht'-type (gemiddelde waarden uit Nor90); B: schade van het 'visueel pigment'-type bij de rat (Kre88).

diersoorten gevonden, onder andere bij apen (Syk81). Dit type schade treedt vooral op in de lichtreceptoren. De effectiviteit om de schade te bewerkstelligen, heeft een golflengte-afhankelijkheid die overeenkomt met het absorptiespectrum van de visuele pigmenten. Vandaar de keuze van de commissie voor de naam: schade van het 'visueel pigment'-type. Voor rhodopsine ligt het maximum bij ongeveer 500 nm (figuur 6.4).

Hoewel lichtschade van het 'visueel pigment'-type mogelijk ook bij mensen voorkomt, laat de commissie die in dit advies verder buiten beschouwing. Er bestaat noch over het optreden van deze vorm van schade, noch over de verklaring ervan, in de internationale wetenschappelijke wereld overeenstemming (Kre89). Bovendien treedt de schade waarschijnlijk niet op binnen een periode van een (werk)dag, terwijl een langere blootstelling in de praktijk niet waarschijnlijk is.

.....

Effecten na langdurige blootstelling

De laatste tijd vindt de zienswijze ingang dat de cumulatieve bestralingsdosis van (zichtbaar) licht de kans op leeftijdgebonden degeneratie van de macula (LMD) vergroot (You88, Nor91). LMD is voornaamste oorzaak van blindheid op hoge leeftijd. In een groot epidemiologisch onderzoek werd bij een groep van 838 vissers de cumulatieve bestralingsdoses van UV-A, UV-B en straling in het zichtbare spectraalgebied (componenten van het hemellicht) berekend over het hele leven. De UV-A- en UV-B-bestralingsdoses vertoonden geen verband met het optreden van LMD (Wes89), maar die van licht wel (Tay92). De hierboven ten aanzien van schade van het 'visueel pigment'-type beargumenteerde terughoudendheid geldt in nog sterkere mate voor LMD. Het betreft immers een nog zeer speculatief, aan overbelichting op zeer lange termijn toegeschreven verschijnsel. Zo wezen de onlangs gepubliceerde resultaten van een epidemiologisch onderzoek in Australië niet op een verband tussen blootstelling aan zonlicht en LMD (Mit93).

.....

7 GEZONDHEIDSKUNDIGE ADVIESWAARDEN

7.1 Begripsomschrijving

In hoofdstuk 1 introduceerde de commissie het begrip gezondheidskundige advieswaarde. Voor de omschrijving van dit begrip sluit zij zich aan bij het advies van een andere commissie van de Gezondheidsraad over uitgangspunten voor normstelling voor stoffen (GR85). De gezondheidskundige advieswaarde is 'een schatting van het hoogste nog gezondheidskundig verantwoorde niveau van blootstelling' aan een agens, in dit geval aan optische straling. De gezondheidskundige advieswaarden in het voorliggende advies corresponderen met de 'aanvaardbare stralingsniveaus' uit het advies van 1978.

Het is niet altijd mogelijk om direct uit de resultaten van wetenschappelijk onderzoek gezondheidskundige advieswaarden af te leiden. Zo zullen gegevens uit dierexperimenteel onderzoek met onzekerheid zijn behept, onder meer vanwege onvolkomenheden in de onderzoeksopzet en de variatie in gevoeligheid tussen de proefdieren. Het vertalen van de proefdiergegevens naar schadegrenzen en risicogetallen voor blootstelling van de mens is een volgende bron van onzekerheid. Ook over het bestaan van mogelijk bijzonder gevoelige personen is veelal weinig bekend. Het aanbevelen van een gezondheidskundige advieswaarde vereist daarom, naast een beoordeling van de wetenschappelijke gegevens, ook een oordeel over aard en invloed van zulke onzekerheden. De commissie zal aangeven op welke wijze zij dit oordeel in de aanbevolen advieswaarden heeft verdisconteerd.

Een advieswaarde zal in het algemeen variëren met de golflengte. Voor de diverse te bespreken effecten heeft de

commissie ervoor gekozen de advieswaarden $X_{A,\lambda}$ als volgt weer te geven:

$$X_{A,\lambda} = (1/A_\lambda) X_{A,ref}$$

$X_{A,\lambda}$ is de gezondheidkundige advieswaarde bij golflengte λ uitgedrukt in termen van de bestralingsdosis ($X = H$), de bestralingssterkte ($X = E$), de over de tijd geïntegreerde radiantie ($X = L^*$) of de ingestraalde energie ($X = Q$). De weegfunctie A_λ is op 1 genormeerd bij de golflengte $\lambda = 'ref'$ en is te beschouwen als een spectrale werkingsfunctie (zie hoofdstuk 2). Bij $\lambda = 'ref'$ is de advieswaarde dus gelijk aan $X_{A,ref}$. De commissie specificeert verschillende weegfuncties voor de diverse effecten, bijvoorbeeld $A_\lambda = Y_\lambda$ voor erytheem, hoorn- en bindvliesschade; zie ook tabel 2.1.

.....

7.2 Indeling

De commissie gaat in dit hoofdstuk afzonderlijk in op de vroege en de late schadelijke effecten van blootstelling aan optische straling. Onder 'vroege' schade verstaat zij effecten die binnen enkele dagen na de blootstelling aan het licht treden. Deze effecten zijn vooral van belang bij kortdurende blootstelling (binnen een dag). Late schade treedt in het algemeen pas op na langdurige blootstelling, bijvoorbeeld na jaren.

De 'vroege' effecten die de commissie in de hoofdstukken 4, 5 en 6 heeft besproken, treden pas op na het overschrijden van een drempelwaarde van de bestralingsdosis op huid of oog. De commissie bespreekt achtereenvolgens advieswaarden voor:

- erytheem, hoorn- en bindvliesontsteking (paragraaf 7.3);
- thermische schade in huid, hoornvlies (paragraaf 7.4);
- staar (schade aan de ooglenzen) (paragraaf 7.5);
- netvliesschade (paragraaf 7.6).

Voor effecten na chronische blootstelling kan de commissie in het algemeen geen gezondheidkundige advieswaarden aanbevelen (paragraaf 7.7).

.....

.....

7.3 Advieswaarden voor erytheem, hoorn- en bindvliesschade

In de hoofdstukken 3, 4 en 5 is erytheem (effect in de huid) gescheiden behandeld van hoorn- en bindvliesontsteking (effecten in het oog). De verschillen in de drempelwaarden zijn echter zo gering, dat de commissie het aanbevelen van één gezondheidkundige advieswaarde voor beide effecten gerechtvaardigd acht.

Voor de bescherming tegen erytheem hanteert de commissie de volgende uitgangspunten:

- de advieswaarde is afgestemd op personen met een gevoelige huid (mensen met een blanke huid die in de zon nooit bruinen)
- de advieswaarde geldt voor blootstelling binnen een etmaal en met als criterium een waarneembaar erytheem binnen 8 uur na de blootstelling.

Het eerste uitgangspunt verdient enige toelichting. Op grond van de gevoeligheid voor erytheem en het gemak waarmee iemand bruint, hebben dermatologen een indeling in vijf huidtypen gemaakt (GR86). Mensen die zeer snel last hebben van zonnebrand en nooit bruinen hebben huidtype 1, het meest gevoelige type; tot deze groep behoren de aan het einde van paragraaf 4.2 genoemde personen van Keltische afkomst. Ook personen met dit huidtype worden door het aanhouden van de advieswaarde beschermd. Daarnaast komen er in de bevolking echter personen voor die overgevoelig zijn voor UV straling, bijvoorbeeld door erfelijke oorzaken of door het innemen van bepaalde geneesmiddelen of natuurlijke stoffen. Zij worden niet beschermd door het aanhouden van de advieswaarde.

Uit de gegevens over de voor het opwekken van erytheem minimaal benodigde bestralingsdosis kan men afleiden dat bij blootstelling aan een erytheem-effectieve bestralingsdosis van 50 J/m^2 of minder gedurende een etmaal geen erytheem zal optreden (paragraaf 4.2). De erytheem-effectieve bestralingsdosis dient daarbij te worden bepaald met behulp van de spectrale werkingsfunctie van McKinlay (McK87). De commissie heeft hierbij rekening gehouden met de nauwkeurigheid van de experimenten en de huidtypen van de bij de experimenten betrokken proefpersonen.

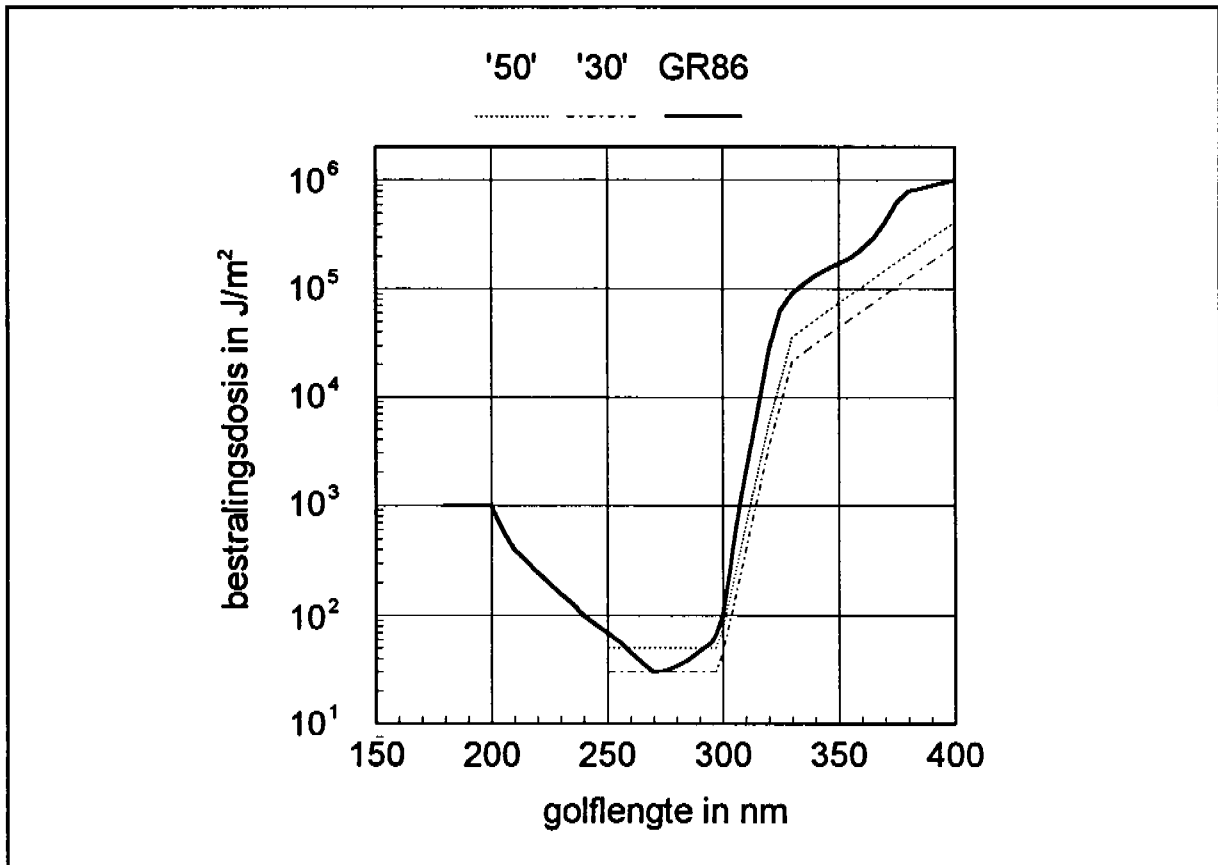
De genoemde waarde heeft betrekking op de totale blootstelling aan (UV) straling gedurende een etmaal, dus zowel op blootstelling aan straling afkomstig van de zon als van kunstmatige bronnen. Op een zomerse dag kan een erytheem-effectieve bestralingsdosis van 50 J/m^2 door blootstelling aan de zon gemakkelijk worden overschreden, ook zonder dat er sprake is van doelbewust zonnebaden. Gezien de aard van de blootstelling kan erytheem in dat geval alleen worden voorkomen door verstandig 'zongedrag'. Dat kan worden bewerkstelligd via voorlichting over gewenning van de huid aan blootstelling van de zon, over de wenselijkheid om de duur van de blootstelling te beperken en de zon op bepaalde tijdstippen te mijden, en over het doelgericht toepassen van antizonnebrand-middelen.

.....

Voor hoorn- en bindvliesontsteking geldt de advieswaarde voor blootstelling binnen een etmaal en met als criterium een onder de spleetlamp waarneembare ontsteking binnen 8 uur na de blootstelling. Er zijn geen gegevens over gevoelige groepen bekend. De commissie volgt de opstellers van het advies van 1986 over UV straling, die hun keuze van advieswaarden baseerden op een compilatie van literatuurgegevens over hoornvliesschade in het golflengtegebied van 200-370 nm. Daarnaast werd in overweging genomen dat de spectrale afhankelijkheid in dat gebied grote gelijkenis vertoonde met die voor erytheem. Verder is het hoornvlies zeker zo gevoelig als het meest gevoelige huidtype.

.....

In figuur 7.1 is de golflengte-afhankelijkheid aangegeven van een erytheem-effectieve bestralingsdosis van 50 J/m^2 (op basis van de spectrale werkzaamheid van McKinlay, zie paragraaf 4.2) en van de in het advies van 1986 voorgestelde 'huid/oog'-effectieve bestralingsdosis van 30 J/m^2 (tabel 5 in GR86). Tevens is het verloop van een erytheem-effectieve bestralingsdosis van 30 J/m^2 ingetekend. Gezien de overeenkomst van de diverse curven en de spreiding in de experimentele gegevens (zie GR86), stelt de commissie voor om de curven te combineren. Een vraag daarbij is: welke waarden dienen bij golflengten kleiner dan 300 nm te worden aanbevolen? In het advies van 1978 werd in het UV-C-gebied een

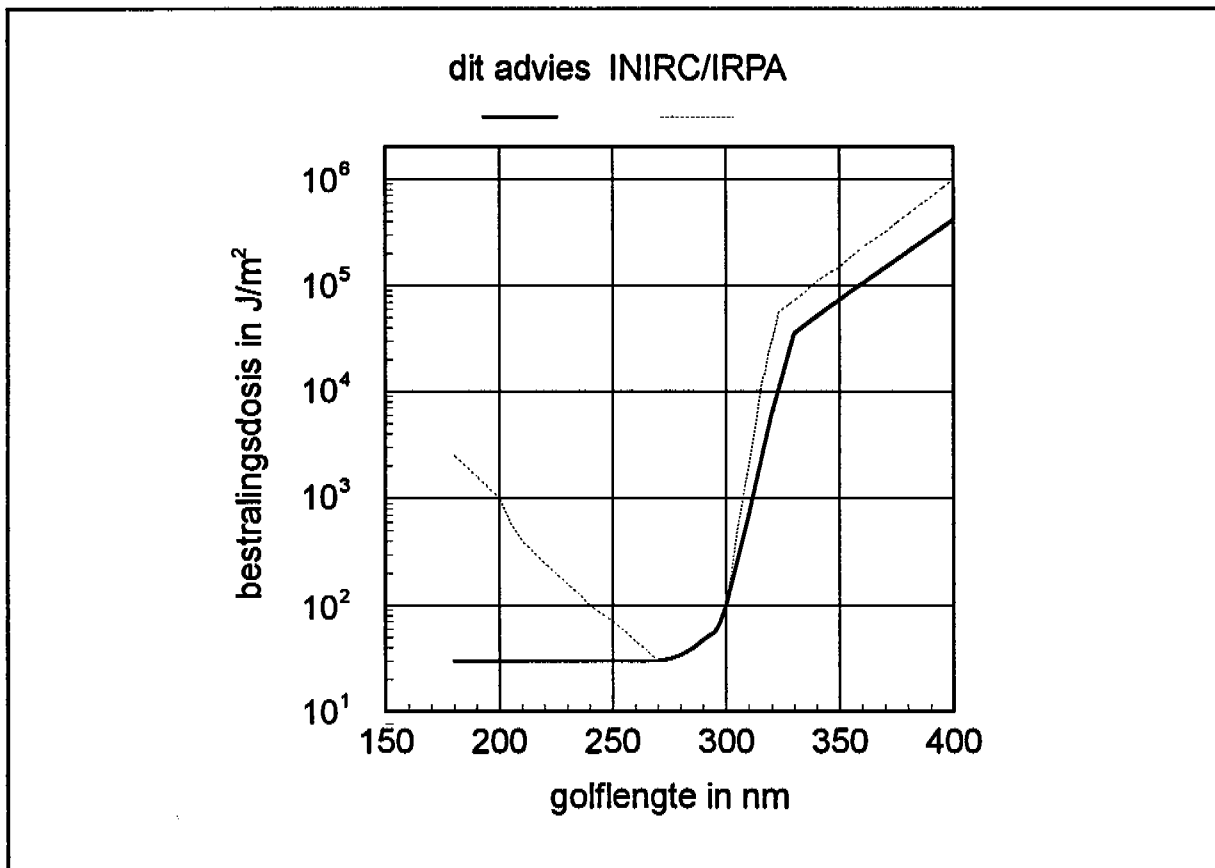


Figuur 7.1. De golflengte-afhankelijkheid van een erytheem-effectieve bestralingsdosis van 30 ('30') en van 50 J/m² ('50') en van een 'huid/oog'-effectieve bestralingsdosis van 30 J/m² ('GR86'). De erytheem-effectieve bestralingsdosis is gebaseerd op de spectrale werkingfunctie van McKinlay (McK87); de 'huid/oog'-effectieve bestralingsdosis is afkomstig van GR86.

.....

horizontaal verloop op 30 J/m² voorgesteld. De commissie sluit zich bij die benadering aan en wijkt daarmee af van het voorstel in het advies over UV straling van 1986. Zij meent dat het aanbevelen van een constante advieswaarde voor de bestralingsdosis het meest eenvoudige is. Gezien het zeer beperkte aantal stralingsbronnen in dit golflengtegebied en de absorptie van UV-C straling in lucht, zal het hanteren van een dergelijke advieswaarde in de praktijk niet op problemen stuiten.

Voor het golflengtegebied van 100 nm tot 180 nm doet de commissie geen voorstellen. Er zijn geen gegevens om advieswaarden te kunnen onderbouwen. Dit gebied kent echter geen stralingsbron-



Figuur 7.2. De door de commissie aanbevolen gezondheidkundige advieswaarde voor de bestralingsdosis over een etmaal ter bescherming tegen erytheem en hoorn- en bindvliesontsteking. Ter vergelijking is de door de INIRC/IRPA aanbevolen 'exposure limit' voor niet-coherente UV straling getekend (stippellijn; IRPA91).

nen die algemeen worden gebruikt, terwijl de straling bovendien sterk in de lucht wordt geabsorbeerd.

Op grond van het bovenstaande beveelt de commissie aan als gezondheidkundige advieswaarde voor erytheem, hoorn- en bindvliesontsteking in het golflengtegebied van 180 tot 270 nm een golflengte-onafhankelijke bestralingsdosis van 30 J/m², van 270 tot 300 nm de waarden van de 'huid/oog'-curve en van 300 tot 400 nm de erytheem-effectieve bestralingsdosis van 50 J/m². Het resultaat staat in figuur 7.2, samen met de door het International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC) van de International Radiation Protection Association (IRPA) voorgestelde 'exposure

Tabel 7.1. Weegfunctie Y_λ ten behoeve van het afleiden van gezondheidkundige advieswaarden voor de bestralingsdosis, als functie van de golflengte λ in nm, voor erytheem, hoornvlies- en bindvliesontsteking. De advieswaarde $H_{\lambda,\lambda}$ is gelijk aan $30/Y_\lambda$ J/m².

λ (nm)	Y_λ	λ (nm)	Y_λ	λ (nm)	Y_λ
180	1	280	0,88	325	$0,17 \times 10^{-2}$
190	1	285	0,77	328	$0,91 \times 10^{-3}$
200	1	290	0,64	330	$0,82 \times 10^{-3}$
205	1	295	0,54	333	$0,74 \times 10^{-3}$
210	1	297	0,46	335	$0,69 \times 10^{-3}$
215	1	300	0,39	340	$0,58 \times 10^{-3}$
220	1	303	0,20	345	$0,49 \times 10^{-3}$
225	1	305	0,13	350	$0,41 \times 10^{-3}$
230	1	308	$0,69 \times 10^{-1}$	355	$0,35 \times 10^{-3}$
235	1	310	$0,45 \times 10^{-1}$	360	$0,29 \times 10^{-3}$
240	1	313	$0,23 \times 10^{-1}$	365	$0,24 \times 10^{-3}$
245	1	315	$0,15 \times 10^{-1}$	370	$0,21 \times 10^{-3}$
250	1	316	$0,12 \times 10^{-1}$	375	$0,17 \times 10^{-3}$
254	1	317	$0,98 \times 10^{-2}$	380	$0,15 \times 10^{-3}$
255	1	318	$0,79 \times 10^{-2}$	385	$0,12 \times 10^{-3}$
260	1	319	$0,64 \times 10^{-2}$	390	$0,10 \times 10^{-3}$
265	1	320	$0,51 \times 10^{-2}$	395	$0,87 \times 10^{-4}$
270	1	322	$0,33 \times 10^{-2}$	400	$0,73 \times 10^{-4}$
275	0,98	323	$0,27 \times 10^{-2}$		

limit'. De gezondheidkundige advieswaarden gelden voor blootstelling binnen een etmaal. De weegfunctie Y_λ , die de golflengte-afhankelijkheid van de advieswaarde beschrijft, is getabelleerd in tabel 7.1. Evenmin als de opstellers van de adviezen van 1978 en 1986 acht de commissie een advieswaarde voor de bestralingssterkte in het UV-A spectraal gebied noodzakelijk voor zover het gaat om bescherming tegen acute effecten.

De afwijking tussen het voorstel van de commissie enerzijds en de waarden van de INIRC/IRPA en die van het advies van 1986 anderzijds treedt vooral op bij golflengten kleiner dan 270 nm. De commissie wijst erop dat de INIRC/IRPA voor lasers in dit golflengtegebied wel een waarde van 30 J/m^2 aanbeveelt (IRPA91). Evenmin als de opstellers van het advies van 1978 ziet de commissie aanleiding om onderscheid te maken tussen lasers en andere stralingsbronnen. Zo'n onderscheid maakt de advieswaarden nodeloos gecompliceerd en is vanuit gezondheidkundig oogpunt onnodig, terwijl de commissie ook geen andere steekhoudende redenen ervoor bekend zijn. De commissie heeft ook kennis genomen van de aanbeveling van de ACGIH (ACG91) en van de INIRC/IRPA (IRPA91) om voor lasers in het golflengtegebied van 180 tot 315 nm een additionele advieswaarde van $5600t^{1/4}$ voor bestralingsduren t van 10 s of minder te hanteren. De achtergrond van die aanbeveling is de commissie niet duidelijk; navraag bij de INIRC/IRPA heeft geen opheldering verschaft.

De commissie drukt de golflengte-afhankelijkheid van de door haar voorgestelde advieswaarden uit in een weegfunctie Y_λ voor de bestralingsdosis die bij 270 nm op 1 is genormeerd (zie tabel 7.1). Voor blootstelling aan een constante bestralingssterkte gedurende een periode t komt het inacht nemen van de door de commissie aanbevolen advieswaarde in formulevorm neer op

$$\sum_{180 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} (Y_\lambda \times E'_\lambda \times \Delta\lambda) t \leq 30 \text{ J/m}^2$$

waarin E'_λ de gemiddelde spectrale bestralingssterkte in een golflengteband $\Delta\lambda$ is.

.....

.....

7.4 Advieswaarden voor thermische schade in huid en hoornvlies

In het advies van 1978 is een beschouwing gegeven over het afleiden van advieswaarden voor thermische schade (zie ook paragraaf 4.4). De commissie meent dat die beschouwing nog steeds opgeld doet. Zij beveelt daarom aan om de in het advies van 1978 voorgestelde waarden ook nu als gezondheidskundige advieswaarden voor het voorkómen van thermische schade te hanteren. In de afleiding van deze advieswaarden is geen rekening gehouden met de reflectie van de huid. Uit figuur 4.3 blijkt dat die reflectie slechts in het zichtbare spectrale gebied van belang is, maar ook daar, bij donkerhuidigen, aanzienlijk kleiner is dan 50%. Verder zijn de advieswaarden ongeveer een factor drie of meer kleiner dan de bestralingsdoses waarbij juist schade werd gevonden, terwijl de beschikbare onderzoekgegevens ook betrekking hadden op herstelbare schade.

De door de commissie aanbevolen gezondheidskundige advieswaarden voor de bestralingsdosis zijn afhankelijk van de bestralingsduur t (paragraaf 4.4). De golflengte-afhankelijkheid is verdisconteerd in een weegfunctie T_λ die bij 3000 nm op 1 is genormeerd en gelijk is aan $2/d_e$ voor zover de equivalente doordringingsdiepte d_e groter is dan $2 \mu\text{m}$ en gelijk aan 1 voor d_e kleiner dan of gelijk aan $2 \mu\text{m}$ (zie tabel 7.2). De advieswaarden worden beschreven door de uitdrukking (GR78; zie ook figuur 4.5):

$$H_{\lambda,\lambda} = 100/T_\lambda + 5,5 \times 10^3 (t)^{0,25} + 10^3 t \text{ [J/m}^2\text{]}$$

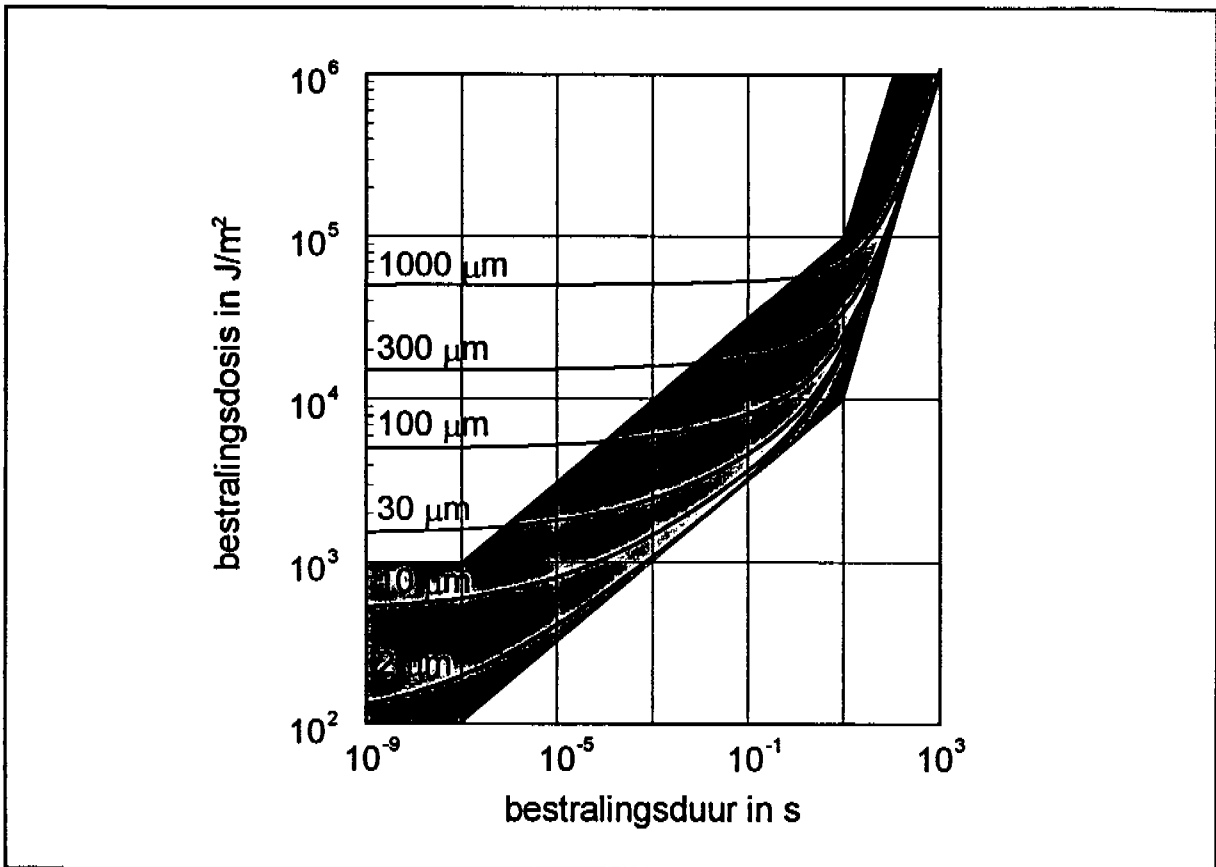
(t in s, d_e in μm)

Dat voor waarden van d_e kleiner dan $2 \mu\text{m}$ geen afzonderlijke advieswaarden nodig zijn, heeft de volgende reden. In dat geval vindt de absorptie vooral plaats aan de buitenzijde van het hoornvlies of de huid, dat wil zeggen niet in levend weefsel (maar in respectievelijk het traanvocht of de opperhuid). Volgens de commissie is dan bij korte blootstellingsduur vanuit gezondheidskundig oogpunt geen bijzondere bescherming nodig.

Voor bestralingsduren korter dan ruwweg 1 microseconde komt de advieswaarde vrijwel overeen met $100/T_\lambda \text{ J/m}^2$, voor

Tabel 7.2. Weegfunctie T_λ ten behoeve van het afleiden van gezondheidkundige advieswaarden voor de bestralingsdosis, als functie van de golflengte λ , voor thermische schade in de huid, hoornvlies en bindvlies.

λ (nm)	T_λ	λ (nm)	T_λ	λ (nm)	T_λ
huid					
250	0,17	550	$0,10 \times 10^{-1}$	1200	$0,29 \times 10^{-2}$
300	$0,67 \times 10^{-1}$	700	$0,59 \times 10^{-2}$	1400	$0,29 \times 10^{-2}$
400	$0,22 \times 10^{-1}$	1000	$0,35 \times 10^{-2}$	1700	$0,67 \times 10^{-2}$
oog					
600	$0,66 \times 10^{-6}$	925	$0,42 \times 10^{-4}$	1350	$0,71 \times 10^{-3}$
625	$0,81 \times 10^{-6}$	950	$0,11 \times 10^{-3}$	1400	$0,36 \times 10^{-2}$
675	$0,12 \times 10^{-5}$	975	$0,13 \times 10^{-3}$	1450	$0,74 \times 10^{-2}$
700	$0,17 \times 10^{-5}$	1000	$0,10 \times 10^{-3}$	1500	$0,53 \times 10^{-2}$
725	$0,46 \times 10^{-5}$	1030	$0,53 \times 10^{-4}$	1550	$0,29 \times 10^{-2}$
750	$0,75 \times 10^{-5}$	1070	$0,37 \times 10^{-4}$	1600	$0,20 \times 10^{-2}$
775	$0,69 \times 10^{-5}$	1100	$0,50 \times 10^{-4}$	1650	$0,15 \times 10^{-2}$
800	$0,57 \times 10^{-5}$	1130	$0,12 \times 10^{-3}$	1700	$0,15 \times 10^{-2}$
825	$0,80 \times 10^{-5}$	1170	$0,29 \times 10^{-3}$	1750	$0,18 \times 10^{-2}$
850	$0,13 \times 10^{-4}$	1200	$0,30 \times 10^{-3}$	1800	$0,23 \times 10^{-2}$
875	$0,16 \times 10^{-4}$	1250	$0,26 \times 10^{-3}$	1850	$0,29 \times 10^{-2}$
900	$0,20 \times 10^{-4}$	1300	$0,32 \times 10^{-3}$	1900	$0,24 \times 10^{-1}$
huid en oog					
1950	$0,32 \times 10^{-1}$	3400	0,21	9000	0,17
2000	$0,20 \times 10^{-1}$	3600	$0,53 \times 10^{-1}$	10000	0,18
2100	$0,77 \times 10^{-2}$	3800	$0,33 \times 10^{-1}$	12000	0,61
2200	$0,48 \times 10^{-2}$	4100	$0,50 \times 10^{-1}$	15000	0,67
2300	$0,69 \times 10^{-2}$	4400	$0,87 \times 10^{-1}$	20000	0,71
2400	$0,14 \times 10^{-1}$	4700	0,13	25000	0,51
2500	$0,24 \times 10^{-1}$	5000	$0,91 \times 10^{-1}$	40000	0,35
2600	$0,44 \times 10^{-1}$	5300	$0,61 \times 10^{-1}$	50000	0,38
2700	0,26	5600	$0,91 \times 10^{-1}$	70000	0,30
2800	1	6100	0,77	100000	0,20
2900	1	6500	0,22	200000	$0,91 \times 10^{-1}$
3000	1	7000	0,17	500000	$0,57 \times 10^{-1}$
3200	1	8000	0,15	1000000	$0,40 \times 10^{-1}$

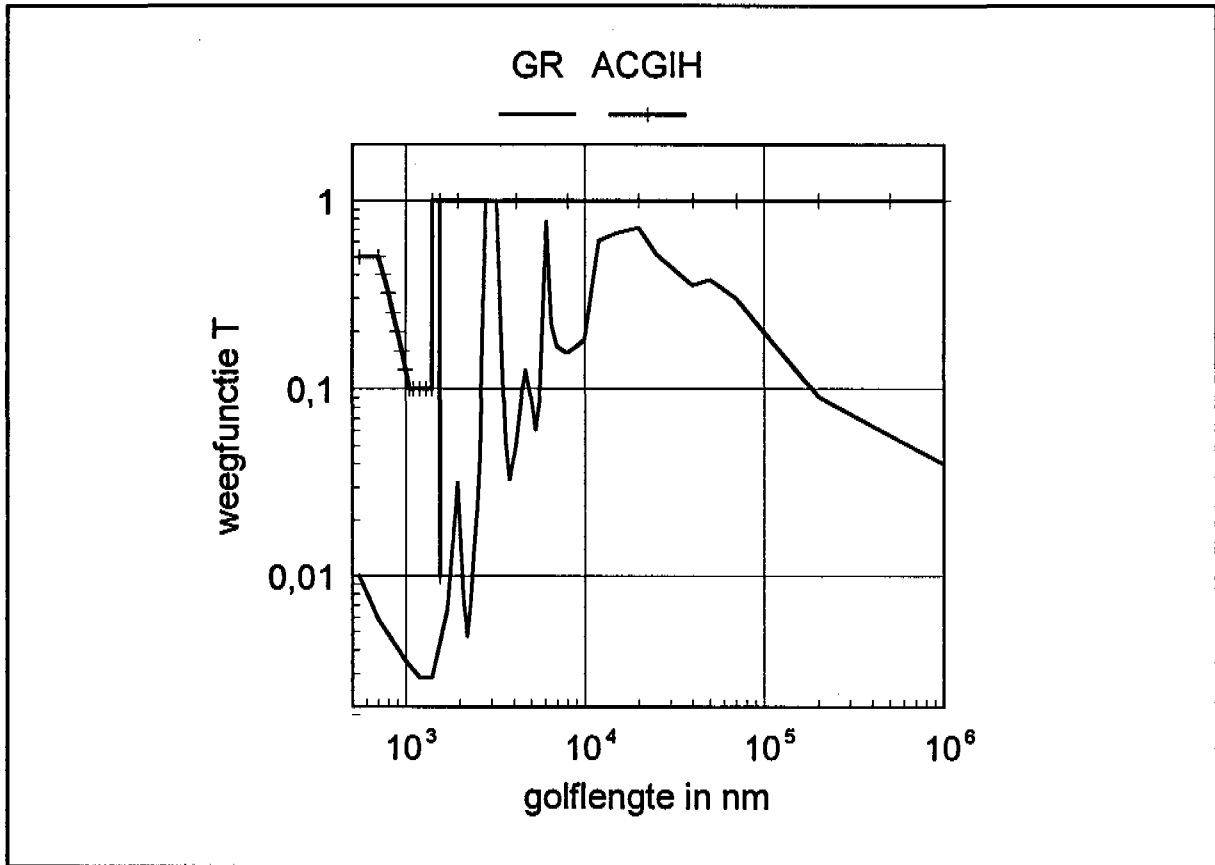


Figuur 7.3. De door de commissie aanbevolen gezondheidkundige advieswaarden voor thermische schade in huid en oog. De curven zijn gegeven voor diverse waarden van de equivalente doordringingsdiepte d_e ($= 2/T$; T is de weegfunctie die de golflengteafhankelijkheid van de advieswaarde beschrijft). Het gearceerde gebied geeft aan waarin de, voor uiteenlopende golflengten parallel verlopende, maximale blootstellingsniveaus volgens de ACGIH en de IRPA (IRPA91) liggen.

bestralingsduren langer dan 1 s met $1000t \text{ J/m}^2$, dat wil zeggen met een bestralingssterkte van 1 kW/m^2 .

Voor blootstelling aan constante bestralingssterkte gedurende een periode t komt het inacht nemen van de door de commissie aanbevolen advieswaarde in formulevorm neer op

$$1 \text{ mm} \\ \left(\sum_{900 \text{ nm}} (E'_{\lambda} \times \Delta\lambda) / H_{A,\lambda}(t) \right) t \leq 1$$



Figuur 7.4. De spectrale gewichtsfactor T_λ voor thermische huidschade als functie van de golflengte λ volgens het voorstel van de commissie en van de ACGIH (ACG91, ACG92). De ACGIH stelt voor om rond 1540 nm de eerdere waarde van 1 te vervangen door 0,01. De functie T geeft de golflengte-afhankelijkheid van de gezondheidskundige advieswaarde weer voor zeer kleine bestralingstijden.

.....

waarin E'_λ de gemiddelde bestralingssterkte in een golflengteband $\Delta\lambda$ bij golflengte λ is en $H_{A,\lambda}$ de uit de gegeven uitdrukking af te leiden gezondheidskundige advieswaarde voor de bestralingsdosis bij blootstellingsduur t .

In figuur 7.3 zijn de door de commissie aanbevolen advieswaarden voor verschillende waarden van d_e ($= 2/T$) weergegeven. Tevens is aangegeven binnen welke bandbreedte de door de ACGIH (ACG91, ACG92) en de INIRC/IRPA (IRPA91) aanbevolen waarden zich bewegen. In figuur 7.4 is de gewichtsfunctie T uitgezet en de overeenkomstige door de ACGIH aanbevolen functie. De 'streep' bij 1540 nm geeft een door de ACGIH voorgestelde wijziging aan.

.....

Duidelijk is dat de andere instanties een veel grotere veiligheids-
marge hanteren voor bestralingsduren kleiner dan ruwweg 1 s en voor
waarden van equivalente doordringingsdiepte groter dan ruwweg 30
 μm . Dit verschil bestond reeds in 1978. Uit gezondheidskundig
oogpunt ziet de commissie geen grond voor zo'n marge.

.....

7.5 Advieswaarden voor staar (schade aan de ooglens)

Zoals de advieswaarden voor fotochemische schade in de
huid en het hoornvlies voldoende zijn om bescherming te bieden
tegen fotochemische staar, zo blijken de advieswaarden voor
thermische schade in de huid en het hoornvlies in het algemeen
toereikend te zijn om bescherming te bieden tegen thermische staar.
In de vorige paragraaf is aangegeven dat voor een blootstellings-
duur langer dan ongeveer 1 s geen thermische schade in de huid en
het hoornvlies optreedt, indien de bestralingssterkte, ongeacht
de golflengte, een waarde van 1 kW/m^2 niet overschrijdt. Deze waarde
is iets kleiner dan de in paragraaf 5.4.2 besproken drempelwaarde
voor thermische staar. Een uitzondering vormt het UV-A spectraal
gebied waar de in 5.4.2 berekende drempelwaarde tot ongeveer een
factor 4 kleiner kan zijn. De commissie stelt daarom voor om de
waarden van tabel 7.3 te hanteren als gezondheidskundige
advieswaarden voor het voorkomen van staar door blootstelling aan
optische straling. In formulevorm komt dat neer op:

$$\sum (G_{\lambda} \times E'_{\lambda} \times \Delta\lambda) \leq 0,25 \text{ kW/m}^2$$

waarin E'_{λ} de gemiddelde bestralingssterkte is in een golflengteband
 $\Delta\lambda$ bij golflengte λ en G_{λ} de weegfunctie die de spectrale
werkzaamheid voor het teweegbrengen van lensschade in rekening
brengt. De sommatie loopt in principe over het gehele golflengte-
gebied (zie tabel 7.3).

.....

7.6 Advieswaarden voor netvliesschade

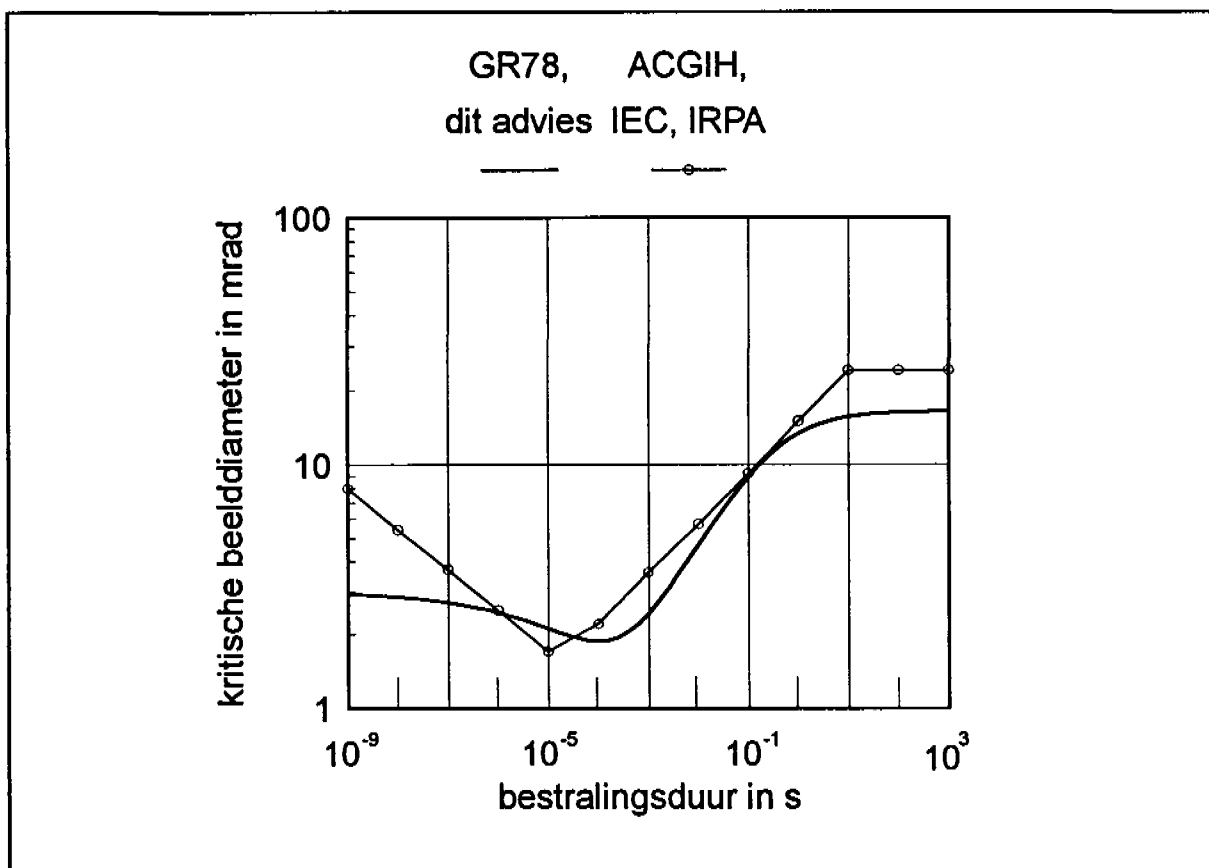
.....

Thermische schade

In hoofdstuk 6 heeft de commissie aangegeven hoe voor
thermische schade onderscheid te maken valt tussen puntbeelden en

Tabel 7.3. Weegfunctie G_λ ten behoeve van het afleiden van gezondheidskundige advieswaarden voor de bestralingssterkte als functie van de golflengte λ in nm voor schade in de lens.

λ (nm)	G_λ	λ (nm)	G_λ
<315	0,25	370	1
320	0,5	380	1
330	0,63	390	0,63
340	0,83	400	0,5
350	1	410	0,36
360	1	>420	0,25



Figuur 7.5. Verband tussen de kritische beelddiameter α_{krit} en de bestralingsduur zoals gegeven in het advies van 1978 (GR78) en dit advies (figuur 6.2). Ter vergelijking is de door de ACGIH (ACG91), de IEC (IEC84) en de IRPA (IRPA91) gehanteerde relatie ingetekend.

veldbeelden. De overgang tussen punt- en veldbeeld kan worden uitgedrukt in een kritische beelddiameter in hoekmaat, α_{krit} . De commissie herhaalt hier de formule waarmee α_{krit} in verband wordt gebracht met de bestralingsduur t in s:

$$\alpha_{krit} = 3 \sqrt{\frac{1 + 3000 t}{1 + 50 t^{1/3} + 100 t}} \quad [\text{milliradiaal}]$$

Deze relatie is grafisch weergegeven in figuur 7.5. Tevens is in de figuur de relatie gegeven die door andere instanties wordt aanbevolen.

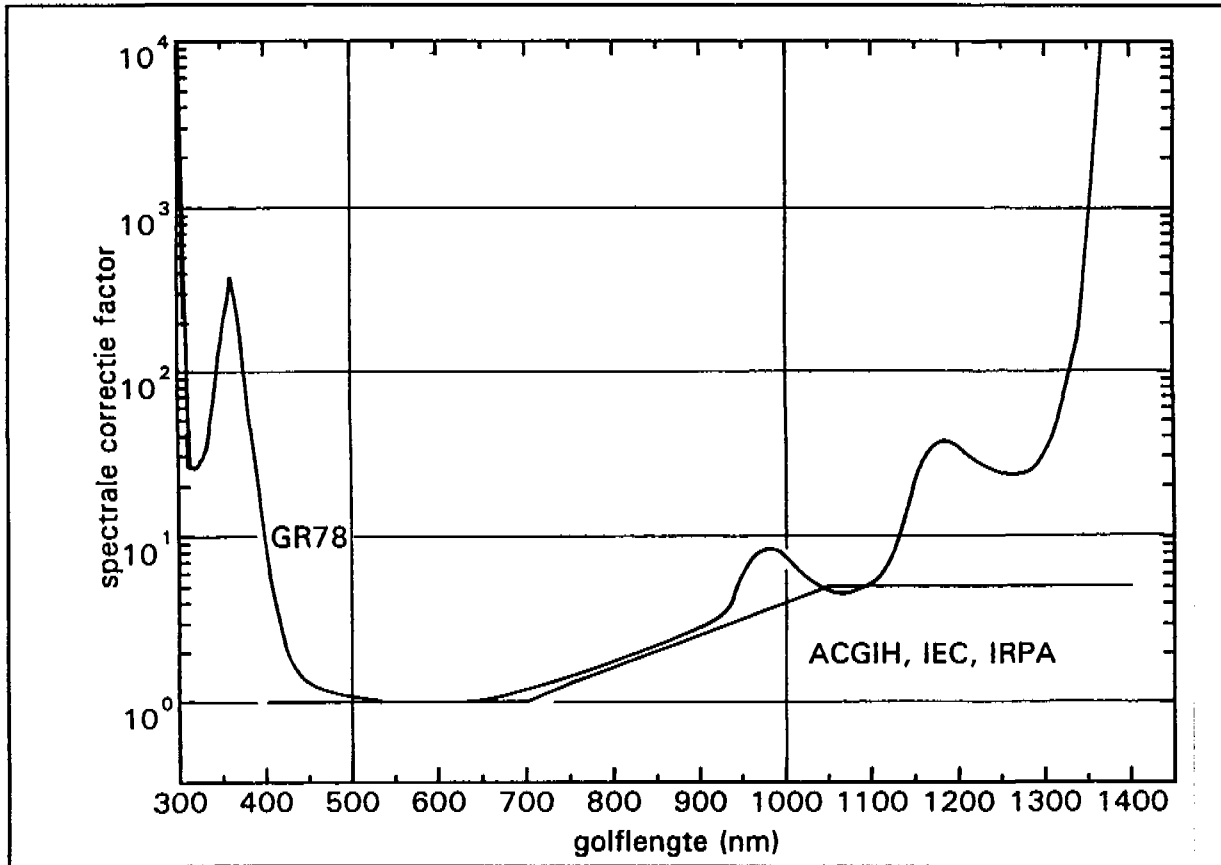
Als uitgangspunt voor de advieswaarden ter voorkoming van netvliesverbranding kiest de commissie de in hoofdstuk 6 gegeven drempelwaarden voor de energie op het netvlies bij puntbeelden en voor de bestralingsdosis op het netvlies bij veldbeelden. Omdat deze drempelwaarden uit dierproeven zijn afgeleid en de gebruikte proefdieren ruwweg een factor 3 gevoeliger blijken te zijn dan mensen, zouden de gevonden drempelcurven als advieswaarden voor de mens kunnen gelden. In het advies van 1978 is een extra 'voorwaardelijke' veiligheidsfactor van 3 ingevoerd, in afwachting van meer onderzoekgegevens. De situatie is sindsdien echter in feite niet veranderd. Omdat de in het advies van 1978 aanbevolen waarden globaal goed aansluiten bij internationaal gangbare 'threshold limit values', beveelt de commissie de destijds als 'voorwaardelijk veilig' aangeduide waarden aan als advieswaarden ter voorkoming van netvliesverbranding.

De commissie specificceert de door haar aanbevolen advieswaarden ter plaatse van het hoornvlies. Dit betekent dat de in hoofdstuk 6 gegeven uitdrukkingen moeten worden omgerekend van het netvlies naar het hoornvlies. Voor de drempelwaarde van de ingestraalde energie voor puntbeelden betekent dat deling door een weegfactor F_λ (F_λ is de inverse van de correctiefactor C_λ die in het advies van 1978 is aangegeven, aan het einde van paragraaf 6.2 is genoemd en ook in internationale aanbevelingen voorkomt, bijvoorbeeld in IRPA91). Waarden van F_λ zijn gegeven in tabel 7.4. De afhankelijkheid van F_λ van de golflengte λ is grafisch weergegeven in figuur 7.6. Ter vergelijking is in de figuur ook de door internationale commissies aanbevolen relatie van $F_\lambda = 1/C_\lambda$ met de golflengte getekend.

Bij instraling via een wijde, geheel gevulde pupil (meest ongunstige situatie) met een diameter van 8 mm (oppervlak ongeveer 50 mm²) vindt men voor het verband tussen de bestralingsdosis op het hoornvlies en de ingestraalde energie op het netvlies:

$$H_{\text{hoornvlies,puntbeeld},\lambda} = 2 \times 10^4 (1/F_\lambda) Q_{\text{netvlies,puntbeeld}}$$

H in J/m² en Q in J.



Figuur 7.6. Grafische weergave van het spectrale verloop van de correctiefactor $C_\lambda = 1/F_\lambda$ (zie tabel 7.4). Ter vergelijking is de door de ACGIH (ACG91), de IEC (IEC84) en de IRPA (IRPA91) gehanteerde relatie ingetekend.

De commissie geeft de advieswaarde voor veldbeelden in termen van de over de tijd geïntegreerde radiantie L^* . Daarbij gaat zij ook uit van een pupildiameter van 8 mm. Zo'n pupil beslaat een ruimtehoek van 0,15 sr. Dat geeft:

$$L^*_{\text{veldbeeld},\lambda} = 6,7 (1/F_\lambda) H_{\text{netvlies,veldbeeld}}$$

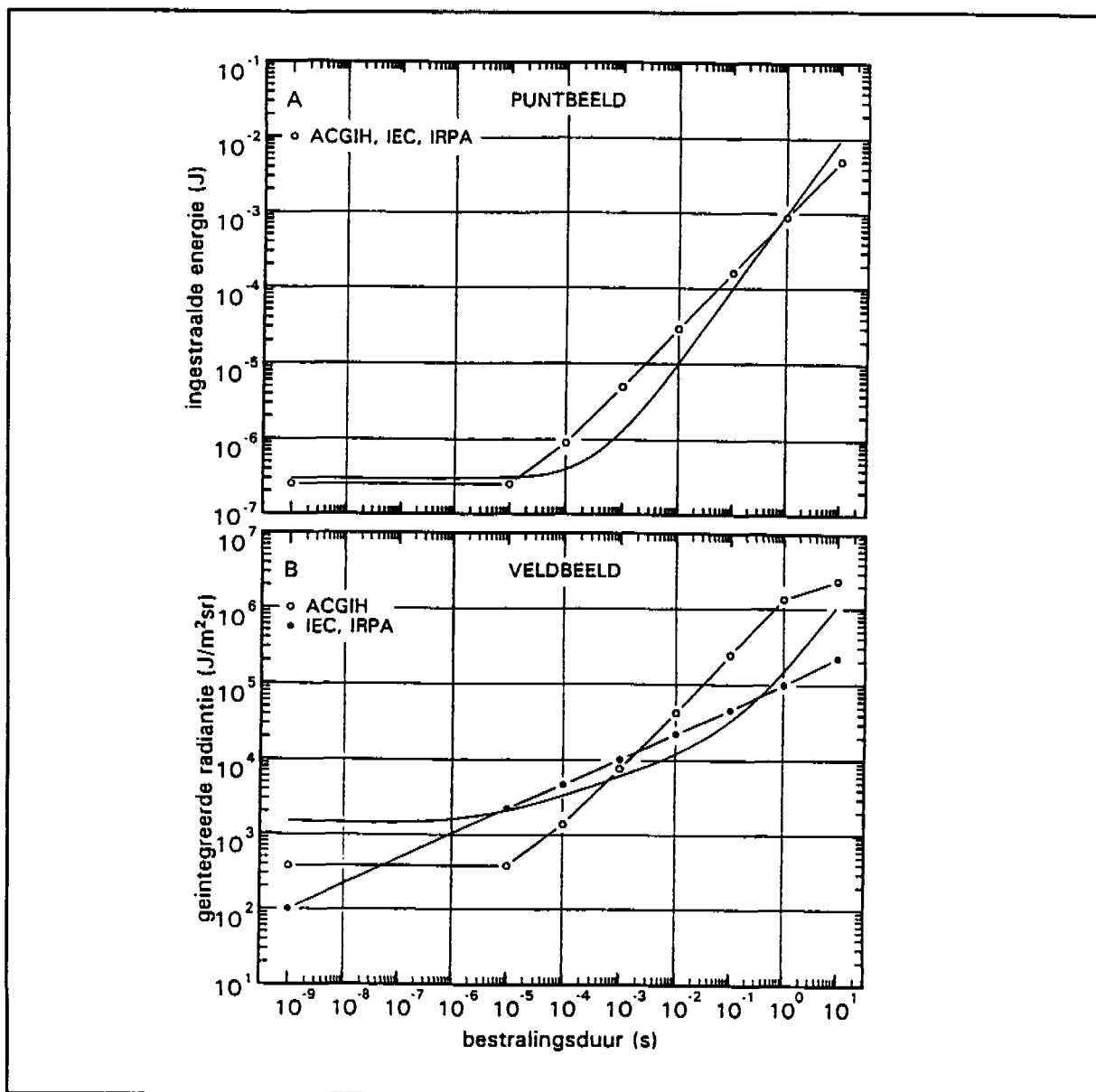
L^* in $J(m^2 \times sr)$, H in J/m^2 .

Zo resulteren de volgende uitdrukkingen voor de advieswaarden in verband met thermische netvliesschade:

Tabel 7.4. Weegfunctie F_λ ten behoeve van het afleiden van gezondheidkundige advieswaarden voor de bestralingsdosis als functie van de golflengte λ in nm voor thermische netvliesschade.

λ (nm)	F_λ	λ (nm)	F_λ	λ (nm)	F_λ	λ (nm)	F_λ
300	0,00001	570	1	840	0,45	1110	0,17
310	0,038	580	1	850	0,45	1120	0,15
320	0,040	590	1	860	0,43	1130	0,11
330	0,029	600	1	870	0,40	1140	0,071
340	0,014	610	1	880	0,38	1150	0,045
350	0,0048	620	1	890	0,37	1160	0,036
360	0,0026	630	1	900	0,36	1170	0,029
370	0,0054	640	0,91	910	0,33	1180	0,026
380	0,019	650	0,91	920	0,32	1190	0,027
390	0,053	660	0,91	930	0,29	1200	0,029
400	0,14	670	0,91	940	0,23	1210	0,033
410	0,26	680	0,83	950	0,17	1220	0,036
420	0,43	690	0,83	960	0,14	1230	0,038
430	0,59	700	0,83	970	0,12	1240	0,042
440	0,71	710	0,77	980	0,12	1250	0,043
450	0,77	720	0,77	990	0,13	1260	0,043
460	0,77	730	0,77	1000	0,14	1270	0,043
470	0,83	740	0,71	1010	0,15	1280	0,042
480	0,83	750	0,71	1020	0,17	1290	0,038
490	0,91	760	0,67	1030	0,19	1300	0,031
500	0,91	770	0,63	1040	0,21	1310	0,023
510	0,91	780	0,63	1050	0,21	1320	0,017
520	0,91	790	0,59	1060	0,21	1330	0,010
530	1	800	0,56	1070	0,21	1340	0,0050
540	1	810	0,53	1080	0,21	1350	0,0014
550	1	820	0,53	1090	0,20	1360	0,0010
560	1	830	0,48	1100	0,19		

NB. Voor gloeilamplicht krijgt de op grond van het intensiteits-spectrum berekende weegfunctie F de waarde 0,2, voor zonlicht de waarde 0,5 (GR78).



Figuur 7.7. Gezondheidskundige advieswaarden voor thermische netvliesschade als functie van de blootstellingsduur voor puntbeelden (A). Ter vergelijking zijn de overeenkomstige relaties van de ACGIH (ACG91), de IEC (IEC84) en de INIRC/IRPA (IRPA91) getekend. De door deze instanties gegeven waarden van de bestralingsdosis in J/cm^2 zijn vermenigvuldigd met $0,5 cm^2$ (het oppervlak van een maximaal verwijde pupil). In (B) is de advieswaarde voor de over de tijd geïntegreerde radiantie voor veldbeelden weergegeven, eveneens te zamen met waarden van de ACGIH, de IEC en de INIRC/IRPA. De ACGIH specificeert de drempelwaarde in termen van de bestralingsdosis op het hoornvlies in eenheden van J/cm^2 . De omrekening naar radiantie hangt af van de veldgrootte. Nemen we hiervoor een veld ter grootte van de zon ($0,5^\circ$ in diameter), dan wordt de omrekeningsfactor 3×10^9 (naar $J/cm^2 \times sr$) en komt de ACGIH-kromme min of meer op gelijke hoogte met die van de IEC, de INIRC/IRPA en die van de commissie.

$$H_{A, \text{hoornvlies, puntbeeld}, \lambda} = (0,006 + 20t) / F_{\lambda} \quad \text{voor } \alpha \leq \alpha_{\text{krit}}$$

H in J/m², t in s

$$L_{A, \text{veldbeeld}, \lambda}^* = (10^3 + 5 \times 10^4 t^{1/3} + 10^5 t) / F_{\lambda} \quad \text{voor } \alpha > \alpha_{\text{krit}}$$

L* in J/(m²×sr), t in s

met F_{λ} volgens tabel 7.4. De relatie tussen $Q_{A, \text{hoornvlies, puntbeeld}}$ en $L_{\text{veldbeeld}}^*$ en de bestralingsduur t is weergegeven in figuur 7.7. Deze formules kunnen voor een bron die straling van verschillende golflengte uitzendt, worden geschreven als:

voor puntbeelden

1360nm

$$\sum_{300\text{nm}} (F_{\lambda} \times E'_{\lambda} \times \Delta_{\lambda}) t \leq 0,006 + 20t \quad [\text{J/m}^2]$$

E' in W/(m²×nm), t in s

voor veldbeelden

1360nm

$$\sum_{300\text{nm}} (F_{\lambda} \times L'_{\lambda} \times \Delta_{\lambda}) t \leq 10^3 + 5 \times 10^4 t^{1/3} + 10^5 t \quad [\text{J}/(\text{m}^2 \times \text{sr})],$$

L' in W/(m²×sr×nm), t in s

De commissie maakt bij deze aanbevelingen de volgende kanttekeningen. De nu voorgestelde gezondheidkundige advieswaarden voor thermische netvliesschade sporen globaal met de internationaal gangbare normen, maar hier en daar bestaan forse afwijkingen - overigens net als tussen de internationale aanbevelingen onderling. De commissie wijst op de noodzakelijke omrekening van de aanbeveling van de ACGIH, die bepaalde additionele aannamen vereist (zie onderschrift bij figuur 7.7). Het horizontale verloop van de weegfunctie $F_{\lambda D} = (1/C_{\lambda})$ bij golflengten groter dan 1050 nm is in strijd met theoretische overwegingen; de commissie ziet in de onzekere experimentele

.....

resultaten (Lun86) daarvoor geen rechtvaardiging. De door de ACGIH verschaft documentatie (ACG92) biedt niet veel inzicht in de overwegingen die aan de aanbevolen normen ten grondslag liggen. De commissie blijft daarom bij de in het advies van 1978 uitgezette koers (GR78).

De tweede kanttekening betreft de thermische schade door herhaalde lichttoediening, met name met zogenaamde gepulste lasers. De experimentele gegevens hierover zijn heel beperkt. Net als in het advies van 1978 meent de commissie er het beste aan te doen hier de internationale aanbevelingen te volgen. Over deze aanbevelingen bestaat echter geen consensus. De commissie kiest voor de eenvoudigste aanbeveling, te weten die van de ACGIH (ACG91). Dat betekent dat de aanbevolen advieswaarden gelden per 'flits' na deling van de advieswaarde door $N^{1/4}$ voor het geval van blootstelling aan N opeenvolgende flitsen (ACG91).

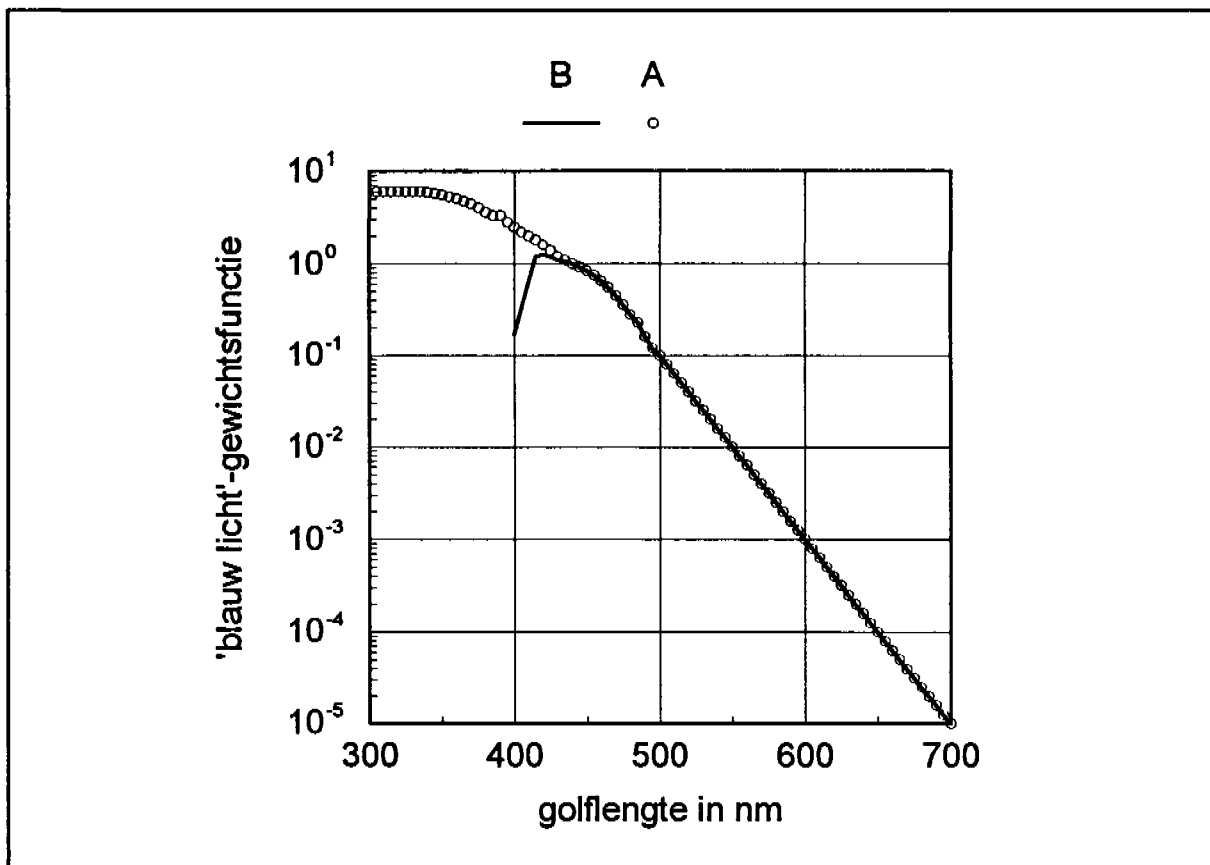
.....

Fotochemische netvliesschade

De gegevens over drempelwaarden als functie van de golflengte voor 'blauw licht'-schade (paragraaf 6.3) zijn vooral afkomstig van onderzoek met apen (Ham82) en ratten (Nor90); onderzoek met andere soorten proefdieren heeft aanvullende gegevens opgeleverd. De overeenkomst tussen de diverse gegevens heeft geleid tot de overtuiging dat de waargenomen spectrale werkingsfunctie ook voor de mens geldt, mits men voor de werkingsfunctie ter plaatse van het hoornvlies rekening houdt met de absorptie door de menselijke oogmedia. De commissie volgt grotendeels de aanbevelingen van de ACGIH (ACG91), die zijn gebaseerd op het onderzoek van Ham en collega's (zie figuur 6.4A). Op twee punten wijkt zij af van de Amerikaanse voorstellen. Zij neemt bij golflengten groter dan 600 nm geen constante waarde aan, omdat zij een dergelijk plateau strijdig acht met fotochemische wetmatigheden. Daarenboven vermoedt ze dat het plateau uitsluitend berust op één schadepunt van Ham (Ham79), dat betrekking heeft op thermische schade en ten onrechte als fotochemisch schadepunt is geïnterpreteerd. Verder ziet de commissie in het licht van de experimentele onzekerheden geen reden om de 'oneffenheden' in de ACGIH-waarden over te nemen.

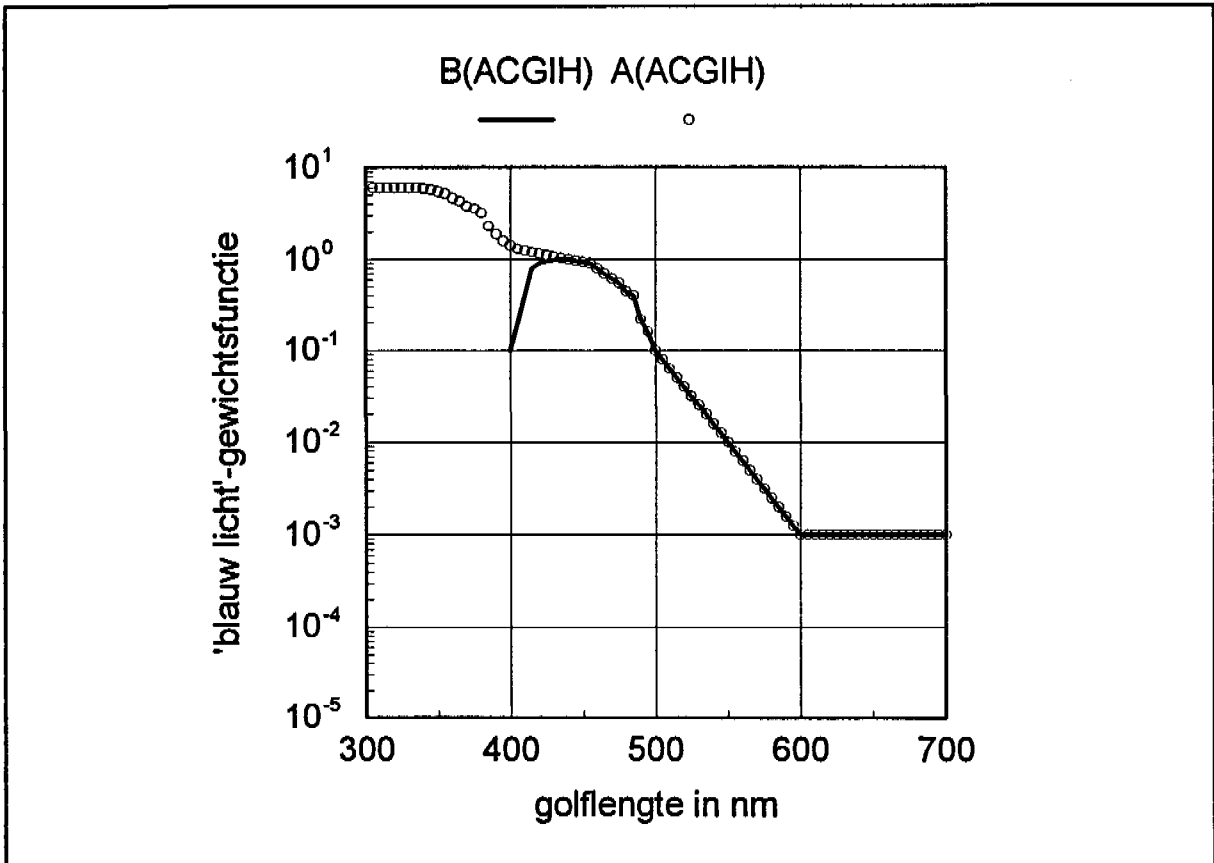
Tabel 7.5. Weegfactor B_λ als functie van de golflengte λ die wordt gebruikt in de uitdrukking voor de advieswaarde voor de radiantie in verband met fotochemische netvliesschade voor personen met een natuurlijke ooglenzen. A_λ is de overeenkomende waarde voor personen bij wie de ooglenzen is weggenomen en die niet zijn voorzien van een gekleurde implantlens (zogenoeten pseudofaken).

λ (nm)	'blauw licht'- schadefunctie B_λ	'blauw licht'- schadefunctie pseudofaken A_λ
305	-	6,0
310	-	6,0
315	-	6,0
320	-	6,0
325	-	6,0
330	-	6,0
335	-	6,0
340	-	5,9
345	-	5,7
350	-	5,5
355	-	5,3
360	-	5,0
365	-	4,7
370	-	4,4
375	-	4,0
380	-	3,6
385	-	3,3
390	-	3,3
395	-	2,8
400	0,17	2,5
405	0,34	2,2
410	0,64	2,0
415	1,20	1,8
420	1,25	1,6
425	1,20	1,4
430	1,10	1,2
435	1,07	1,1
440	1,0	1,0
445	0,92	0,92
450	0,84	0,84
455	0,75	0,75
460	0,65	0,65
465	0,55	0,55
470	0,45	0,45
475	0,36	0,36
480	0,28	0,28
485	0,23	0,23
490	0,16	0,16
495	0,12	0,12
500-700	$10^{\{(450-\lambda)/50\}}$	$10^{\{(450-\lambda)/50\}}$
>700	0	0



.....
 Figuur 7.8a. Spectrale gewichtsfunctie B_λ in de uitdrukking voor de advieswaarde voor de radiantie in verband met fotochemische netvliesschade voor personen met een natuurlijke ooglenz. A_λ is de overeenkomende functie voor personen zonder ooglenz.

De commissie definieert, net als de ACGIH, naast de waarden voor de 'blauw licht'-schade voor het intacte oog, ook een functie voor afaken (personen bij wie de lens operatief is verwijderd). Deze functie geldt ook voor pseudofaken bij wie de implantlens niet is voorzien van UV-absorberende pigmenten. Beide functies zijn weergegeven in tabel 7.5 en figuur 7.8a. In figuur 7.8b zijn de door de ACGIH aanbevolen waarden grafisch weergegeven. Het belangrijkste verschil is te vinden tussen 600 en 700 nm. De commissie ziet geen reden voor het onregelmatig verloop van de SCGIH-functie in het golflengtegebied van 300 tot 500 nm. De verschillen vallen daar volstrekt binnen de marge van nauwkeurigheid.



Figuur 7.8b. De door de ACGIH (ACG91) voorgestelde spectrale gewichtsfunctie B_λ in de uitdrukking voor de advieswaarde voor de radiantie in verband met fotochemische netvlies schade voor personen met een natuurlijke ooglens. A_λ is de overeenkomende functie voor personen zonder ooglens. Zie ook figuur 7.8a.

De grootte van de schadedrempel leidt de commissie op de volgende manier af. Bij blootstelling aan straling met een golflengte van 442 nm vond Ham ter plaatse van het netvlies een drempelwaarde voor de bestralingsdosis van $2,5 \times 10^5$ J/m² (gemiddelde van waarnemingen bij een bestralingsduur van 100 en 1000 s). Deze waarde komt overeen met een radiantie van $3,3 \times 10^7$ J/(m²×sr) als men uitgaat van een geheel vernauwde pupil (diameter 2,5 mm, dus ruimtehoek vanaf het netvlies 0,015 sr) en een transmissie van de oogmedia van 0,7 (tabel 6.1.). De ACGIH (ACG91) geeft voor 442 nm de waarde 10^6 J/(m²×sr) en kiest dus (impliciet) een ruime veiligheidsfactor van 33. Echter in het licht van onzekerheidsmarges veroorzaakt door beperkte experimentele gegevens, verschillende schadecriteria, en verschillen in transmissiewaarden

en pupilgrootte, acht de commissie het voorstel van de ACGIH te billijken. Zij beveelt aan om dit voorstel over te nemen als advieswaarde voor fotochemische netvliesschade.

Over welke periode dient de bestralingsdosis te worden berekend bij vergelijking met de advieswaarden voor 'blauw licht'-schade? Kremers vond bij apen dat voor een periode tot 12 uur de drempeldosis voor schade nog steeds onafhankelijk is van de bestralingsduur (Kre89). De commissie kiest daarom veiligheids-halve voor 10^5 s (ongeveer 27 uur, dus van de orde van grootte van een etmaal) als grens voor de integratietijd van de bestralingssterkte. Daarmee wijkt zij af van de ACGIH die een periode van 10^4 s (ongeveer 3 uur) aanhoudt. Voor gevallen waar de blootstelling wordt bepaald door bestraling in de werksituatie, dient naar de mening van de commissie de bestralingsdosis dus over de gehele werkdag te worden bepaald.

Het verloop van de door de commissie aanbevolen advieswaarden als functie van de bestralingsduur is voor een aantal golflengten geschetst in figuur 7.9. Zoals de commissie in hoofdstuk 6 aangaf heeft zij bij deze advieswaarden niet de schade van het 'visueel pigment'-type betrokken.

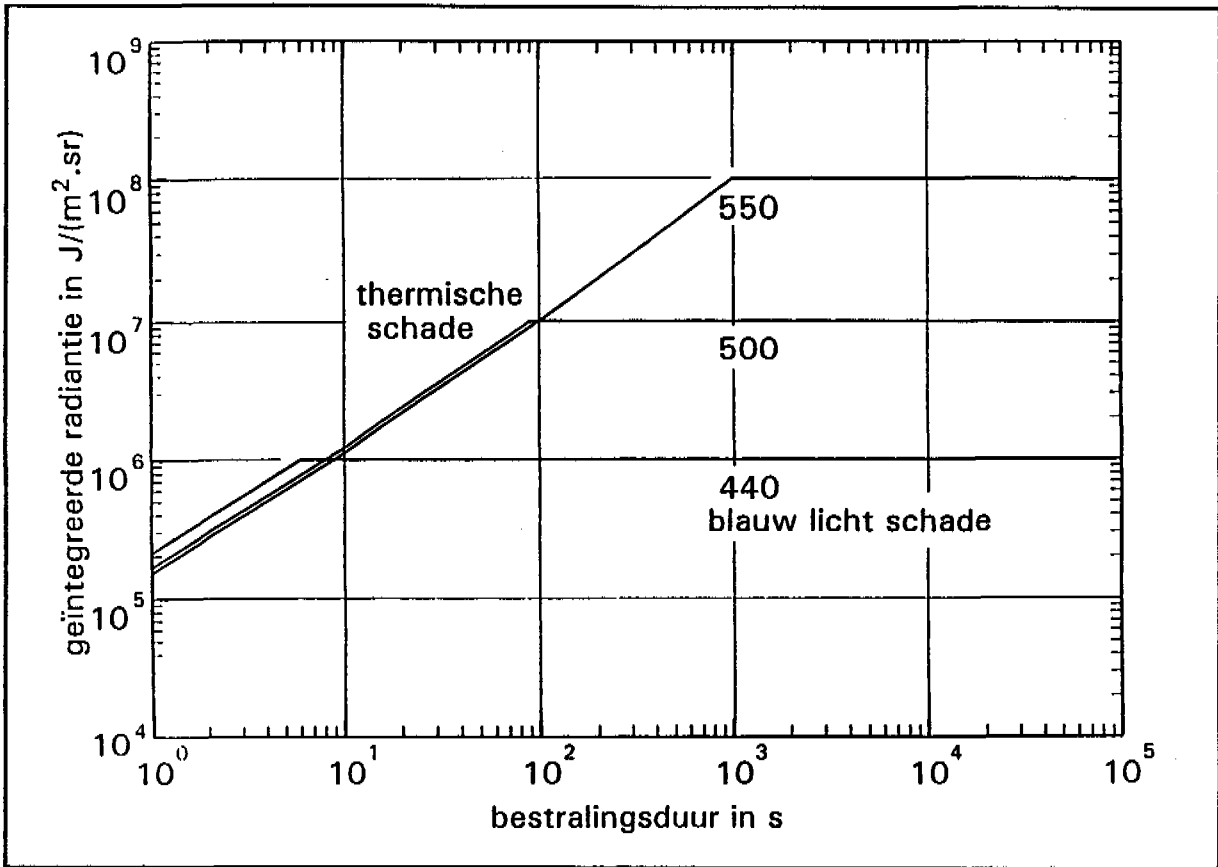
In formule-vorm kunnen de advieswaarden voor 'blauw licht'-schade als volgt worden samengevat.

700 nm

$$\sum_{400 \text{ nm}} (L'_{\lambda} \times B_{\lambda} \times \Delta\lambda) t \leq 10^6 \text{ J}/(\text{m}^2 \times \text{sr})$$

L'_{λ} in $\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{sr} \times \text{nm})$, t in s binnen één etmaal

Hierin is B_{λ} de 'blauw licht'-schadefunctie (zie tabel 7.5). Voor pseudofaken die geen gekleurde implantlens als beschermend filter hebben, moet, in plaats van B_{λ} , de functie A_{λ} uit tabel 7.5 genomen worden.



Figuur 7.9. Advieswaarden voor fotochemische en thermische netvliesschade (gecombineerd) bij golflengten van 440, 500 en 550 nm.

7.7 Effecten van chronische blootstelling aan optische straling

Huidkanker

Blootstelling van de huid aan ultraviolette straling verhoogt de kans op huidkanker (basaalcel- en plaveiselcelcarcinomen; over melanomen doet de commissie geen uitspraak; zie hoofdstuk 4). Er is geen niveau van blootstelling aan te geven waarbij van invloed op de gezondheid geen sprake is. Daarom is het wat dit betreft vanuit gezondheidskundig oogpunt wenselijk om de blootstelling over langere tijd zoveel mogelijk te beperken. Bij de voorlichting over bijvoorbeeld de beroepsmatige blootstelling aan ultraviolette straling moet dus ook aandacht worden besteed

aan de bijdrage veroorzaakt door blootstelling aan straling van de zon. De commissie merkt hierbij op dat onder invloed van UV straling de aanmaak van vitamine D in het lichaam wordt bevorderd (GR86).

In het advies van 1986 is vermeld dat blootstelling gedurende 40 werkjaren aan een erytheem-effectieve bestralingsdosis van 20 J/m² per werkdag een vergroting van de kans op het optreden van huidkanker geeft met een factor van ongeveer 1,3. De opstellers van het advies van 1986 meenden dat een dergelijke blootstelling bereikt zou kunnen worden bij het aanhouden van de destijds aanbevolen grenswaarde van een 'huid/oog'-effectieve bestralingsdosis van 30 J/m² per werkdag. Verder gaven zij ook aan dat buitenwerkers per dag een erytheem-effectieve bestralingsdosis van ongeveer 200 J/m² meer ontvangen dan binnenwerkers. Een dergelijk verschil leidt tot een vergroting van het huidkanker-risico met ongeveer een factor 5.

De berekeningen uit het advies van 1986 zijn uitgevoerd met het toen door de Gezondheidsraad aanbevolen erytheem-actiespectrum. Worden de berekening gedaan met de later gepubliceerde actiespectra (Ste87, UNEP91, Gru93), en uitgaande van de in dit advies aanbevolen gezondheidkundige advieswaarde voor erytheem, hoornvlies- en bindvliesontsteking, dan zullen de resultaten anders zijn, zij het dat de commissie geen dramatische verschillen verwacht.

De commissie kan geen advieswaarde aanbevelen ter beperking van de kans op huidkanker ten gevolge van blootstelling van de huid aan UV straling. Zij volstaat met het hierboven vermelde en de aanbeveling om de totale blootstelling aan UV straling over langere tijd zoveel mogelijk te beperken.

.....

Staar

Op lensschade door chronische blootstelling aan optische straling is de commissie reeds in paragraaf 7.5 ingegaan.

.....

Netvliesschade

In hoofdstuk 6 ging de commissie in op netvliesschade van het 'visueel pigment'-type. Deze treedt op bij langdurige

blootstelling. De commissie acht de kennis over deze vorm van schade nog onvoldoende om een gezondheidskundige advieswaarde ervoor te kunnen aanbevelen.

Ook de evidentie voor de relatie tussen de geaccumuleerde bestralingsdosis licht gedurende het leven en netvliesdegeneratie op hogere leeftijd (leeftijdsgebonden degeneratie van de macula) is nog zo beperkt dat de commissie geen advieswaarde aanbeveelt.

.....

7.8 Slotopmerking

Voor acute schade door blootstelling aan optische straling heeft de commissie vier sets gezondheidskundige advieswaarden gegeven, te weten voor erytheem, hoorn- en bindvliesontsteking, voor thermische schade in huid, hoornvlies en ooglens, voor fotochemische en voor thermische netvliesschade. In een praktijk-situatie is toetsing aan alle vier de sets van waarden noodzakelijk.

8 TERUGBLIK EN VERVOLG

De opdracht aan de commissie was na te gaan in hoeverre nieuwe inzichten en nieuwe onderzoekgegevens aanleiding vormden het advies over optische straling ('micrometerstraling') van 1978 bij te stellen. In het voorgaande hoofdstuk gaf de commissie haar eendoordeel in de vorm van gezondheidskundige advieswaarden voor verscheidene vormen van acute schade in huid en oog. In dit slothoofdstuk houdt zij haar conclusies tegen het licht van het eerdere advies en van internationale aanbevelingen ter zake. Verder geeft ze enkele overwegingen die voor het toepassen van haar aanbevelingen van betekenis kunnen zijn. Tot besluit volgen rekenvoorbeelden van de toepassing van de nu aanbevolen gezondheidskundige advieswaarden.

8.1 Verschillen in aanbevelingen

Tussen aanbevelingen van internationale instanties, zoals de International Non-ionizing Radiation Committee van de International Radiation Protection Association (thans International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), de International Electrotechnical Committee en de American Conference of Governmental Industrial Hygienists, bestaat veelal een grote mate van overeenstemming. Dat is begrijpelijk omdat deze instanties alle een beroep moeten doen op dezelfde kleine groepen deskundigen. De onderlinge verschillen zijn meestal slechts het gevolg van het tempo waarin men gewijzigde inzichten volgt. De voorstellen die thans binnen de Europese Gemeenschap in discussie zijn (EG92), komen met de aanbevelingen van de genoemde internationale commissies overeen.

De commissie merkt op dat bij het afleiden van gezondheidskundige advieswaarden steeds de wens een rol speelt om aansluiting te vinden bij internationale voorstellen. In hoofdstuk 7 komt dat ook naar voren. Voorop staat echter dat de voorgestelde advieswaarden op gegevens uit onderzoek moeten zijn gebaseerd. Als de gegevens daartoe aanleiding gaven, heeft de commissie dan ook niet geschroomd van de aanbevelingen van andere instanties af te wijken.

Bij de aanbevelingen voor de bescherming tegen beschadiging van het netvlies door optische straling wijkt de commissie hier en daar duidelijk af van wat internationaal gangbaar is. Het advies van 1978 verschilde op essentiële punten van de toenmalige voorstellen van het American National Standards Institute en in het voorliggende advies geldt hetzelfde ten opzichte van de aanbevelingen van de ACGIH en die van de INIRC/IRPA. Voor wat betreft de fotochemische netvliesschade behoeft dat geen verbazing te wekken, omdat het onderzoek hiernaar immers nog volop in beweging is.

Dat de verschillen in de voorstellen voor bescherming tegen thermische netvliesschade de tand des tijds hebben doorstaan, wekt daarentegen wellicht verwondering. Sinds 1978 hebben zich immers geen opzienbarende nieuwe ontwikkelingen voorgedaan en men zou verwachten dat eindwaarden zouden zijn uitgekristalliseerd. Wat betreft de aanbevelingen door commissies van de Gezondheidsraad is dat ook zo; de huidige commissie heeft immers voor thermische netvliesschade de advieswaarden van 1978 zonder noemenswaardige verschillen overgenomen. De internationale aanbevelingen zijn eveneens in grote lijnen gelijk gebleven, zij het hier en daar - op soms ondoorzichtige wijze - bijgesteld. Het gevolg is dat de verschillen tussen de Nederlandse aanbevelingen en die van elders zijn blijven bestaan.

De door de commissie gepostuleerde spectrale afhankelijkheid van de drempelwaarde van de bestralingsdosis voor netvliesverbranding volgt de spectrale absorptie karakteristiek van de oogmedia. De internationale normen hebben een veel schematischer verloop, vermoedelijk ter wille van de eenvoud van de beschrijving. Bij golflengten groter dan 1100 nm treden daardoor grote

verschillen op (figuur 7.6). Het gevolg van deze verschillen zou kunnen zijn dat de ontwikkeling van nieuwe typen stralingsbronnen wordt geremd op grond van een, slechts schijnbaar geldig, gezondheidkundig argument. Voor een Nd:YAG-laser met een golflengte van 1,32 μm , bijvoorbeeld, verschilt de door de ACGIH gehanteerde spectrale gewichtsfactor voor thermische netvlies-schade $F (= 1/C)$ meer dan een factor 10 van die van de commissie (de ACGIH geeft een waarde van 0,2, terwijl hier in navolging van het advies van 1978 een waarde van 0,017 is voorgesteld). Dat resulteert in een, volgens de commissie onnodige, vergroting van de minimale veiligheidsafstand met een factor 3,4.

Een tweede verschil is gelegen in het onderscheid tussen puntbeeld en veldbeeld (figuur 7.5). Volgens de commissie moet de kritische beelddiameter op fysische gronden bij afnemende bestralingsduur naderen naar een constante waarde en niet, zoals de internationale aanbevelingen aangeven, scherp oplopen.

Een ander voorbeeld geeft een vergelijking tussen de spectrale afhankelijkheid van thermische schade voor de huid (figuur 7.4). In het bijzonder het voornemen van de ACGIH om rond 1540 nm een correctie van een factor 100 op de bestaande voorstellen in te voeren (en daarmee in de buurt van de door de commissie aanbevolen waarde te komen) laat zien hoe willekeurig de buitenlandse waarden zijn vastgesteld.

De commissie heeft geconstateerd dat de onderbouwing van de genoemde internationale normen lacunes vertoont. Zij meent dat haar aanbevelingen een voldoende hechte wetenschappelijke basis hebben om een eigen koers te kunnen varen.

.....

8.2 Voorkomen is beter dan genezen

Waar mogelijk heeft de commissie gezondheidkundige advieswaarden aanbevolen voor blootstelling aan optische straling. Zoals in de hoofdstukken 4, 5 en 6 is aangegeven, kan het inachtnemen van de aanbevolen waarden geen bescherming tegen alle mogelijke vormen van gezondheidsschade garanderen. In geval van huidkanker, bijvoorbeeld, komt dat omdat er geen drempel valt aan te geven waaronder geen effect optreedt. Met betrekking tot melanomen, pterygium of degeneratie van het centrale deel van de

gele vlek op het netvlies (macula-degeneratie) ontbreekt de kennis om een uitspraak te doen over de mate waarin (mogelijk) blootstelling aan optische straling tot de gezondheidsschade bijdraagt. Daarnaast kan er onduidelijkheid bestaan over de mate waarin bepaalde groepen mensen in bepaalde omstandigheden van de straling te lijden kunnen hebben. Een voorbeeld van dat laatste vindt men in de onduidelijke problemen door teveel licht bij couveuzekinderen, waarvoor Robinson en Fielder in een recent artikel de aandacht vroegen (Rob92). Vanuit gezondheidskundige oogpunt is het om die reden aan te bevelen om onnodige blootstelling aan optisch straling zoveel mogelijk te vermijden. Immers: overdaad kan schaden.

.....

8.3 Rekenvoorbeelden

.....

8.3.1 Praktisch vertaling is nodig

Advieswaarden zoals de nu voorgestelde, vereisen in de praktijk een technische vertaling en uitwerking. Dit is vaak niet erg eenvoudig, daar de materie op zich al ingewikkeld is en de taal van de industriële specificaties niet altijd aansluit bij de hier gegeven richtlijnen. In deze paragraaf geeft de commissie daarvan enige voorbeelden. In paragraaf 8.4 duidt ze een uitweg uit de moeilijkheden aan in de vorm van produktnormen.

.....

8.3.2 Nd:YAG-laser

Tot op welke afstand kan een Nd:YAG-laser met een golflengte van 1,32 μm worden benaderd (vermogen van 15 W; uittreediameter 3 mm; divergentie 2 millirad, $1/e^2$ -waarde) zonder dat extra maatregelen nodig zijn om de blootstelling tot de in dit advies aanbevolen niveaus te beperken?.

Uit de specificaties van de laser volgt dat de intensiteitsverdeling wordt beschreven door de volgende formule:

$$I = 2,4 \times 10^6 \exp(-\phi^2/2 \times 10^{-6}) \text{ [W/sr]} \quad (\phi \text{ in rad})$$

Op afstand R [m] in voorwaartse richting geldt dan voor de bestralingssterkte:

$$E = 2,4 \times 10^6 / R^2 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Als de laser kan worden beschouwd als een puntbron, geldt als eis voor het voorkómen van netvliesschade bij blootstelling gedurende een tijd t :

$$H = Et \leq H_A = (0,006 + 20 t) / F_\lambda$$

of

$$R^2 \geq (2,4 \times 10^6 t) / ((0,006 + 20 t) / F_\lambda)$$

Bij een golflengte van $1,32 \mu\text{m}$ is $F_\lambda = 0,017$, zodat voor elke 'kijktijd' van praktisch belang ($t > 3 \text{ ms}$) men een afstand van meer dan 45 m moet aanhouden ($R \geq 45 \text{ m}$). Geverifieerd dient te worden of op deze afstand aan de voorwaarde van puntbeelden is voldaan. De hoekgrootte bedraagt hier $2/45 = 0,044$ millirad; deze waarde is inderdaad kleiner dan α_{krit} .

Tegelijkertijd dient echter te worden voldaan aan de advieswaarde voor de bestralingssterkte van $E_A = 1 \text{ kW/m}^2$ ter voorkoming van schade in huid, hoornvlies en ooglens; dus:

$$E \leq E_A = 1000$$

of

$$R \geq \sqrt{2400} \approx 50 \text{ m}$$

In dit geval zijn de berekende afstanden in beide gevallen bijna gelijk. Dat dit toeval is, blijkt direct als men voor F_λ de waarde zou gebruiken die door internationale instanties wordt aangehouden, te weten $0,2$ in plaats van $0,017$. Dan zou de in acht te nemen afstand ter voorkoming van netvliesverbranding 150 m in plaats van de hierboven berekende 45 m bedragen.

.....

.....

8.3.3 Halogeen-gloeilamp

Kan het gebruik van ongefilterd licht van een halogeen-gloeilamp leiden tot erytheem en is het mogelijk zonder kans op schade in de lamp te kijken?

In de berekening is uitgegaan van de specificaties van lamptype GY6.35 met een vermogen van 50 W. De fabrikant geeft de relatieve intensiteitsverdeling, i'_{λ} , slechts op tot 780 nm. Door gebruik te maken van de wet van Planck voor 3100 K is deze intensiteitsverdeling uitgebreid.

Voor gebruik van de halogeenlamp in bureauverlichting is een 'ijking' in termen van de bestralingssterkte op het werkvlak passend, en wel, veiligheidshalve, zo dat een hoge verlichtingssterkte van 1000 lux wordt geproduceerd. Dat eist:

$$680 \sum_{\lambda} E'_{\lambda} V_{\lambda} \Delta\lambda = 1000 \text{ lux}$$

waarin V_{λ} de relatieve gevoeligheid van het oog is ($V_{550\text{nm}} = 1$) en het getal 680 (lumen/watt) de omrekeningsfactor van bestralingssterkte naar verlichtingssterkte. Een verlichtingssterkte van 1000 lux wordt volgens de specificaties van de fabrikant bereikt op een afstand van 50 cm. Met de op deze manier geijkte spectrale bestralingssterkte E'_{λ} kan men dan de met de functie Y gewogen bestralingssterkte vinden. Dat levert op:

$$\sum_{\lambda} E'_{\lambda} Y_{\lambda} \Delta\lambda = 8,24 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$$

De eis dat de gewogen bestralingsdosis kleiner of gelijk moet zijn dan de advieswaarde, luidt in formulevorm:

$$(\sum_{\lambda} E'_{\lambda} Y_{\lambda} \Delta\lambda) t \leq 30 \text{ J/m}^2$$

Dit levert een maximale blootstellingsduur op van $t_{\text{max}} = 12000 \text{ s} = 3,3 \text{ uur}$. Een dergelijke halogeenlamp kan dus binnen een werkdag mogelijk erytheem opwekken. Door een filter toe te passen dat de

UV-B straling tegenhoudt, is het in de praktijk mogelijk om dit risico zonder lichtverlies te voorkomen.

Hoe staat het met de mogelijkheid van netvliesverbranding bij kijken in de lamp? Vanaf een afstand van ongeveer 1 m kan het gloei-element (lengte 3,6 mm) als een puntbron worden beschouwd. Op die afstand moeten de eerder gebruikte E' -waarden met 0,25 worden vermenigvuldigd. Men berekent dan voor de met de functie F_λ gewogen bestralingssterkte:

$$\sum_{\lambda} E'_{\lambda} F_{\lambda} \Delta\lambda = 4,3 \text{ W/m}^2$$

Vereist is:

$$(\sum_{\lambda} E'_{\lambda} F_{\lambda} \Delta\lambda) t \leq 0,006 + 20 t \text{ J/m}^2$$

hetgeen in dit geval voor alle tijden t blijkt te gelden. Er is bij het kijken in de lamp op een afstand van 1 m of meer geen gevaar voor netvliesverbranding te duchten.

Ook in operatiemicroscopen, zoals die bijvoorbeeld in gebruik zijn bij de oogheelkunde, worden halogeenlampen toegepast. Volgens de literatuur bedraagt bij die instrumenten de netvliesbelasting ongeveer 4 kW/m^2 , hetgeen overeenkomt met een radiantie van $L = 3 \times 10^4 \text{ W/(m}^2 \times \text{sr)}$. De hier te stellen eis aan de geïntegreerde radiantie luidt in formulevorm:

$$L t \leq 10^3 + 5 \times 10^4 t^{1/3} + 10^5 t \text{ [J/(m}^2 \times \text{sr)]}$$

Aan deze voorwaarde is voor elke waarde van de tijd t voldaan, zodat er bij gebruik van de bedoelde operatiemicroscopen evenmin gevaar voor netvliesverbranding te vrezen is.

'Blauw licht'-schade is een ander geval. Als uitgangspunt nemen we de voor netvliesverbranding gewogen bestralingssterkte ter grootte van 4 W/m^2 :

$$\sum_{\lambda} E'_{\lambda} F_{\lambda} \Delta\lambda = 4000 \text{ W/m}^2$$

Vervolgens berekent men dan dat de voor 'blauw licht'-schade gewogen bestralingssterkte is:

$$\sum_{\lambda} E'_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda = 153 \text{ W/m}^2$$

Bij een verwijde pupil van 8 mm (0,15 sr) leidt dat tot

$$\sum_{\lambda} L_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda = 1000 \text{ W/(m}^2 \times \text{sr)}$$

Om 'blauw licht'-schade te voorkomen moet de radiantie voldoen aan:

$$(\sum_{\lambda} L_{\lambda} B_{\lambda} \Delta\lambda) t \leq 10^6 \text{ J/(m}^2 \times \text{sr)}$$

Dit betekent dat het kijken in het lamplicht beperkt dient te blijven tot 1000 s \approx 17 minuten.

Een patiënt die langdurig in de operatiemicroscoop moet kijken, kan duslichtschade aan zijn netvlies oplopen. Dit is in belangrijke mate te voorkomen door het toepassen van een geelfilter met een grensdoorlating bij 500 nm. Ongeveer 90% van delichtschade wordt namelijk veroorzaakt door straling met golflengten kleiner dan 500 nm. Toepassing van zo'n filter verlengt de toelaatbare blootstellingsduur tot 170 minuut, dus tot ongeveer 3 uur.

.....

8.3.4 Zonnebanken

Kan het personeel in een bruiningscentrum zonnebrand oplopen?

Bij deze derde berekening wordt uitgegaan van een zonnebank met TL09-lampen en de spectrale gegevens (i'_{λ}) die de fabrikant verschaft. Het intensiteitsspectrum heeft een klokvorm en vult ruwweg het gehele UV-A spectrale gebied. Als uitgangspunt is genomen dat het bedienend personeel gemiddeld bloot staat aan bestralingssterkte op de huid van 1 W/m² (een in de praktijk gevonden waarde). Met behulp daarvan en van het intensiteitsspectrum, valt dan te becijferen:

$$\sum_{\lambda} E'_{\lambda} Y_{\lambda} \Delta\lambda = 5,6 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

Om erytheem van de huid te vermijden is de voorwaarde voor de gewogen bestralingsdosis:

$$(\sum_{\lambda} E'_{\lambda} Y_{\lambda} \Delta\lambda) t \leq 30 \text{ J/m}^2$$

Dit houdt in dat blootstelling gedurende ten hoogste 54000 s, dat wil zeggen gedurende 15 uur, zonder problemen mogelijk is. In de praktijk is er dus geen reële kans op zonnebrand bij het bedienend personeel.

.....

8.4 Produktnormen

De drie voorbeelden maken naar de mening van de commissie duidelijk dat het vertalen van industriële specificaties in een maximaal toelaatbare blootstellingsduur vaak verre van eenvoudig is. Het verdient dan ook aanbeveling om de veiligheidsvoorschriften voor gebruikers van optische-stralingsapparatuur te formuleren in eenvoudiger termen. Een mogelijkheid daartoe is het opstellen van produktnormen. De commissie geeft daarvan enkele voorbeelden.

Zo is het internationaal gebruikelijk om lasers in te delen in gevarenklassen, oplopend van 'nooit gevaarlijk' tot 'zeer gevaarlijk bij het kijken naar diffuus gereflecteerd licht'. Voor hoogtezonnen en zonnebanken gaat het bij produktnormen om kuurprotocollen waarin de blootstellingsduur op de bestralingsterkte wordt afgestemd. In het advies van 1986 worden aanbevelingen ter zake gedaan. De produktnormen voor (bijvoorbeeld) halogeenlampen en TL-buizen dienen vooral betrekking te hebben op de bestralingssterkte in het UV spectraalgebied.

Naast eisen aan bronnen kunnen ook eisen aan beschermingsmiddelen worden gesteld. Als voorbeelden van beschermingsmiddelen voor de ogen noemt de commissie: lasbrillen, hoogtezonbrillen, maar ook zonnebrillen. Produktinformatie zou gegevens moeten bevatten over de UV-doorlatendheid, de visuele densiteit en eventueel de transmissie in het infrarode spectrale gebied. Anti-zonnebrandcrèmes kunnen bescherming van de huid tegen UV straling

bieden. Reeds nu is het gebruikelijk deze crèmes te kenmerken door een beschermingsfactor gerelateerd aan de mate van bescherming tegen erytheem. In het advies van 1986 werd al aangegeven dat een overeenkomstige factor voor bescherming tegen huidkanker niet noodzakelijkerwijs dezelfde waarde behoeft te hebben. Voorschriften voor het materiaal van implantlenzen zouden rekening moeten houden met de noodzakelijke absorptie van UV straling in de lens ter bescherming van het netvlies

.....

Het doen van nadere voorstellen voor produktnormen valt buiten de taak van de commissie.

.....

8.5 Wordt vervolgd?

De commissie van de Gezondheidsraad die het advies van 1978 opstelde, meende dat een herziening van haar aanbevelingen na 5 jaar aan de orde was. In plaats van 5 zijn het 15 jaar geworden. Het lijkt de (huidige) commissie niet zinvol om opnieuw een uitspraak over een gewenste herziening te doen. Wel ziet zij elke herziening vooral in een Europese context, gezien het voornemen om op EG-niveau blootstelling aan optische straling te reguleren (althans in de werksituatie, EG92).

LITERATUUR

- ACG91 American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1991-1992 Threshold Limit Values for Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati: ACGIH, 1991.
- ACG92 American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Documentation of the threshold limit values for physical agents in the work environment. Cincinnati: ACGIH, 1992; (Publication no 0206).
- Boc89 Bochow TW, West SK, Azar A, e.a. Ultraviolet light exposure and the risk of posterior subcapsular cataract. Arch Ophthalmol 1989; 107: 369-72.
- Boe62 Boettner EA, Wolter JR. Transmission of the ocular media. Invest Ophthalmol 1962; 1: 776-83.
- Bra88 Brackett KA. Tissue interactions of Nd:YAG lasers. In: Joffe-SN, Oguro-Y, red. Advances in Nd:YAG laser surgery. New York: Springer-Verlag, 1988: 336-43.
- Bru84 Bruls WAG, Slaper H, Leun JC van der, e.a. Transmission of human epidermis and stratum corneum as a function of thickness in the ultraviolet and visible wavelengths. Photochem Photobiol 1984; 40: 485-94.
- CIE87 Commission Internationale de l'Eclairage. Vocabulaire International de l'Eclairage. Genève: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale, 1987. Zie ook: Internationaal woordenboek voor de verlichtingskunde. Arnhem: Nederlandse Stichting voor de Verlichtingskunde, 1992.
- Cro86 Cronlet-Dillon J, Rosen ES, Marshall J. Hazards of light. Myths and realities. Eye and skin. Oxford: Pergamon Press, 1986.

- EG92 Commissie van de Europese Gemeenschappen. Voorstel voor een Richtlijn van de Raad betreffende de minimumvoorschriften inzake veiligheid en gezondheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia. Brussel: CEG, 23 december 1992; COM(93) 560 def. - SYN 449.
- Fle86 Fletcher GE, Ritchie S, Cox EA. Safety aspects of lasers operating at wavelengths of 1300 nm and 1550 nm. In: Proc First Int Symp on Laser Biological Effects and Exposure Limits, Paris. Fontenay-aux-Roses, France: Commissariat à l'Énergie Atomique, 1986.
- Gie76 Giese AC. Living with our sun's ultraviolet rays. New York: Plenum Press, 1976.
- Gil86 Gilchrest BA. Photoaging of skin. In: Fitzpatrick TB, Eisen AZ, Wolff K, e.a., red. Dermatology in general medicine. 3e druk. New York: McGraw-Hill, 1986: 171.
- Gol30 Goldman H. Kritische und experimentelle Untersuchungen über den sogenannten Ultrarotstar der Kaninchen und den Feuerstar. Graefe's Archiv Ophtalmol 1930; 125: 313-402.
- Gra92 Gray RH, Johnson GJ, Freedman A. Climatic droplet keratopathy. Surv Ophthalmol 1992; 36: 241-53.
- Gro72 Grover D, Zigman S. Coloration of human lenses by near-UV photooxidized tryptophan. Exp Eye Res 1972; 13: 70-2.
- Gru93 Gruijl FR de, Sterenborg HJCM, Forbes PD, e.a. Wavelength dependence of skin cancer induction by ultraviolet radiation of albino hairless mice. Cancer Res 1993; 53: 53-60.
- GR78 Gezondheidsraad. Advies inzake aanvaardbare niveaus voor elektromagnetische straling in het golflengtegebied tussen 100 nm en 1 mm (micrometerstraling). Rijswijk: Gezondheidsraad, 1978; rapport nr 1978/06.
- GR79 Health Council of The Netherlands. Recommendations concerning acceptable levels of electromagnetic radiation in the wavelength range from 100 nm to 1 mm (micrometre radiation). Leidschendam, The Netherlands: Ministry of Public Health and Environmental Protection, 1979; Report 65E.
- GR85 Gezondheidsraad. Uitgangspunten voor normstelling: de inzichtelijke opbouw van advieswaarden voor niet-mutagene, niet-carcinogene en niet-immunotoxische stoffen. Den Haag: Gezondheidsraad, 1985; rapport nr 1985/31.

- GR86 Gezondheidsraad. UV straling. Blootstelling van de mens aan ultraviolette straling. Den Haag: Gezondheidsraad, 1986; rapport nr 1986/09.
- Ham79 Ham WT, Mueller HA, Ruffolo JJ, e.a. Sensitivity of the retina to radiation damage as a function of wavelength. *Photochem Photobiol* 1979; 29: 735-43.
- Ham82 Ham WT, Mueller HA, Ruffolo JJ, e.a. Action spectrum for retinal injury from near-ultraviolet radiation in the aphakic monkey. *Am J Ophthalmol* 1982; 93: 299-306.
- IEC84 International Electrotechnical Committee. Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide. Genève: CEI, 1984; (Publication no 825).
- IRPA91 Duchêne AS, Lakey JRA, Repacholi MH, e.a. IRPA guidelines on protection against non-ionizing radiation: the collected publications of the IRPA Non-ionizing Radiation Committee. New York: Pergamon Press, 1991.
- Jac56 Jacquez JA, Huss J, McKeegan W, e.a. Spectral reflectance of human skin in the region of 0.7 - 2.6 m. *J Appl Phys* 1956; 8: 297-9.
- Kam87 Kamp AWM van der, Baal JBJM van, Jaspers NGJ, e.a. De rol van ultraviolet licht bij het ontstaan van melanomen. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, directie Stralenbescherming, 1987; (rapport 80164/4).
- Kli87 Kligman LH, Kaidbey KH, Hitchins VM, e.a. Long-wave (>340 nm) ultraviolet-A induced skin damages in hairless mice is dose-dependent. In: Passchier WF, Bosnjakovic BFM, eds. *Human exposure to ultraviolet radiation*. Amsterdam: Elsevier, 1987; *Excerpta Medica Int Congr Series* 744: 77-81.
- Koh91 Koh HK. Cutaneous melanoma. *New Engl J Med* 1991; 325: 171-82.
- Kre88 Kremers JJM, van Norren D. Two classes of photochemical damage of the retina. *Lasers Light Ophthalmol* 1988; 2: 41-52.
- Kre89 Kremers JJM. Photochemical damage of the retina. Proefschrift. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht, 1989.
- Kri91 Kripke ML. Immunological effects of ultraviolet radiation. *J Dermatol* 1991; 18: 429-33.

-
- Kur78 Kurtin WE, Zuclich JA. Action spectrum for oxygen-dependent near-ultraviolet induced corneal damage. Photochem Photobiol 1978; 27: 329-33.
- Ley89 Ley RD, Applegate LA, Padilla RS, e.a. Ultraviolet radiation - induced malignant melanoma. Photochem Photobiol 1989; 50: 1-5.
- MAC78 Nationale MAC-Commissie, Werkgroep van Deskundigen. Uitgangspunt bij advisering inzake MAC-waarden. T Soc Geneeskd 1978; 56(suppl 1): 1-16.
- Mal86 Malkinson FD, Wiskemann A. In: Fitzpatrick TB, e.a, eds. Dermatology in general medicine. 3e ed. New York: McGraw-Hill, 1986: 1433.
- Mar70 Marshall J. Thermal and mechanical mechanisms in laser damage to the retina. Invest Ophthalmol 1970; 9: 97-115.
- Mck87 McKinlay AF, Diffey BL. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. In: Passchier WF, Bosnjakovic B, eds. Human exposure to ultraviolet radiation. Amsterdam: Elsevier, 1987; Excerpta Medica Int Congr Series 744.
- Mil87 Miller D. Clinical light damage to the eye. New York: Springer, 1987.
- Mit93 Mitchell P, Darzins P, Heller R. Sunlight and age related macular degeneration: a case control study in Newcastle, Australia. Invest Ophthalmol Vis Sci 1993; 34: 1158.
- Noe66 Noell WK, Walker VS, Kang BS, e.a. Retinal damage by light in rats. Invest Ophthalmol 1966; 5: 450-73.
- Nor90 Norren D van, Schellekens P. Blue light hazard in rat. Vision Res 1990; 30: 1517-20.
- Nor91 Norren D van. Lange-termijneffecten van de blootstelling aan hoge niveaus van omgevingslicht: de relatie met leeftijdsgebonden maculadegeneratie. Soesterberg: Inst voor Zintuigfysiologie TNO, 1991; (Rapport IZF 1991 A-27).
- Oku91 Okuno T. Thermal effect of infra-red radiation on the eye: a study based on a model. Ann Occup Hyg 1991; 35: 1-12.
- Par78 Parrish JA, Anderson RR, Urbach F, e.a. UVA. Biological effects of ultraviolet radiation with emphasis on human responses to longwave ultraviolet. New York: Plenum Press, 1978.
- Pit76 Pitts DG, Cullen AP. Ocular ultraviolet effects from 295 nm to 335 nm in the rabbit eye. Washington-DC: 1976; DHEW (NIOSH) publication No 77-130.

- Pit77 Pitts DG, Cullen AP, Hacker PD. Ocular effects of ultraviolet radiation from 295 to 365 nm. Invest Ophthalmol Vis Sc 1977; 16: 932-9.
- Pit81 Pitts DG, Cullen AP. Determination of infrared levels for acute ocular cataractogenesis. Graef Arch Klin Ophthalmol 1981; 217: 285-97.
- Rob92 Robinson J, Fielder AR. Light and the immature visual system. Eye 1992; 6: 166-72.
- Sco88a Scott JA. A finite model of heat transport in the human eye. Phys Med Biol 1988; 33: 227-41.
- Sco88b Scott JA. The computation of temperature rises in the human eye induced by infrared radiation. Phys Med Biol 1988; 33: 243-57.
- Sed90 Seddon JM, Gragoudas ES, Glynn RJ, e.a. Host factors, ultra-violet radiation, and risk of uveal melanoma: a case-control study. Arch Ophthalmol 1990; 108: 1274-80.
- Set89 Setlow RB, Woodhead AD, Grist E. Animal model for ultraviolet radiation-induced melanoma: playfish-sword-tail hybrid. Proc Natl Acad Sci USA 1989; 68: 8922-6.
- Sla86 Slaper H, Schothorst AA, Leun JC van der. Risk evaluation of UV-B therapy for psoriasis: comparison of calculated risk for UV-B therapy and observed risk in PUVA treated patients. Photodermatol 1986; 3: ??.
- Sli80 Sliney DH, Wolbarsht M. Safety with lasers and other optical sources. New York: Plenum Press, 1980.
- Ste87 Sterenberg HJCM. Investigations on the action spectrum of tumorigenesis by ultraviolet radiation. Proefschrift. Utrecht: Universiteit Utrecht, 1987.
- Syk81 Sykes SS, Robinson WG, Waxler M, e.a. Damage to the monkey retina by broad spectrum fluorescent light. Invest Ophthalmol Vis Sci 1981; 20: 425-34.
- Tay88 Taylor HR, West SK, Rosenthal FS, e.a. Effect of ultraviolet radiation on cataract formation. New Eng J Med 1988; 319: 1429-33.
- Tay92 Taylor HR, West S, Muñoz B, e.a. The long-term effects of visible light on the eye. Arch Ophthalmol 1992; 110: 99-104.
- UNEP91 United Nations Environment Programme. Environmental effects of ozone depletion: 1991 update. Nairobi: UNEP, 1991.

- Vog19 Vogt A. Experimentelle Erzeugung von Katarakt durch isoliertes kurzwelliges Ultrarot, dem Rot beigemischt ist. Klin Monatsbl Augenheilkd 1919; 63: 230-1.
- Vos90 Vos J, Norren D van. The two pigment model for retinal light damage and its consequences for occupational safety. Lasers Light Ophthalmol 1990; 3: 251-60.
- Vos93 Vos JJ, Norren D van. Calculations on Threshold Limit Values for thermal cataract. Soesterberg: TNO Institute for Perception, 1993; (Report IZF 1993 A-8).
- Wax86 Waxler M, Hitchins VM. Optical radiation and visual health. Boca Raton: CRC Press, 1986.
- Wes89 West SK, Rosenthal FS, Bressler NM, e.a. Exposure to sunlight and other risk factors for age-related macular degeneration. Arch Ophthalmol 1989; 107: 875-9.
- WHO82 World Health Organization. Lasers and optical radiation. Geneva: WHO, 1982; (Environmental Health Criteria 23).
- Wol80 Wolbarsht ML. Damage to the lens from infrared. Proc SPIE 1980; 229: 121-42.
- You88 Young RW. Solar radiation and age-related macular degeneration. Surv Ophthalmol 1988; 32: 252-69.
- Zig91 Zigman S, Paxhia T, McDaniel T, e.a. Effect of chronic near-ultraviolet radiation on the gray squirrel lens in vivo. Invest Ophthalmol Vis Sci 1991; 32: 1723-32.
- Zuc76 Zuclich JA, Conolly JS. Ocular damage induced by near ultraviolet laser radiation. Invest Ophthalmol 1976; 15: 760-4 .
- Zuc80 Zuclich JA. Cumulative effects of near-UV induced corneal damage. Health Phys 1980; 38: 833-8.
- Zuc89 Zuclich JA. Ultraviolet induced photochemical damage in ocular tissues. Health Phys 1989; 56: 671-82.

.....

.....

BIJLAGEN

.....

A Adviesaanvraag van de minister van Sociale Zaken en
Werkgelegenheid

.....

B Samenstelling van de commissie

.....

.....

A ADVIESAANVRAAG VAN DE MINISTER VAN SOCIALE ZAKEN EN
WERKGELEGENHEID

.....

Op 16 maart 1990 zond de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid een adviesaanvraag aan de minister van Welzijn, Volksgezondheid en Cultuur, met het verzoek deze door te geleiden naar de voorzitter van de Gezondheidsraad. De minister van WVC voldeed aan dat verzoek per brief van 29 mei 1990. De tekst van de adviesaanvraag luidde als volgt:

.....

Op 30 maart 1978 bracht de Gezondheidsraad het advies "inzake aanvaardbare niveaus voor elektromagnetische straling in het golflengtegebied tussen 100 nm en 1 mm (micrometerstraling)" uit. In dit advies geeft een commissie van de Raad naast een beschrijving van de mogelijke biologische effecten op de mens, maximaal aanvaardbare niveaus van blootstelling ("blootstellingslimieten").

Op 10 juni 1986 kwam het advies inzake UV straling uit. In dit advies herziet uw commissie de limieten voor blootstelling aan UV straling enigszins en vult zij dit aan met aanbevelingen ter bescherming van huid en oog. Daarbij is blootstelling aan straling van lasers buiten beschouwing gelaten, hoewel gesteld wordt dat, zeker in het gebied van 100 tot 400 nm, de voorgestelde norm voor onbedoelde blootstelling ook daar geldt.

In het afgelopen decennium zijn er nieuwe gegevens verschenen omtrent blootstelling aan micrometerstraling en de (schadelijke) effecten die dit tot gevolg kan hebben. Dit geldt voor zeer hoge doses gedurende extreem korte periodes (zoals mogelijk is bij blootstelling aan laserstraling), als ook voor relatief lage doses gedurende langere tijd (lichtschade). Ook op het gebied van de schademechanismen die ten gronslag liggen aan deze effecten zijn de laatste jaren nieuwe gegevens bekend geworden.

Door de snelle ontwikkeling van lasers en de toepassing van lasers en steeds sterkere stralingsbronnen in onder andere ziekenhuizen en industrie worden werkers en derden steeds veelvuldiger blootgesteld aan hoge doses van micrometerstraling.

Op grond van deze nieuwe gegevens zijn vele (internationale) commissies (o.a. INIRC/IRPA, IEC, ACGIH) er toe over gegaan de door hen opgestelde normen en advieswaarden ten aanzien van blootstelling bij te stellen. Hierbij kan verwezen worden naar huidige activiteiten van de CEN (Commitee Europeén de Normalisation) TC76 om de IEC825-richtlijn inzake stralingsveiligheid van laserprodukten te verheffen tot een Europese norm.

Reeds in het advies van 1978 geeft de commissie aan dat het aanbeveling verdient de aanbevolen aanvaardbare blootstellingsniveaus binnen 5 jaar te onderwerpen aan een kritische beschouwing, teneinde vast te stellen of herziening nodig is.

In het kader van het bovenstaande, stel ik het op prijs om door uw tussenkomst een herzien advies van de Gezondheidsraad te verkrijgen inzake blootstelling aan micrometerstraling. Ik verwacht daarbij dat nadrukkelijk aandacht wordt besteedt aan de beschrijving van de biologische effecten en de daaraan ten grondslag liggende schademechanismen, en de risico's van blootstelling.

De Minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid

(B. de Vries)

.....

B SAMENSTELLING VAN DE COMMISSIE

- De samenstelling van de commissie was als volgt:
- dr JJ Vos, voorzitter
Bilthoven, voorheen wetenschappelijk medewerker Afdeling
Visuologie van het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO,
Soesterberg
 - dr TJTP van den Berg
universitair hoofddocent medische fysica en informatica,
Interuniversitair Oogheelkundig Instituut, Universiteit
van Amsterdam
 - dr BFM Bosnjakovic, adviseur (tot 1 april 1990)
medewerker Directie Stralenbescherming, Directoraat-
generaal Milieubeheer, Ministerie van VROM, Leidschendam
 - ing F Hooft
Ermelo, voormalig hoofd Dienst Veiligheids- en Milieuzorg
van de Universiteit Utrecht
 - prof dr JC van der Leun
hoogleraar fysica van de huid, Vakgroep Dermatologie,
Universiteit Utrecht
 - dr CCE Meulemans
voorheen medewerker Laboratorium voor Lichttechniek,
Philips Lighting BV, Eindhoven
 - prof dr JA Oosterhuis
Wassenaar, emeritus hoogleraar oogheelkunde, Rijksuni-
versiteit Leiden
 - dr ir HJCM Sterenberg
medewerker Lasercentrum, Academisch Medisch Centrum,
Amsterdam

- prof dr D Suurmond
Leiden, emeritus hoogleraar dermatologie Rijksuniversiteit Leiden
- dr JWM Visser
hoofd Afdeling Celbiologie, Instituut voor Toegepaste Radiobiologie en Immunologie TNO, Rijswijk (ZH)
- drs L van Vliet, adviseur
medewerker Directoraat-generaal van de Arbeid, Ministerie van Sociale zaken en Werkgelegenheid, Den Haag
- drs GJ Eggink, secretaris (tot 1 januari 1991)
Gezondheidsraad Den Haag
- dr WF Passchier, adviseur (tot 1 januari 1991), secretaris (vanaf 1 januari 1991)
Gezondheidsraad, Den Haag
- prof dr D van Norren, secretaris (vanaf 1 juni 1991)
Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg

De commissie werd administratief ondersteund door mevrouw A Lachman, mevrouw CJ van den Berg, mevrouw R Aksel-Gauri en mevrouw MFC van Kan, allen medewerkers van het secretariaat van de Gezondheidsraad. Drs AB Leussink, eveneens medewerker van het secretariaat van de Gezondheidsraad, verleende redactionele ondersteuning.

.....