

Normstelling, meting en blootstelling in een chemisch laboratorium

Ultraviolette straling

P.L.H. Schuurmann¹,
A.W. Zwaard²

Summary

Occupational exposure limits for exposure to ultraviolet (UV) radiation have been proposed by several agencies. Most standards are in close agreement with the Threshold Limit Values published by the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), based on an effective radiant exposure of 30 J/m².

To investigate the exposure to UV radiation from broad-band sources the use of a spectroradiometer is recommended. It is stressed that the calibration procedure deserves sufficient attention.

Several applications of UV radiation sources in chemical laboratories were investigated. It is concluded that in several situations exposure levels exceed the occupational exposure limits.

Inleiding

Ultraviolette straling is een vorm van elektromagnetische straling in het optische frequentiegebied. De straling, met golflengte tussen 100 en 400 nm, is de meest energierijke niet-ioniserende straling. Het gebied van de ultraviolette straling sluit aan op de kortgolvlige violetzijde van het zichtbare spectrum.

De biologische effecten die kunnen optreden na blootstelling aan ultraviolette straling zijn sterk afhankelijk van de golflengte van de straling.

Gewoonlijk wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende drie gebieden:

- UV-A, ook wel nabij-ultraviolet of (in de Angelsaksische literatuur) 'black-light region' genoemd: golf

lengte tussen 320 nm (ook wel 315 nm) en 400 nm;

- UV-B, midden-ultraviolet of 'erythemal region': golflengte tussen 280 nm en 320 nm (of 315 nm);

- UV-C, ver-ultraviolet of 'germicidal region': golflengte tussen 200 en 280 nm.

Ultraviolette straling met golflengten kleiner dan 200 nm is arbeidshygiënisch gezien van weinig betekenis, omdat deze in lucht sterk geabsorbeerd wordt. Zo wordt straling met een golflengte van 180 nm in ongeveer 1 cm lucht al voor de helft geabsorbeerd. Het golflengtegebied van 100 tot 200 nm wordt daarom wel vacuüm-ultraviolet genoemd.

Ultraviolette straling dringt niet diep door in biologische weefsels. De biologische effecten van ultraviolette straling zijn hierdoor – behalve bij doelbewuste toepassing bijvoorbeeld tijdens operaties – beperkt tot twee organen, namelijk de huid en de ogen.

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de verschillende effecten van ultraviolette straling op huid en ogen.

Zoals aangegeven in tabel 1 kunnen de effecten op ogen en huid onderverdeeld worden in acute effecten en chronische effecten.

Acute effecten ontstaan binnen enkele uren of dagen na de blootstelling. De mate waarin deze effecten optreden, is afhankelijk van de ontvangen dosis bij de blootstelling. Deze acute effecten zijn meestal omkeerbaar. Na de expositie zijn de verschijnselen binnen enkele dagen of weken verdwenen.

Chronische effecten manifesteren zich pas op veel langere termijn, na maanden of zelfs na jaren. Het optreden van deze effecten houdt niet zo zeer verband met een eenmalige blootstel- ▶

1. Directoraat-Generaal van de Arbeid, Postbus 69, 2270 MA Voorburg
2. Gorlaeus Laboratoria, RU Leiden, Postbus 9502, 2300 RA Leiden

ling aan ultraviolette straling, maar is een gevolg van langdurige en regelmatige blootstelling aan ultraviolette straling. Deze chronische effecten zijn niet reversibel: gezondheidsschade is – zonder medische behandeling – blijvend.

Grootheden, normen en grenswaarden

De blootstelling aan ultraviolette straling wordt beschreven met de grootheden bestralingssterkte (Engels: irradiance) en bestralingsdosis (Engels: radiant exposure). De bestralingsdosis is de hoeveelheid ultraviolette stralingsenergie die een bepaald oppervlak bereikt per eenheid van oppervlakte. In het SI-systeem wordt de stralingsdosis uitgedrukt in J/m^2 (joule per vierkante meter). Het aanbevolen symbool is H of H_e . De bestralingssterkte is een maat voor de stralingsstroom die een bepaald oppervlak passeert. De SI-eenheid is W/m^2 (watt per vierkante meter). Het symbool is E of E_e . Voor een gerichte bundel ultraviolette straling die onder een hoek φ met de normaal invalt op het beschouwde oppervlak, is de bestralingssterkte evenredig met $\cos \varphi$.

Zowel de bestralingsdosis als de bestralingssterkte zijn grootheden die ontstaan na integratie over het UV-stralingspectrum.

Om de biologische effecten van ultraviolette straling te kunnen kwantificeren zijn bovengenoemde grootheden ongeschikt. Deze effecten zijn immers afhankelijk van de golflengte. Daarom zijn zogenaamde effectieve grootheden ingevoerd. Zo wordt een effectieve bestralingssterkte E_{eff} gedefinieerd als:

$$E_{eff} = \int_S s(\lambda) E_\lambda d\lambda \quad (2)$$

en analoog een effectieve bestralingsdosis H_{eff}

$$H_{eff} = \int_S s(\lambda) H_\lambda d\lambda \quad (3)$$

$s(\lambda)$ wordt de relatieve spectrale werkingsfunctie of het actiespectrum genoemd. Het actiespectrum is specifiek voor een bepaald biologisch effect. De waarde van $s(\lambda)$ is maximaal (op 1 genormeerd) voor de golflengte waarbij het effect het sterkst optreedt.

$S(\lambda)$ is minimaal (=0) bij golflengten waarbij het beschouwde effect niet optreedt.

In het nu volgende zal een actiespectrum voor verschillende effecten worden gegeven. Merk op dat bij

deze definities verondersteld wordt dat de effecten lineair en additief zijn.

Om een bestralingsdosis te kunnen waarden in termen van het optreden van erytheem is het wenselijk een referentiewaarde voor de voor erytheemvorming minimaal benodigde erytheem-effectieve bestralingsdosis vast te leggen. Deze referentiewaarde, MED (Minimal Erythema Dose) genaamd, kan worden beschouwd als de eenmalige bestralingsdosis die bij een licht gepigmenteerde,

Protection Association (IRPA)) aanbevelingen gedaan voor een blootstellingslimiet voor beroepsmatige blootstelling van huid en ogen aan ultraviolette straling (INIRC 1985). Deze aanbevelingen sluiten aan bij richtlijnen die al geruime tijd gehanteerd worden in de Verenigde Staten. Doel van deze aanbevelingen is limieten te geven voor blootstelling aan ultraviolette straling waaraan bijna ieder individu herhaaldelijk blootgesteld kan worden zonder dat schadelijke effecten optreden. De limieten zijn met name opgesteld voor bloot-

Tabel 1. De belangrijkste biologische effecten van ultraviolette straling op de mens

	ogen	huid
acute effecten	keratitis (hoornvliesontsteking) conjunctivitis (bindvliesontsteking)	erytheem (zonnebrand) pigmentatie (bruining) veranderingen van huidcellen
chronische effecten	cataract (troebeling van de ooglens)	elastosis senilis (huidveroudering) huidcarcinomen melanomen

Tabel 2. Limieten voor beroepsmatige blootstelling aan ultraviolette straling bij verscheidene golflengten gedurende een achturige werkdag

Golflengte (nm)	Threshold Limit Value TLV (J/m^2)	relatieve spectrale effectiviteit $s(\lambda)$
200	1000	0,03
210	400	0,075
220	250	0,12
230	160	0,19
240	100	0,30
250	70	0,43
254	60	0,5
260	46	0,65
270	30	1,0
280	34	0,88
290	47	0,64
300	100	0,30
305	500	0,06
310	2000	0,015
315	10000	0,003

niet recent aan ultraviolette straling blootgestelde blanke huid juist erytheem veroorzaakt. Uitgaande van deze definitie wordt voor de MED vaak een waarde van $200 J/m^2$ gebruikt. Ook in een recent advies van de Gezondheidsraad wordt deze waarde als voorkeurswaarde genoemd.

Actiespectrum en drempeldosis

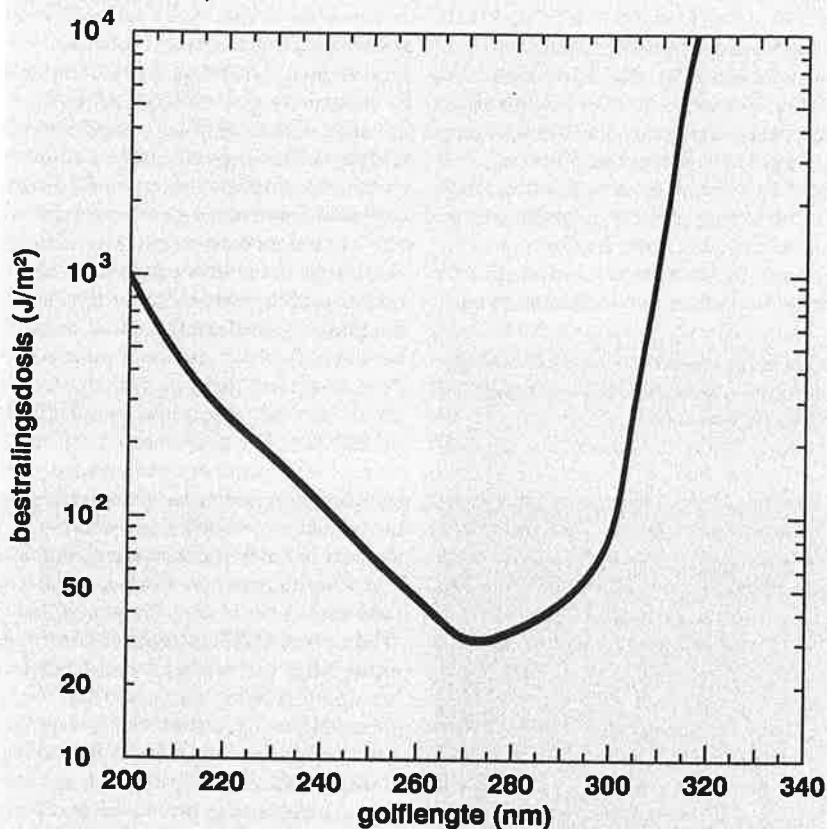
In 1985 zijn door de INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation

stelling op de werkplek. In onderstaande figuur worden de voorgestelde blootstellingslimieten als functie van de golflengte weergegeven. In tabel 2 worden deze limieten weergegeven voor verscheidene golflengten (ACGIH 1986).

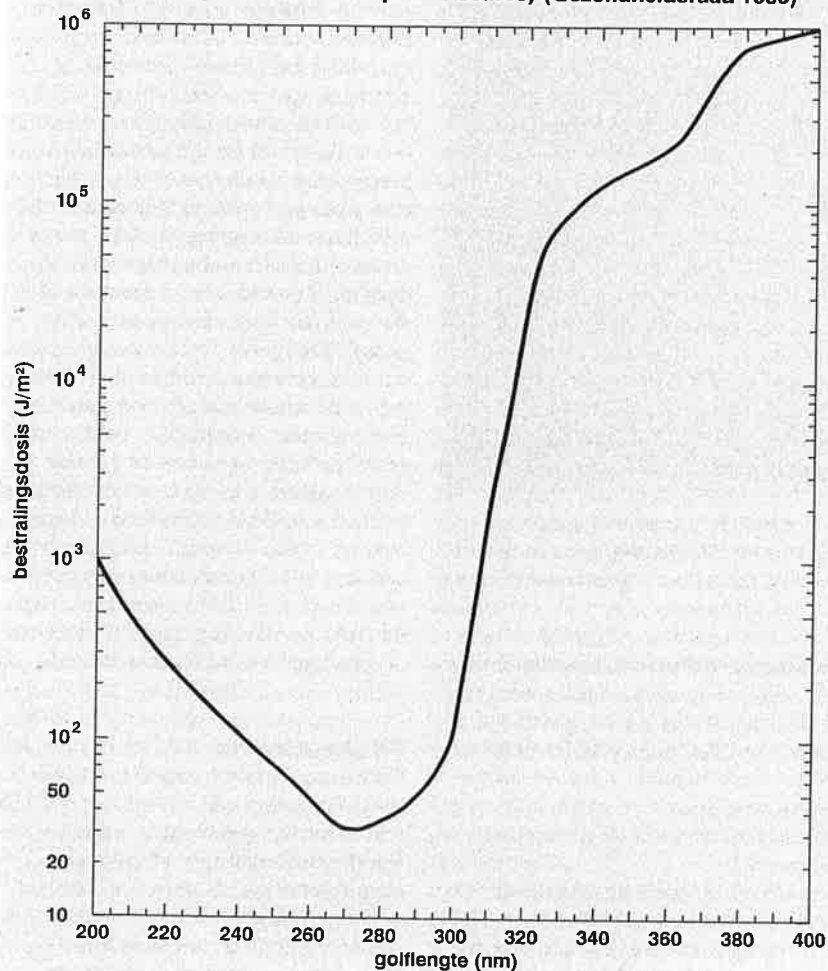
De limieten in tabel 2 mogen gedurende een 8-urige periode (werkdag) niet overschreden worden.

Voor bestraling door monochromatische bronnen zijn de blootstellingsli-

Figuur 1. Voorgestelde blootstellingslimieten voor blootstelling aan ultraviolette straling op de werkplek ('drempeldosiscurve' voor een achturige blootstelling) (ACGIH 1986)



Figuur 2. Door de Gezondheidsraad voorgestelde blootstellingslimieten voor blootstelling aan ultraviolette straling op de werkplek gedurende een achturige werkdag (huid-oog effectieve drempeldosiscurve) (Gezondheidsraad 1986)



mieten rechtstreeks uit bovenstaande tabel af te lezen. Om de effectieve bestralingssterkte van een breedbandige bron te bepalen moeten de effectieve bestralingssterkten bij de verschillende golflengten bepaald en bij elkaar opgeteld worden om de totale effectieve bestralingssterkte te verkrijgen:

$$E_{\text{eff}} = \sum_S s(\lambda) E_{\lambda} \Delta\lambda$$

waarin:

E_{eff} = effectieve bestralingssterkte in W/m^2 , genormaliseerd naar een monochromatische bron bij 270 nm.

E_{λ} = gemeten spectrale bestralingssterkte in $W/(m^2 \text{ nm})$

$s(\lambda)$ = relatieve spectrale effectiviteit, 1 bij 270 nm (dimensieloos)

$\Delta\lambda$ = bandbreedte van de intervallen van meting of berekening in nm.

Als de effectieve bestralingssterkte is bepaald, kan daaruit de maximaal toegestane expositieduur per werkdag worden berekend.

Maximaal toegestane dagelijkse dosis

Volgens de huidige stand van de wetenschap is een maximale effectieve dosis van $30 J/m^2$ per werkdag de grens waaronder, ook bij personen die relatief gevoelig zijn voor ultraviolette straling, geen acute effecten optreden. De kans op chronische effecten wordt, bij deze grens, tot een aanvaardbaar geachte waarde beperkt.

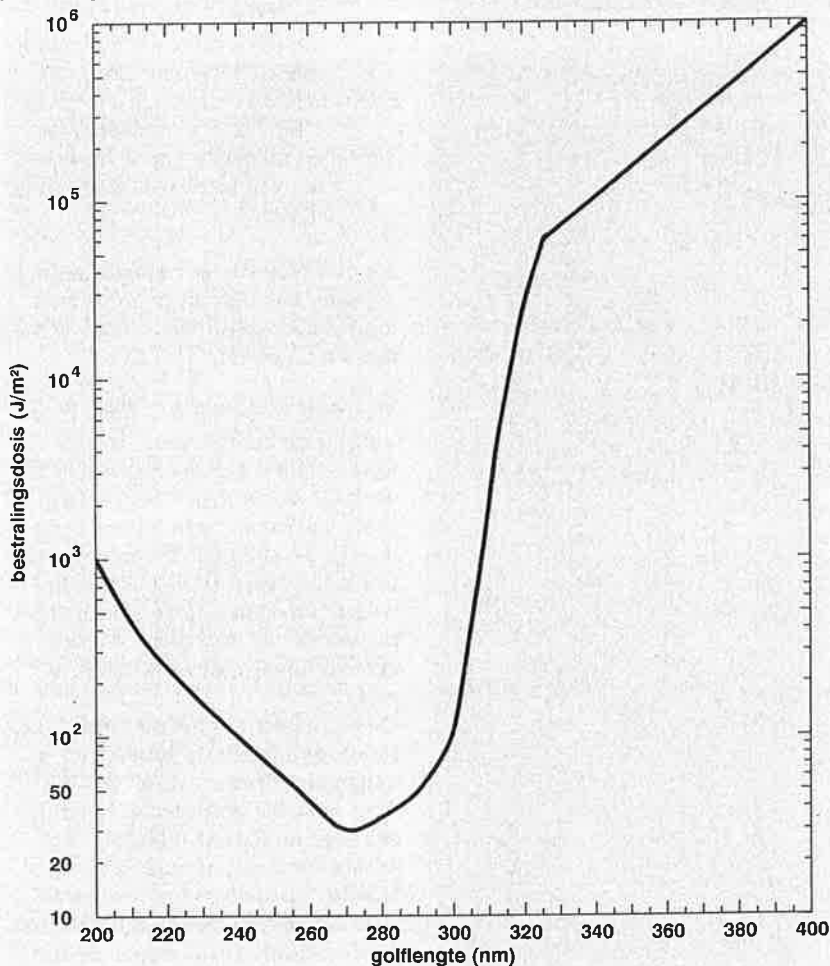
De hierboven beschreven drempeldosiscurve (figuur 1) is samen met de maximale effectieve dosis van $30 J/m^2$ voor het eerst gepubliceerd in een door de NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) op aanbeveling van de ACGIH uitgegeven 'Recommended Standard' (NIOSH 1973). Sinds die tijd heeft deze waarde goed stand gehouden, ondanks verschillende voorstellen tot verbetering sinds de publicatie. De waarde is in 1979 door de Wereldgezondheidsorganisatie overgenomen (WHO 1979). In diverse andere normen en richtlijnen wordt deze waarde eveneens genoemd als limiet voor de dagelijkse bestralingsdosis.

Tot slot kan vermeld worden dat ook de Gezondheidsraad in haar recente advies geen aanleiding ziet om in het gebied van 200 tot 315 nm van deze getallen af te wijken (Gezondheidsraad 1986). In het gebied van 315 tot 400 nm geeft de ACGIH alleen een aanbeveling voor een maximale be- ▶

stralingssterkte (maximaal 10 W/m^2 voor een blootstellingsduur van meer dan 1000 s per werkdag). De Gezondheidsraad stelt in haar advies voor deze aanbeveling te vervangen door een drempeldosiscurve. De bestaande drempeldosiscurve wordt volgens dit voorstel aan de langgolvlige kant, voor golflengten groter dan 315 nm, uitgebreid met de drempeldosiscurve voor het optreden van erytheem. Zodoende kan volstaan worden met het hanteren van één drempeldosiscurve voor het ontstaan van zowel

De nieuwste ontwikkeling op het gebied van vaststellen van een drempeldosiscurve is recent gepubliceerd. Door de ACGIH wordt voorgesteld binnenkort de drempeldosiscurve voor blootstelling aan ultraviolette straling (figuur 1) aan de langgolvlige kant uit te breiden tot 400 nm (ACGIH 1988). De toegestane bestralingsdoses in het golflengtegebied van 315 tot 400 nm komen nagenoeg overeen met het juist beschreven voorstel van de Gezondheidsraad. Formule (1) kan nu worden toegepast

Figuur 3. Door de ACGIH voorgestelde blootstellingslimieten voor blootstelling aan ultraviolette straling op de werkplek gedurende een achturige werkdag (huid-oog effectieve drempeldosiscurve) (ACGIH 1988)



erytheem als hoornvlies- en bindvliesontsteking. In figuur 2 wordt deze curve weergegeven.

Merk op dat de curve voor het golflengtegebied van 200 tot 315 nm identiek is aan de curve in figuur 1. Op grond van deze curve van de Gezondheidsraad kan rechtstreeks een 'huid-oog effectieve' bestralingsdosis berekend worden. Personen uit bijzondere risicogroepen, zoals personen met een verhoogde gevoeligheid van de huid voor ultraviolette straling, of personen bij wie de oogleden zijn verwijderd, zullen echter ook bij het in acht nemen van deze grenswaarde extra bescherming moeten zoeken.

op het gehele ultraviolette golflengtegebied van 200 tot 300 nm. In figuur 3 wordt de nieuwe curve van de ACGIH afgebeeld.

Meetapparatuur en meetmethode

Het meten van ultraviolette straling op de arbeidsplaats kan op verschillende manieren plaatsvinden. De keuze wordt bepaald door de volgende overwegingen:

- is een globale indicatieve meting voldoende?
- is bekend uit welke golflengte(n) de straling is samengesteld?

Voor een globale meting kan worden volstaan met een radiometer die een

bepaald deel van het spectrum opneemt en 'weegt' volgens een bepaalde weegcurve. In die gevallen moet echter bekend zijn welk deel van het spectrum gemeten moet worden, omdat deze toestellen, en met name de toegepaste detectoren, speciaal gevoelig zijn (en dus ook gecalibreerd zijn) voor een bepaald deel van het elektromagnetische spectrum. Zo kan een dergelijk meetsysteem geschikt zijn voor zichtbare straling, en dus corrigeren voor de ooggevoeligheid, maar ook bijvoorbeeld voor het 'germicidal' of 'erythemal' gebied (respectievelijk UV-C, met een maximale detectiegevoeligheid bij 254 nm en UV-B, met een maximale gevoeligheid bij 297 nm). Deze apparaten zijn in de regel compact van afmetingen en eenvoudig te bedienen, maar er kunnen significante fouten gemaakt worden, vooral in die spectrale gebieden waar de respons van het apparaat snel varieert met de golflengte (Henderson 1987). Verder is het onmogelijk om achteraf vast te stellen welke golflengten in het oorspronkelijke signaal aanwezig waren. Als vooraf niet bekend is welke soort straling te verwachten is, dan zal het gebruik van bovengenoemde soort apparatuur leiden tot meetresultaten die niet te interpreteren zijn. Beter kan dan gebruik gemaakt worden van een zogenaamde 'spectroradiometer'. Een spectroradiometer is een apparaat dat straling meet in een willekeurig te kiezen golflengtegebied in het optische spectrum. De meetresultaten die een dergelijk apparaat presenteert zijn overzichtelijk: bij elke gewenste golflengte geeft het de bijbehorende stralingssterkte in een vaste of instelbare bandbreedte. Op deze manier kan in elke meetsituatie een volledig spectrum worden vastgelegd. De hieruit verkregen gegevens kunnen rechtstreeks of indirect overgebracht worden in een computer. Het voordeel is duidelijk: vanuit de ruwe meetgegevens kan een totale stralingssterkte in de bewuste situatie worden berekend, terwijl nauwkeurig bekend is hoe de respons van het systeem is bij de verschillende golflengten en welke correcties zijn toegepast om de effectieve stralingssterkte of stralingsdosis te kunnen berekenen.

De ijkprocedure

Calibratie van het gehele meetsysteem geschiedt met een ijkbron. Vaak wordt hiervoor gebruik gemaakt van een deuteriumlamp met bekende stralingssterkte. Na een opwarmtijd van zowel de deuteriumlamp als de spectroradiometer moet de spectroradiometer bij enkele vaste cali-

bratiegolfengten binnen bepaalde grenzen de stralingssterkten aangeven zoals ze in het calibratiecertificaat zijn vermeld. Naast de vergelijking van deze stralingssterkten kan het hele spectrum (als het met een XY-schrijver is geregistreerd) gebruikt worden om de werking van de spectroradiometer bij andere golfengten globaal te controleren. Op deze manier kunnen ook golfengte-afhankelijke storingen opgespoord worden.

Een zorgvuldige calibratie voor en na iedere meetessie is belangrijk. Alleen dan is er voldoende zekerheid dat het meetapparaat gedurende alle metingen tussen de voor- en nacalibratie naar behoren heeft gefunctioneerd (waarbij er van uitgegaan wordt dat het apparaat correct ingesteld en gebruikt wordt). Hoe belangrijk deze calibratie is, mag blijken uit het volgende voorbeeld uit eigen ervaring:

Enige tijd geleden werden er met een spectroradiometer metingen verricht aan een belichtingsbak voor grafische platen. Het belichten van deze platen geschiedt met ultraviolette straling (UV-A). De meetresultaten vielen echter aanmerkelijk lager uit dan op grond van de vooraf geraadpleegde literatuur verwacht moest worden. De calibratie na de metingen (de ijkbron was tijdens de metingen niet voorhanden) gaf stralingssterkten aan die een factor 12 à 15 lager waren dan vermeld in het calibratiecertificaat. De spectroradiometer werd voor onderzoek teruggebracht naar de importeur. Daar bleek dat in de monochromator een oppervlaktespiegeltje uit de vating was losgekomen. Het enige dat nog spiegelde was de aluminium vating waarop het spiegel-tje oorspronkelijk was vastgelijmd. De spectroradiometer was vóór de metingen nog op kantoor geijkt, dus de storing moest zijn opgetreden tijdens het transport naar de meetplek.

Berekening van de effectieve stralingssterkte uit de ruwe meetgegevens

Met het hierboven beschreven meet-systeem is het mogelijk metingen van ultraviolette straling te verrichten aan verschillende soorten bronnen: bronnen die een lijnenspectrum uitzenden, bronnen die een continu spectrum uitzenden en bronnen die een combinatie van een continu en een lijnenspectrum uitzenden. Alleen een lijnenspectrum wordt bijvoorbeeld aangetroffen bij lagedruk natriumlampen en lagedruk gasontladingslampen, 'TL-buizen', zonder fluorescentiepoeders. Als wel gebruik gemaakt wordt van fluorescentiepoe-

ders, dan verschijnt bij lagedruk gasontladingslampen een continu spectrum met daarin duidelijk herkenbaar de oorspronkelijke lijnen. Bij hogedruk kwiklampen en hogedruk natriumlampen wordt hetzelfde waargenomen: een min of meer continu spectrum met daarop gesuperponeerd een lijnenspectrum. Een volledig continu spectrum wordt bijvoorbeeld aangetroffen bij gloeilampen.

Veel bronnen van ultraviolette straling zenden deze combinatie van een lijnenspectrum en een continu spectrum uit. Bij het meten van ultraviolette straling moet daar rekening mee worden gehouden. Er kunnen belangrijke fouten gemaakt worden in de berekening van de (al dan niet effectieve) stralingssterkte als de hoeveelheid energie in elke lijn niet op de juiste wijze bij de energie van het continue spectrum wordt opgeteld. Als er bijvoorbeeld geen gebruik wordt gemaakt van een XY-schrijver, en de stralingssterkte van de onderzochte bron bijvoorbeeld iedere 5 nm wordt genoteerd, dan ligt het voor de hand dat van de meeste lijnen de piek niet of niet volledig wordt gemeten. Wanneer er wel gebruik gemaakt is van een XY-schrijver en de spectroradiometer een bepaald golfengtegebied aftast, dan passeert het meetinstrument wél iedere golfengte en worden in de registratie dus alle pieken juist weergegeven, vooropgesteld dat de pensnelheid van de XY-schrijver hoog genoeg is om de snelle toename van het signaal bij het naderen van een piek te kunnen volgen.

De eenheid om stralingssterkten uit het spectrum weer te geven is $W/(m^2 \text{ nm})$. Uitgaande van de registratie van de XY-schrijver kan een tabel worden gemaakt van de stralingssterkten op regelmatige afstanden in het continue spectrum (bijvoorbeeld iedere 5 nm). Daarbij wordt eerst een denkbeeldige 'omhullende curve' over het continue spectrum gelegd om een glad continu spectrum te verkrijgen. Daarnaast moet een aparte tabel gemaakt worden voor elke lijn in het spectrum. Deze procedure is van bijzonder belang in spectraalgebieden waar de biologische werkingfunctie snel varieert, zoals bijvoorbeeld voor ultraviolette straling in het gebied van 300 tot 320 nm.

De berekening van de stralingssterkte geschiedt nu op de volgende manier (Sliney 1980).

Eerst wordt van het denkbeeldige gladde spectrum zonder lijnen de totale stralingssterkte berekend. Gekozen is voor registratie met een

interval van telkens 5 nm. Voor elke geregistreeerde golfengte wordt de deelbijdrage berekend volgens onderstaande formule:

$$E_{\text{eff},\lambda} = s(\lambda)E_{\lambda}\Delta\lambda$$

waarin

$E_{\text{eff},\lambda}$ = de stralingssterkte in $W/(m^2 \text{ nm})$ bij golfengte λ

$s(\lambda)$ = de relatieve spectrale werkingfunctie zoals hiervoor beschreven

$\Delta\lambda$ = de breedte van het interval waarover E_{λ} gemeten is (in nm).

Vervolgens kunnen deze deelbijdragen bij elkaar opgeteld worden om de totale effectieve stralingssterkte te bepalen.

Daarnaast moet de bijdrage aan de totale stralingssterkte van de afzonderlijke lijnen worden bepaald.

De bijdrage van een enkele lijn wordt als volgt bepaald:

$$E_{\text{eff,lijn}} = (E_{\lambda,\text{max}} - E_{\lambda,\text{cont}}) \lambda_m s(\lambda)$$

waarin

$E_{\lambda,\text{max}}$ = de maximale stralingssterkte van de lijn (de piekwaarde)

$E_{\lambda,\text{cont}}$ = de stralingssterkte bij dezelfde golfengte in het hierboven reeds berekende continue spectrum

λ_m = de bandbreedte van de monochromator (bijvoorbeeld 2 nm)

$s(\lambda)$ = de relatieve spectrale werking bij golfengte λ

Deze berekening moet worden gemaakt voor alle lijnen die in het spectrum worden aangetroffen.

De totale effectieve stralingssterkte wordt ten slotte verkregen door de bijdragen van het continue spectrum en de afzonderlijke lijnen bij elkaar op te tellen.

De hier omschreven procedure voor het bepalen van de totale effectieve stralingssterkte leent zich uitstekend voor automatische verwerking. Er is voor dit onderzoek een computerprogramma ontwikkeld dat uit de ruwe meetgegevens (de niet-gecorrigeerde stralingssterkten van het continue spectrum en de stralingssterkten van de lijnen) direct de totale effectieve stralingssterkte berekent. Daarnaast berekent het programma de maximaal toegestane blootstellingstijd per dag, uitgaande van het criterium van 30 J/m^2 . Als de dagelijkse verblijftijd ►

bekend is, berekent het programma ook de totale dagdosis. Vaak is die echter wisselend, zodat de maximaal toegestane blootstellingstijd per dag een bruikbaarere gegeven is.

Ervaringen in enkele laboratoriumsituaties

Over de blootstelling aan ultraviolette straling in laboratoriumsituaties is weinig bekend. Er zijn enkele publicaties waarin hierover globale uitspraken worden gedaan (McKinlay 1978, Zwaard 1986, Bowker 1987). Hieruit blijkt dat er in een aantal situaties schadelijke niveaus van ultraviolette straling voorkomen; reden om enkele opstellingen aan een nader onderzoek te onderwerpen (Schuurmann 1988).

In het onderzoek is de ultraviolette straling gemeten die vrijkomt bij enkele onderzoekopstellingen in een chemisch laboratorium. Drie regelmatig voorkomende situaties zijn gemeten en beoordeeld volgens de hierboven beschreven methode.

De eerste situatie betrof het gebruik van detectielampjes op verschillende plaatsen in het laboratorium. Ze dienen onder meer voor het bekijken onder ultraviolette straling van chromatogrammen op het al dan niet aanwezig zijn van bepaalde chemische stoffen. Het dragermateriaal van de chromatogrammen, dat oorspronkelijk over het gehele oppervlak fluoresceert wordt hierbij geïnspecteerd op de aanwezigheid van gebieden die door de aanwezige chemische stoffen minder of niet fluoresceren. Een zelfde soort lampjes wordt ook in de hand gebruikt om kolommen in kolomchromatografie te bekijken. Het lamphuis is dan vaak uitneembaar uit de houder. Ook worden dit soort lampen toegepast voor de detectie van fluorescerende stoffen. In het lamphuis zijn vaak twee 8-watt fluorescentielampen gemonteerd. Eén lamp zendt een lijnenspectrum uit met een sterke lijn bij 254 nm; de andere lamp zendt een gecombineerd continu en lijnenspectrum uit met een maximum rond 365 nm. Met een keuzeschakelaar kan één van beide lampen worden ingeschakeld. Bij het bekijken van de chromatogrammen wordt meestal gebruik gemaakt van de lamp die 254 nm uitzendt. De totale blootstellingsduur per dag ligt, uitgaande van maximaal enkele tientallen beoordelingen per persoon per dag, in de orde grootte van enkele minuten. Bij de beoordeling is onderscheid gemaakt tussen bestraling van de handen (dicht bij de bron tijdens het manipuleren) en de ogen bij de aan-

wezigheid van een detectieplaatje van gemiddelde afmetingen. De lamp die de 365 nm-straling uitzendt levert geen enkele risico voor de gebruiker. De maximaal toegestane blootstellingsduur per werkdag, voor de handen, bedraagt 19 uren. Voor de situatie met de lamp die 254 nm-straling uitzendt ligt dit echter geheel anders: voor de handen slechts een maximaal toegestane blootstellingsduur van ongeveer 2 minuten (stralingsniveau $2,24 \cdot 10^{-1} \text{ W/m}^2$). Hierbij is dus zeker voorzichtigheid geboden. De ogen komen er beter vanaf: na 67 minuten wordt de grens overschreden (stralingsniveau $7,47 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$).

In de tweede situatie werd een opstelling met een dompellamp beoordeeld. Een dompellamp wordt gebruikt in een opstelling waarin een chemische reactie in een vloeistof onder invloed van ultraviolette straling of sterke zichtbare straling moet plaatsvinden. Door de buitenste mantel van de opstelling (een dubbele glazen kolom) stroomt koelwater. In de binnenste kolom is de dompellamp gemonteerd. Tussen de lamp en het koelwater bevindt zich de oplossing waarin de reactie moet plaatsvinden. De gebruikte lamp is een hoge druk-kwiklamp. Bij een hoge druk-kwikontlading verschijnt niet alleen een continuüm in het spectrum, maar ook de vijf belangrijkste zichtbare lijnen (405, 436, 546, 557 en 559 nm) dragen in belangrijke mate bij aan de totale stralingssterkte. De dompellamp verspreidt daardoor ook een zeer fel wit licht. De opstelling staat in de regel in een zuurkast opgesteld. Als de lamp brandt, wordt de opstelling met minimaal een zwarte doek overdekt.

Bij de dompellamp zijn twee situaties gemeten. In de eerste (gebruikelijke) situatie is de dompellamp-opstelling in een zuurkast geplaatst en is er een zwarte katoenen doek omheen gedrapeerd. De tweede meting is uitgevoerd op ongeveer 10 cm afstand van de opstelling zonder de zwarte doek. Deze situatie kan voorkomen als er met de opstelling gemanipuleerd wordt terwijl de dompellamp ingeschakeld is. In de eerste situatie bedroeg de effectieve stralingssterkte $1,36 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2$, zodat een blootstellingsduur van 614 uur per werkdag is toegestaan. Bij de tweede situatie echter, in de nabijheid van de dompellamp zonder de beschermende doek, was het stralingsniveau ca. $8,7 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^2$, hetgeen de maximaal toegestane blootstellingsduur beperkt tot circa 6 minuten. Een 'gunstige' bij-

komstigheid bij deze opstelling is echter het felle witte licht dat uitgezonden wordt, waardoor het niet aantrekkelijk is om lang in de buurt van een niet afgedekte opstelling te verblijven.

In de derde situatie wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde 'Rayonet'-opstelling. In deze opstelling wordt een chemische reactie onder zeer intensieve ultraviolette straling uitgevoerd. Deze bestralingstoestellen zijn op verschillende locaties in het laboratorium aangetroffen, altijd in een aparte ruimte, waar geen vaste werkplekken zijn. Een aantal staat opgesteld in een koelcel, omdat bij diverse reacties lagere temperaturen nodig zijn. In een metalen chassis zijn zeven of acht U-vormige lage druk-gasontladingslampen in een cirkelvorm gemonteerd. De diameter van de cirkel bedraagt ongeveer 30 cm. De lampen zelf hebben een diameter van 26 mm en een lengte van circa 1 m. De uitgezonden straling heeft een sterke lijn bij 254 nm. In het midden van de cirkel wordt het object gemonteerd (meestal een cuvet van kwartsglas met daarin een organische oplossing) waarin de reactie moet plaatsvinden. De gehele opstelling wordt tot boven ooghoogte omgeven door een zwart gordijn.

Bij deze opstelling werd, bij een kier in het gordijn, een effectief stralingsniveau van maar liefst $1,14 \text{ W/m}^2$ gemeten. Dit betekent dat iemand die zich in de buurt van een lek in de omsluiting ophoudt reeds binnen 26 seconden de maximale toegestane dagelijkse dosis heeft ontvangen. In deze situatie is dus voorzichtigheid geboden. Wanneer de opstelling tot boven ooghoogte goed is afgesloten, resteert in de ruimte een stroostraling van $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$, zodat een maximale verblijfstijd van 161 minuten toegestaan is. Niet te hoog om zo nu en dan eens de ruimte binnen te lopen, maar veel te weinig om de opstelling zonder aanvullende maatregelen op een (semi)permanente werkplek toe te laten.

Conclusie

Over een normstelling voor blootstelling aan ultraviolette straling bestaat er wetenschappelijk gezien al geruime tijd een duidelijke overeenstemming. De limieten die gepubliceerd worden door de ACGIH worden alom geaccepteerd als maatgevend. Als maximale effectieve dagelijkse blootstelling wordt hierbij een grens van 30 J/m^2 gehanteerd.

Het meten van ultraviolette straling moet zorgvuldig geschieden. Het gebruik van een eenvoudige radiome-

ter kan in onbekende situaties leiden tot niet te interpreteren meetresultaten. Bij gebruik van een spectroradiometer, die een compleet spectrum registreert, kunnen achteraf alle gewenste berekeningen worden uitgevoerd. Speciale aandacht moet worden geschonken aan het ijken van de meetapparatuur. Het is belangrijk om zowel voor als na de metingen de apparatuur te ijken; slechts dan is er voldoende zekerheid dat de apparatuur tijdens de metingen naar behoren heeft gefunctioneerd.

Uit het onderzoek is gebleken dat er op verschillende plaatsen in een chemisch laboratorium gebruik gemaakt wordt van ultraviolette straling. De stralingsniveaus die hierbij werden gevonden, zijn zeker niet alle onschuldig. Bij een aantal opstellingen is blootstelling aan meer dan de maximaal toegestane dosis zeer wel mogelijk. Veel hangt echter af van de arbeidshygiënische situatie rondom de gebruikte opstellingen. Bij een kritisch gebruik van de apparatuur en ruime aandacht aan het voorkomen van blootstelling zal op vrijwel alle werkplekken in laboratoria veilig omgegaan kunnen worden met ultraviolette straling.

Literatuur

- ACGIH, 1986; American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold limit values and biological exposure indices for 1986-1987. Connecticut, USA.
- ACGIH, 1988; American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold limit values and biological exposure indices voor 1988-1989. Connecticut, USA.
- Bowker, K.W., 1987; Hazards associated with sources of ultraviolet radiation used in a research environment. In: Passchier WF, Bosnjakovic BFM (eds.), Human exposure to ultraviolet radiation: risks and regulations. Elsevier, Amsterdam, 371-375.
- Gezondheidsraad, 1986; UV straling: Blootstelling van de mens aan ultraviolette straling, 's-Gravenhage.
- Henderson, A.R., 1987; UV radiation hazards: principles and problems of measurement. In: Passchier WF, Bosnjakovic BFM (eds.), Human exposure to ultraviolet radiation: risks and regulations. Elsevier, Amsterdam, 333-337.
- INIRC, 1985; International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Physics 49(2), 331-340.
- McKinlay, A.F., Harlen, F., Clark, I.M., 1978; A limited survey and evaluation of ultraviolet radiation hazards in university laboratories. National Radiological Protection Board, Chilton.
- NIOSH, 1973; A recommended standard for occupational exposure to ultraviolet

- radiation. 1973, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati.
- Schuurmann, P.L.H., 1988; Blootstelling aan ultraviolette straling in laboratoriumsituaties. Meetmethode, niveaus en aanbevelingen. Praktijkstudie HVK. 's-Gravenhage.
- Sliney, D., Wolbarsht, M., 1980; Safety

- with lasers and other optical sources. Plenum Press, New York.
- World Health Organization, 1979; Environmental Health Criteria 14: Ultraviolet radiation. Genève.
- Zwaard, A.W., 1986; Voorzichtig met UV, binnen en buiten het lab. 1986, Chemisch Weekblad, 4 september 1986, 327.

Boekbespreking

Addendum

In het tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap 2 (1989) nr. 5 is in het artikel 'Ultraviolette straling', op blz. 74, eerste kolom, de nummering van de formules niet correct. Deze dient te luiden:

$$E_{\text{eff}} = \int_S s(\lambda) E_{\lambda} d\lambda \quad (1)$$

$$H_{\text{eff}} = \int_S s(\lambda) H_{\lambda} d\lambda \quad (2)$$

Tevens dient aan de formule op blz. 75, kolom 3, nummer 3 toegevoegd te worden.

Tot slot dient de laatste zin op blz. 76, tweede kolom, bovenste helft, te weten 'Formule (1) kan nu worden toegepast op het gehele ultraviolette golflengtegebied van 200 tot 300 nm', gewijzigd te worden in:

'De formules (1), (2) en (3) kunnen nu worden toegepast op het arbeids-hygiënisch gezien interessante ultraviolette frequentiegebied van 200 tot 400 nm.'