

Ser. 4  
S46-2

# Onderzoek naar de ultraviolette stralingsniveaus bij lassen

Een onderzoek  
Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid,  
door het Metaalinstituut TNO, Apeldoorn

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



\*NIA0043192\*

---

Directoraat-Generaal van de Arbeid



S 46-2

535-31 : 614.875 : 621.791  
(spec. a.H.)

aprilis de

# Onderzoek naar de ultraviolette stralingsniveaus bij lassen

Een onderzoek  
Uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid,  
door het Metaalinstituut TNO, Apeldoorn

Auteurs:

ir. C.W.J. Cox

ing. T. de Haan

Nederlands Instituut voor  
Arbeidsomstandigheden NIA  
bibliotheek-documentatie-informatie  
De Boelelaan 32, Amsterdam-Buitenveldert

stamb.nr.

plaats

datum

maart 1989

89-537

Sec. 4, P 46-2

11 MEI 1989

## TEN GELEIDE

Dit onderzoek (S 46-2) is het volgende in de serie onderzoeken naar de arbeidsomstandigheden van lassers.

Eerder verschenen:

- S 46 "Uitval om medische redenen van lassers bij een metaalconstructiebedrijf";
- S 46-1 "Onderzoek naar de expositie van lassers aan luchtverontreiniging".

Op zeer korte termijn verschijnen vervolgens:

- S 46-3 "Ventilatie bij het lassen: Het vastleggen van het verspreidingsmechanisme van lasrook";
- S 46-4 "Ventilatie bij het lassen: De simulatie van de lasrookbeweging";
- S 46-5 "Ventilatie bij het lassen: De beproeving van plaatselijke ventilatievoorzieningen";
- S 46-6 "Ventilatie bij het lassen: De afstemming van ventilatie en andere maatregelen op de verontreinigingen bij lasprocessen en lasmaterialen".

De gehele serie (S 46 t/m S 46-6) vormt de wetenschappelijke onderbouwing voor concept-publikatieblad CP 17 "verantwoord werken bij het lassen en aanverwante processen".

De verslagen van de onderzoeken en het concept-publikatieblad kunnen schriftelijk worden aangevraagd bij het D.G.A., Postbus 69, 2270 MA Voorburg.

Aan deze uitgaven zijn kosten verbonden, voor een volledig overzicht van de kosten en de overige publikaties van het Directoraat-Generaal van de Arbeid raadplege men onze catalogus (lijst 1). Deze catalogus is gratis verkrijgbaar.

<u>INHOUD</u>	<u>blz.</u>
<b>SAMENVATTING</b>	4
<b>1. INLEIDING</b>	5
<b>2. ULTRAVIOLETTE STRALING, MENS EN NORMEN</b>	7
2.1 Het golflengtegebied	7
2.2 Biologische effecten	9
2.2.1 Biologische effecten op de huid	9
2.2.2 Biologische effecten op het oog	10
2.3 Grenswaarden	12
2.3.1 ACGIH-grenswaarden	13
2.3.2 Grenswaarden van de Gezondheidsraad	17
<b>3. MEETMETHODIEK</b>	20
3.1 Parameters	20
3.2 Meetopstelling	23
3.2.1 Lassimulatie-opstellingen	23
3.2.2 Apparatuur	24
<b>4. LASSEN MET BEKLEDE ELEKTRODEN</b>	31
<b>5. HET TIG-PROCES</b>	38
5.1 Stralingsniveaus	38
5.2 Irradiantieniveau en plaats ten opzichte van de boog	43
5.2.1 Irradiantie - afstand tot de boog	43
5.2.2 Irradiantie - oriëntatie ten opzichte van de boog	44
<b>6. HET MIG-/MAG-PROCES</b>	46
<b>7. EVALUATIE VAN DE STRALINGSNIVEAUS</b>	57
7.1 Vergelijking van de processen	57
7.2 Toetsing aan grenswaarden	60
7.2.1 Onbeschermden ogen en huid	60
7.2.2 Beschermden huid en ogen	66
7.2.2.1 Oogbescherming	66
7.2.2.2 Kleding	69
7.2.2.3 Schermen	71

8.	CONCLUSIES	72
9.	LITERATUUR	75

**BIJLAGE A: Filters voor lassen en aanverwante technieken**

## SAMENVATTING

In dit rapport wordt een onderzoek beschreven naar de ultraviolette stralingsniveaus bij het lassen met beklede elektroden, het TIG-lassen en het MIG-/MAG-lassen. Dit onderzoek maakt deel uit van een door het Directoraat Generaal van de Arbeid, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid opgedragen onderzoek ten behoeve van het opstellen van concept-richtlijnen voor het verantwoord werken bij het lassen. Naast het hier gerapporteerde onderzoek wordt onderzoek verricht naar de expositie van lassers aan luchtverontreiniging en naar het effect van plaatselijke afzuiging en andere maatregelen ter beperking van de expositie van lassers aan luchtverontreiniging. Van de drie beschouwde lasprocessen zijn op de stralingsniveaus van invloed zijnde parameters, zoals stroomsterkte, boogspanning, materiaal en beschermgas, gevarieerd. Per parametercombinatie werd de spectrale irradiantie volgens de ACGIH en de Gezondheidsraad en de UV-A-irradiantie berekend. De gemeten spectra en de berekende irradiantieniveaus worden gepresenteerd en besproken. De in de lasboog aanwezige materialen bepalen het spectrum van de uitgezonden straling. Voor de verschillende lasprocessen is de relatie tussen irradiantie en stroomsterkte afgeleid.

De bij de beschouwde processen optredende irradiantieniveaus zijn hoog tot zeer hoog. De hoogste niveaus treden op bij het MIG-/MAG-lassen van roestvast staal en aluminium bij een sproei-boogdruppelovergang (zowel effectieve als UV-A-irradiantie) en het TIG-lassen van roestvast staal met helium als beschermgas (alleen effectieve irradiantie). De laagste niveaus werden gevonden bij het TIG-lassen van aluminium.

De irradiantieniveaus zijn getoetst aan grenswaarden voor de blootstelling aan ultraviolette straling van de ACGIH en de Gezondheidsraad. Voor een onbeschermd persoon (lasser) op een derde meter van de lasboog gelden bij een gemiddelde stroomsterkte maximale blootstellingstijden van nog geen één tot circa tien seconden, afhankelijk van het proces. Gebruik van beschermende middelen zoals een laskap met filterglas en kleding geven een verhoging van de toelaatbare blootstellingstijd. De kleding geeft over het algemeen een geringere bescherming dan de filterglazen. Een uitzondering hierop vormt leren kleding. In de op te stellen richtlijnen dienen de toe te passen filterglazen, kleding en afschermingen als functie van het lasproces en de stroomsterkte te worden opgenomen. De in dit onderzoek afgeleide verbanden tussen irradiantie en stroomsterkte vormen daarvoor het uitgangspunt.

## 1. INLEIDING

In opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, wordt door de Afdeling Binnenmilieu onderzoek naar de belastende agentia en factoren bij het lassen verricht. Dit onderzoek dient ter onderbouwing van de op te stellen concept-richtlijnen voor het verantwoord werken bij het lassen. Naast het onderzoek naar de ultraviolette stralingsniveaus bij het lassen wordt onderzoek verricht naar de expositie van lassers aan luchtverontreiniging en naar het effect van plaatselijke afzuiging en andere maatregelen ter beperking van de expositie van lassers aan luchtverontreiniging.

Lassers worden blootgesteld aan hoge doses ultraviolette straling zoals blijkt uit het vooronderzoek [1]. In het vooronderzoek zijn de effectieve irradiantieniveaus in het actinische gebied (200 tot 315 nm) bij het lassen met beklede elektrode van staal en roestvast staal, het TIG-lassen van aluminium en roestvast staal en het MIG-lassen van staal en roestvast staal gemeten. De niveaus van de gedetecteerde ultraviolette straling waren hoog voor het beklede elektrode- en het TIG-lassen bij hogere stroomsterkten en zeer hoog voor het MIG-lassen. Dit leidt tot maximaal toelaatbare blootstellingstijden van een tiental seconden voor het beklede elektrode- en het TIG-lassen tot minder dan een seconde voor het MIG-lassen indien geen gebruik wordt gemaakt van beschermingsmiddelen. In het vooronderzoek zijn niet alle gangbare lasprocessen beschouwd. Zo zijn onder meer geen metingen verricht voor het TIG-lassen met helium als beschermgas, het MIG-lassen van aluminium en het MAG-lassen met CO<sub>2</sub> als beschermgas.

In het vervolgonderzoek zijn metingen verricht bij deze processen. Gezien de vrij extreme irradiantieniveaus bij het MIG-lassen is daarbij vooral aandacht geschonken aan dit proces.

De metingen van de irradiantieniveaus hebben plaatsgevonden met een scannende spectroradiometer waarmee de spectrale irradiantie van 240 tot 800 nm kan worden gemeten en een radiometer. In tegenstelling tot het vooronderzoek waarbij alleen de radiometer met een spectrale gevoeligheid die vrij goed overeenkomt met de spectrale effectiviteitscurve volgens de ACGIH is toegepast, kunnen ook de irradiantieniveaus in het UV-A-gebied in kaart worden gebracht. Daarnaast kan met behulp van de spectroradiometer informatie worden verkregen over de samenstelling van het door de lasboog- en smeltbad uitgezonden spectrum. Uitgaande van het gemeten spectrum kan bovendien elke gewenste weging met een biologische effectiviteitscurve worden uitgevoerd.

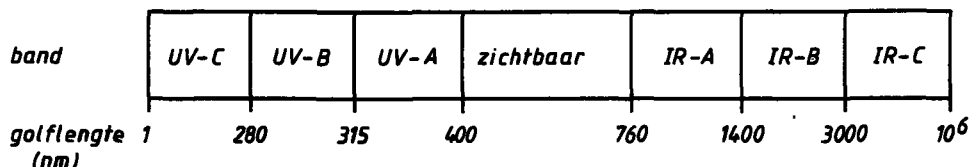
Het uiteindelijke doel van het vervolgonderzoek is te komen tot concept-richtlijnen voor het verantwoord werken bij het lassen. De vastgelegde irradiantieniveaus vormen, op basis van toetsing aan normen met betrekking tot blootstelling aan ultraviolette straling, de basis voor de gewenste voorzieningen en middelen ter voorkoming van te hoge exposities.



## 2. ULTRAVIOLETTE STRALING, MENS EN NORMEN

### 2.1 HET GOLFLENGTEGEBIED

Bij lasprocessen komt naast het bekende "felle" blauw/witte licht ultraviolette straling en infrarode straling vrij. De betreffende golflengtegebieden zijn weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Spectrale banden.

Ultraviolette straling beslaat het golflengtegebied van 1 tot 400 nm. Ultraviolette straling wordt veelal onderverdeeld in de volgende spectrale intervallen:

- 1 - 280 nm : UV-C
- 280 - 315 nm : UV-B
- 315 - 400 nm : UV-A

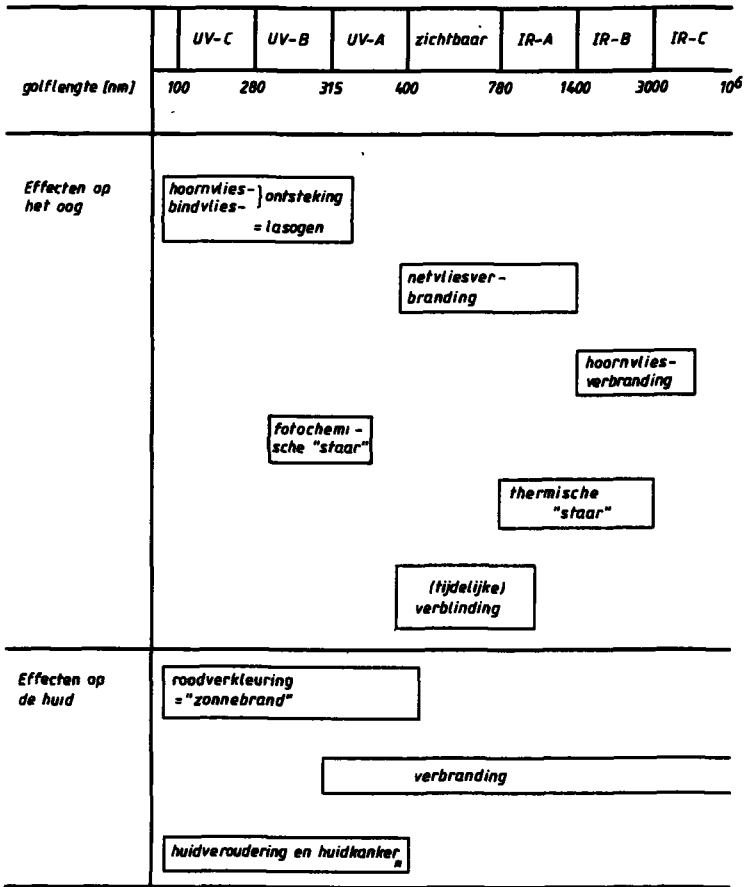
Straling met golflengten kleiner dan 200 nm wordt snel in lucht geabsorbeerd en vormt in het algemeen geen biologisch gevaar. Het spectrale gebied van 200 tot 315 nm wordt in verband met de fotochemische effecten ook wel aangeduid als het actinische gebied.

Een maat voor de ontvangen straling per tijdseenheid is de (hemisferische) irradiantie  $E$ . Dit is de stralingsdichtheid die invalt op een oppervlakte-element uit de (halve) ruimte erboven; eenheid:  $W/m^2$ .

Op dezelfde wijze wordt ook de spectrale of monochromatische (hemisferische) irradiantie  $E_\lambda$  gedefinieerd; dat is de irradiantie in het golflengtegebiedje tussen  $\lambda$  en  $\lambda + d\lambda$ ; eenheid  $W/m^3$  ( $W/m^2 \text{ nm}$ ).

En dus:

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} \quad \text{of} \quad E = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda$$



Figuur 2.2 Mogelijke gezondheidsrisico's van verschillende soorten straling.  
\* Vermoedelijke effecten

De irradiantie geïntegreerd over de blootstellingstijd geeft de totaal ontvangen stralingsdosis per m<sup>2</sup> (J/m<sup>2</sup>).

$$H = \int_0^t Edt.$$

## 2.2 BIOLOGISCHE EFFECTEN

De bij lasprocessen vrijkomende straling kan in bepaalde weefsellagen doordringen afhankelijk van de golflengte van de straling. Infrarode en ultraviolette straling hebben daardoor verschillende biologische effecten tot gevolg.

In figuur 2.2 is een overzicht gegeven van mogelijke gezondheidsrisico's van straling uit de verschillende golflengtegebieden.

Zichtbaar licht en infrarode straling kunnen thermische aandoeningen tot gevolg hebben. Absorptie van de straling in een weefsellaag veroorzaakt veranderingen in de lage energieniveaus van de moleculen in de weefselcellen. Dit heeft een temperatuurverhoging tot gevolg. Een verbranding treedt op wanneer in korte tijd meer energie wordt toegevoerd dan kan worden afgevoerd. Thermische effecten treden vaak direct op en zijn afhankelijk van zowel dosis als irradiantie. Absorptie van zichtbare en ultraviolette straling veroorzaken grotere veranderingen in de energieniveaus. De geabsorbeerde energie kan gebruikt worden voor een fotochemische reactie: het breken of formeren van een chemische binding. De moleculen veranderen hierdoor structureel (breking van sulfidebindingen, veranderingen in DNA etc.).

Een karakteristieke eigenschap van fotochemische aandoeningen is dat ze in het algemeen uitsluitend afhankelijk zijn van de totale stralingsdosis en niet van de irradiantie (een stralingsdosis door een bepaalde irradiantie gedurende een lange tijdsduur geeft hetzelfde effect als dezelfde dosis door een hoge irradiantie gedurende een korte tijdsduur). Dit geldt over een groot bereik van de irradiantie. Onderstaand wordt nader ingegaan op de biologische effecten op huid en ogen.

### 2.2.1 Biologische effecten op de huid

#### Erytheemvorming

De biologische reacties van de huid op korte termijn op blootstelling aan ultraviolette straling zijn in het algemeen herstellende en beschermende reacties. Een te grote dosis ultraviolette straling leidt tot erytheemvorming, het rood worden van de huid. Dit is een ontsteking, met andere woorden een mechanisme om vreemde elementen uit het weefsel te verwijderen. De vreemde elementen zijn in dit geval niet van buitenaf ingedrongen maar worden gevormd door de door fotochemische reacties ontstane producten.

Na de blootstelling kan na enkele minuten al een lichte roodheid ontstaan. De belangrijkste erytheemreactie wordt echter pas na enkele uren waargenomen ("zonnebrand"). Deze vertraagde reactie bereikt zijn maximum 12 tot 24 uur na de blootstelling en verdwijnt in een paar dagen. Het is met name de UV-C en UV-B-straling die erytheem veroorzaakt.

De beschermende reacties van de huid bestaan hoofdzakelijk uit het dikker worden van de epidermis (opperhuid) en pigmentvorming (de verhoogde productie van melanine).

### Huidveroudering en huidkanker

Chronische blootstelling aan overmatige ultraviolette straling kan leiden tot versnelde huidveroudering en mogelijk huidkanker.

Het is erg moeilijk exact aan te geven wat het kwantitatieve verband is tussen UV-stralingsdoses en het eventuele ontstaan van huidkanker. Er is veel onzekerheid over welke mechanismen de kanker veroorzaken (bijvoorbeeld fouten in of het ontbreken van DNA-reparatiemechanismen) en over golflengten die het meest effectief zijn in het veroorzaken van kanker (het actiespectrum).

### Bruining

Onder invloed van UV-B en UV-A-straling kan, afhankelijk van de pigmentering van de betreffende persoon, een bruining van de huid optreden.

### Vitamine D-productie

UV-B-straling stimuleert de vitamine-D-productie in de huid. Vitamine D is onder andere belangrijk voor de calciumhuishouding en de stofwisseling in het lichaam.

## 2.2.2 Biologische effecten op het oog

### Het hoornvlies

Straling uit het UV-B- en UV-C-gebied wordt grotendeels geabsorbeerd door het bindvlies (de conjunctiva) en het hoornvlies (de cornea). De acute effecten van overmatige blootstelling aan deze straling bestaan voornamelijk uit bindvliesontsteking (conjunctivitis) en hoornvliesontsteking

(fotokeratitis). Ook nu is er een zekere periode waarna de aandoeningen pas waargenomen worden. Deze latente periode kan variëren van 30 minuten tot zelfs 24 uur, maar is meestal 6 tot 12 uur. Bekende voorbeelden van bovengenoemde aandoeningen zijn de zogenaamde lasogen en sneeuwblindheid.

Door de fotochemische oorsprong van de ontsteking is binnen redelijke grenzen uitsluitend de (te grote) opgelopen stralingsdosis op de cornea van belang; het maakt dus niet uit of deze stralingsdosis in 1 ms of in 2 uur opgelopen wordt (zie 2.2).

### De lens

Golflengten groter dan ca. 290 nm kunnen de cornea passeren en de lens en de iris bereiken. De straling uit het UV-B en UV-A-gebied die de lens bereikt wordt daar grotendeels geabsorbeerd en kan lokaal ondoorlaatbaarheden van de lens tot gevolg hebben (staar). Deze troebelingen ten gevolge van acute blootstellingen blijven slechts enkele dagen bij lage doses [8.3].

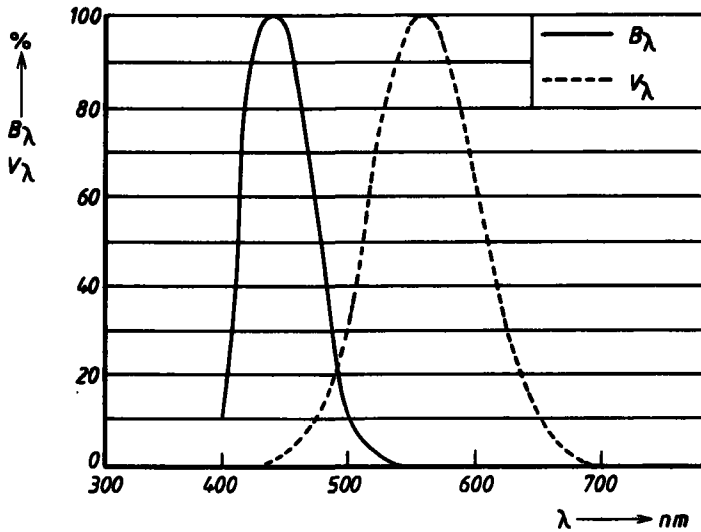
Daarentegen wordt verondersteld ([4], [5]) dat een chronische blootstelling op lange termijn tot blijvende cataract zou kunnen leiden, en dat de effecten van ultraviolette straling op de lens mogelijk cumulatief zijn.

Naast bovengenoemde fotochemische staar leidt infrarode straling mogelijk tot staar door thermische oorzaak.

### Het netvlies

Zichtbare en nabij infrarode straling worden afgebeeld op het netvlies. Voor bronnen met een zeer hoge intensiteit kan de absorptie van deze straling in het netvlies tot thermische schade leiden. Daarnaast kan het licht in het golflengtegebied van ca. 400 tot 500 nm fotochemische aandoeningen tot gevolg hebben. Dit zogenaamde blauw licht gevaar (Blue Light Hazard) is sterk afhankelijk van de golflengte. Het actiespectrum, de golflengten die het meest effectief zijn, is geschetst in figuur 2.3.

De grootte van de bron voor alle praktische toegepaste lasprocessen is zo klein en de bijbehorende spectra zijn zodanig dat de veiligheidsmarge voor het blauw licht gevaar kleiner is dan de veiligheidsmarge voor netvliesverbranding [6].



Figuur 2.3 Relatieve spectrale weegfuncties voor bronnen met een breedgolflengtegebied.

$B_\lambda$  = blauw licht actiespectrum van het netvlies  
 $V_\lambda$  = relatieve spectrale ooggevoeligheid

Ontsteken of doven van de boog vergt een aanpassing van de pupil aan de veranderende lichtsterkte. Gedurende dit moment is het gezichtsvermogen korte tijd onvoldoende.

Veelvuldige blootstelling aan de lichtflits bij het ontsteken van de boog vergt veelvuldige aanpassing van de pupilgrootte. Na verloop van jaren kan dit aanpassingsvermogen verminderen. Dit uit zich dan bijvoorbeeld als nachtblindheid omdat de pupilgrootte niet meer voldoende aan het duister kan worden aangepast. Deze kans op vermindering van het aanpassingsvermogen van de pupil op de lange termijn is groter als veel hechtwerk moet worden verricht, waarbij geen oogbeschermende middelen worden gebruikt.

### 2.3 GRENSWAARDEN

De potentiële risico's van de bij las- en snijprocessen vrijkomende straling bestaan voornamelijk uit de ultraviolette straling- en het blauwe licht gevaar. Binnen dit onderzoek lag de nadruk op de ultraviolette straling.

### 2.3.1 ACGIH-grenswaarden

De gevoeligheid van de huid en van het oog voor ultraviolette straling, en daarmee de mate van opgelopen schade, zijn afhankelijk van de golflengte van de ontvangen straling.

Omdat voor een niet-geacclimatiseerde "witte" huid de (van de frequentie afhankelijke) grenswaarden voor de ultraviolette stralingsbelasting waarboven letsel optreedt niet veel afwijken van die van het oog, is het mogelijk één spectrale curve als weegfunctie te gebruiken. Internationaal het meest gebruikt [7] is de weegfunctie (voor niet-chronische blootstelling) samengesteld door de "American Conference of Governmental Industrial Hygienists" (ACGIH) [8]. Deze weegfunctie bevat de golflengten die het meest effectief zijn in het veroorzaken van oogletsel (piek bij 270 nm) en in het veroorzaken van huidletsel (piek bij 297 nm). De niveaus van een aangeboden spectrum kunnen bij diverse golflengten met deze curve gewogen worden naar biologische (schade)belangrijkheid (voor oog én huid).

Deze weegfunctie is verwerkt in de grenswaarden voor ultraviolette stralingsbelasting, de TLV's (Threshold Limit Values), van de ACGIH.

De hierin aanbevolen dagelijkse grenswaarden van blootstelling aan UV-straling zijn [8.8]:

- Voor het UV-A-gebied (315-400 nm):

Voor blootstellingstijden  $t > 10^3$  s (ca. 16 minuten) is de aanbevolen maximale irradiantie invallend op onbeschermdde huid of ogen:

$$E_{\max} = 10 \text{ W/m}^2.$$

Voor blootstellingstijden  $t < 10^3$  s is de aanbevolen maximaal ontvangen stralingsenergiedichtheid  $10^4 \text{ J/m}^2$ .

- Voor het UV-B- en UV-C-gebied (200-315 nm):

De aanbevolen dagelijkse limietwaarden voor de stralingsenergiedichtheid op onbeschermdde huid en ogen voor een monochromatische stralingsbron zijn getabelleerd weergegeven in tabel 2.1.

Voor de bepaling van de effectieve irradiantie  $E_{\text{eff}}$  van een bron met een breed golflengtespectrum wordt de hierboven besproken weegfunctie of relatieve spectrale effectiviteitscurve  $S_{\lambda}$  gebruikt. Deze is samengesteld aan de hand van de limietwaarden voor monochromatische bronnen en gerelateerd aan de piekgevoeligheid bij 270 nm. Deze effectiviteitscurve is getabelleerd in de derde kolom van tabel 2.1 en ter illustratie weergegeven in figuur 2.4.

**Tabel 2.1** De dagelijkse limietwaarden voor een monochromatische bron en de relatieve spectrale effectiviteit [8].

Golflengte	Aanbevolen limietwaarde	Relatieve spectrale effectiviteit
nm	(J/m <sup>2</sup> )	(S <sub>λ</sub> )
200	1000	0,030
210	400	0,075
220	250	0,12
230	160	0,19
240	100	0,30
250	70	0,43
254	60	0,50
260	46	0,65
270	30	1,00
280	34	0,88
290	47	0,64
300	100	0,30
305	500	0,06
310	2000	0,015
315	10000	0,003



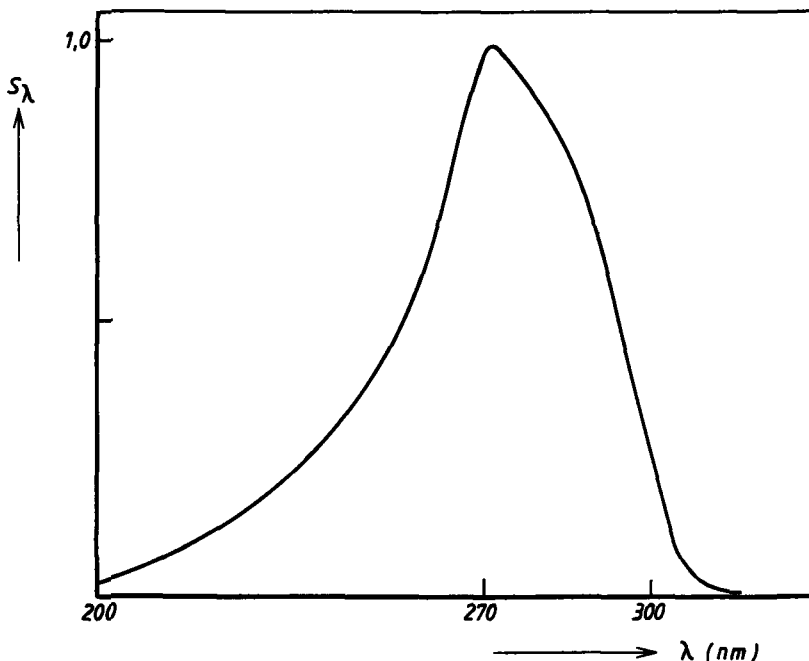


Fig. 2.4 De relatieve spectrale effectiviteitscurve.

De effectieve irradiantie (gerelateerd aan een monochromatische bron van 270 nm) kan nu worden bepaald volgens:

$$E_{\text{eff}} = \int_{\lambda} E_{\lambda} S_{\lambda} d\lambda \quad (\text{W/m}^2)$$

Of, met gebruikmaking van golflengte-intervalletjes:  $E_{\text{eff}} = \sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$ . De aanbevolen grenswaarde voor de effectieve ultraviolette stralingsbelasting is  $30 \text{ J/m}^2$  in maximaal 8 uur. Dit komt overeen met een continue effectieve irradiantie van  $10^{-3} \text{ W/m}^2$ .

Voor hogere stralingsstroombichtheden is de aanbevolen maximale blootstellingstijd te berekenen via:

$$t_{\text{max}} = \frac{30 \text{ (J/m}^2\text{)}}{E_{\text{eff}} \text{ (W/m}^2\text{)}} \quad (\text{s})$$

Figuur 2.5 geeft deze relatie in visuele vorm. Hierin is voor iedere effectieve irradiantie direct de aanbevolen maximale blootstellingstijd af te lezen. Bij de hier gegeven grenswaarden en maximale blootstellingstijden is

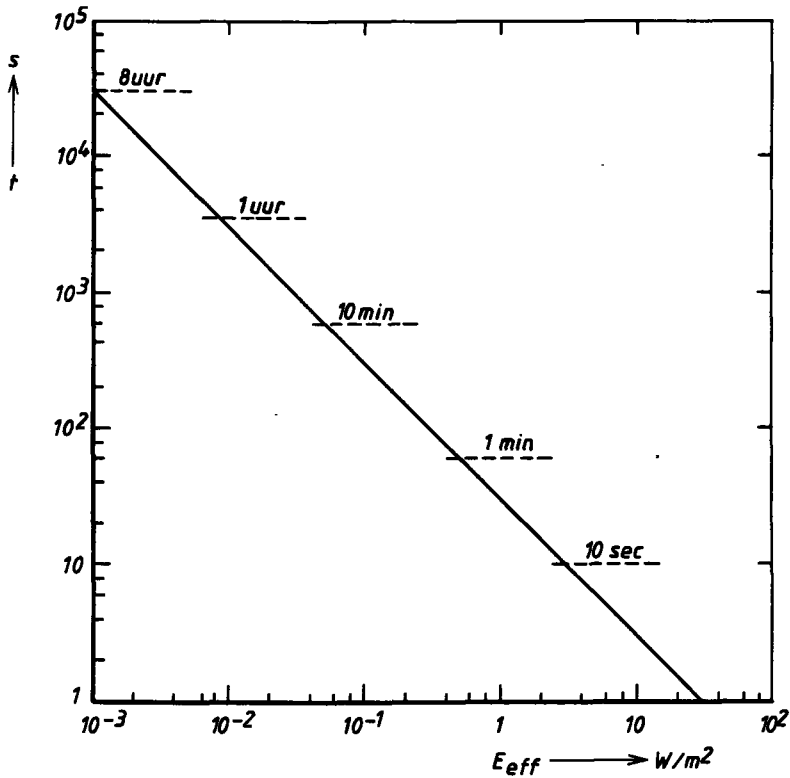


Fig. 2.5 De maximale blootstellingstijd als functie van de effectieve radiantie.

geen rekening gehouden met mogelijke schadelijke effecten op langere termijn.

Ten aanzien van de grenswaarden in het UV-A-gebied wekt het bevreemding dat bij irradiantieniveaus kleiner dan  $10$   $W/m^2$  het dosis-principe is losgelaten. De verklaring hiervoor wordt gegeven door Sliney et al. [9]. De grenswaarde voor de stralingsdosis bij blootstellingstijden korter dan  $10^4$  s is gebaseerd op het voorkomen van een te hoge thermische belasting van het oog. De eis van  $10$   $W/m^2$  bij blootstellingstijden langer dan  $10^4$  s is gebaseerd op ervaringen met werknemers blootgesteld aan UV-A-straling en de UV-A-stralingsdosis nodig om erytheem te veroorzaken ( $20$   $J/cm^2$  in 8 uur geeft  $0,7$   $W/m^2$ ).

### 2.3.2 Grenswaarden van de Gezondheidsraad

Door de Gezondheidsraad [10] worden eveneens grenswaarden voor de blootstelling aan ultraviolette straling gegeven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen bedoelde blootstelling (bruining, medische behandeling) en onbedoelde blootstelling (in het arbeidsproces). Voor de onbedoelde blootstelling wordt, overeenkomstig de ACGIH, een maximaal toelaatbare dagelijkse effectieve stralingsdosis op de huid en de ogen van  $30 \text{ J/m}^2$  aanbevolen. Deze grenswaarde is volgens de commissie van de Gezondheidsraad ook aanvaardbaar in verband met de lange termijn blootstelling. Daarbij heeft men zich gebaseerd op het verschil in blootstelling tussen buitenwerkers en binnenwerkers. Het voor de bepaling van de effectieve stralingsdosis te hanteren actiespectrum (weegfunctie) wijkt enigszins af van het door de ACGIH voorgestelde actiespectrum. Het door de Gezondheidsraad voorgestelde actiespectrum neemt ook de bijdrage van de golflengtegebieden tussen 180 en 200 nm en tussen de 315 en 400 nm (UV-A-gebied) mee in de bepaling van het effectieve stralingsniveau. Beneden 310 nm is het actiespectrum gelijk aan het erytheemactiespectrum.

De aanbevolen limietwaarden voor de stralingsenergiedichtheid op onbeschermde huid en ogen voor een monochromatische stralingsbron worden gegeven in tabel 2.2. In deze tabel is eveneens het op 270 nm genormeerde actiespectrum voor de bepaling van de effectieve irradiantie van een bron met een breed golflengtespectrum gegeven. Bepaling van de effectieve irradiantie en maximaal toelaatbare blootstellingstijden gebeurt op de in 2.3.1 aangegeven wijze.

In verband met het risico van staarvorming als gevolg van blootstelling aan UV-A-straling wordt door de Gezondheidsraad een richtwaarde voor de (ongewogen) bestralingssterkte in het UV-A-gebied van  $1 \text{ W/m}^2$  aanbevolen. Deze waarde is gebaseerd op de diffuse bestralingssterkte op het oog in de buitenlucht.

In figuur 2.6 zijn de aanbevolen toelaatbare stralingsdosis volgens de ACGIH (onderbroken lijnen) en de Gezondheidsraad (onderbroken lijn tot 315 nm en getrokken lijnen van 315 tot 400 nm) met de corresponderende toelaatbare effectieve irradiantie voor een blootstelling gedurende acht uur gegeven.

**Tabel 2.2** De limietwaarden voor een monochromatische bron en de relatieve spectrale effectiviteit [10].

Golflengte nm	Aanbevolen limietwaarde (J/m <sup>2</sup> )	Relatieve spectrale effectiviteit (-)
180	1000	0,03
190	1000	0,03
200	1000	0,03
205	590	0,051
210	400	0,075
215	320	0,095
220	250	0,12
225	200	0,15
230	160	0,19
235	130	0,24
240	100	0,30
245	83	0,36
250	70	0,43
254	60	0,50
255	58	0,52
260	46	0,65
265	37	0,81
270	30	1,00
275	31	0,96
280	34	0,88
285	39	0,77
290	47	0,64
295	56	0,54
297	65	0,46
300	100	0,30
303	250	0,12
305	500	0,69x10 <sup>-1</sup>
308	1200	0,26x10 <sup>-1</sup>
310	2000	0,15x10 <sup>-2</sup>
313	4300	0,69x10 <sup>-2</sup>
315	7200	0,42x10 <sup>-2</sup>
320	2,7x10 <sup>4</sup>	0,11x10 <sup>-3</sup>
325	6,3x10 <sup>4</sup>	0,48x10 <sup>-3</sup>
330	8,9x10 <sup>4</sup>	0,34x10 <sup>-3</sup>
335	1,1x10 <sup>5</sup>	0,28x10 <sup>-3</sup>
340	1,3x10 <sup>5</sup>	0,23x10 <sup>-3</sup>
345	1,5x10 <sup>5</sup>	0,20x10 <sup>-3</sup>
350	1,7x10 <sup>5</sup>	0,18x10 <sup>-3</sup>
355	1,9x10 <sup>5</sup>	0,16x10 <sup>-3</sup>
360	2,3x10 <sup>5</sup>	0,13x10 <sup>-3</sup>
365	2,9x10 <sup>5</sup>	0,11x10 <sup>-4</sup>
370	4,1x10 <sup>5</sup>	0,74x10 <sup>-4</sup>
375	6,2x10 <sup>5</sup>	0,49x10 <sup>-4</sup>
380	7,8x10 <sup>5</sup>	0,39x10 <sup>-4</sup>
385	8,3x10 <sup>5</sup>	0,36x10 <sup>-4</sup>
390	8,9x10 <sup>5</sup>	0,34x10 <sup>-4</sup>
395	9,4x10 <sup>5</sup>	0,32x10 <sup>-4</sup>
400	1,0x10 <sup>6</sup>	0,30x10 <sup>-4</sup>

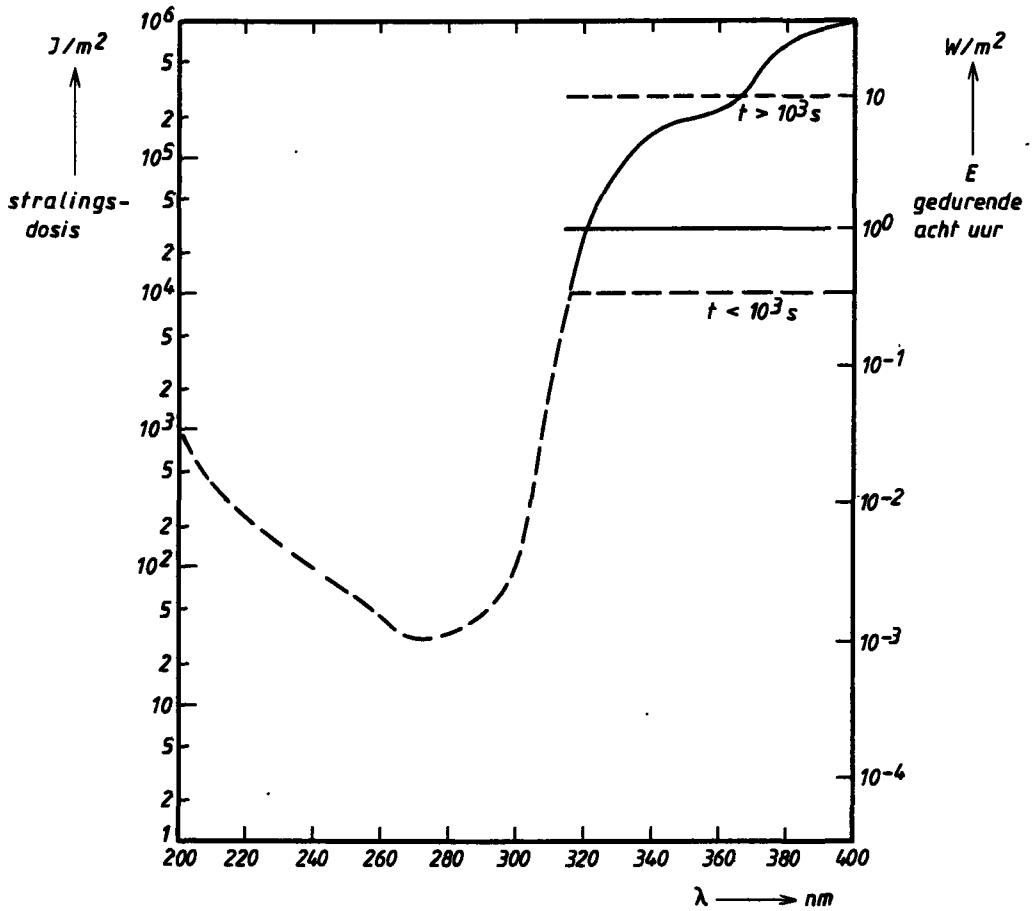


Fig. 2.6 Aanbevolen maximaal toelaatbare stralingsdosis. De onderbroken lijnen geven de aanbevolen maximaal toelaatbare stralingsdoses volgens de ACGIH. De getrokken lijnen geven de door de Gezondheidsraad aanbevolen waarden.

### 3. MEETMETHODIEK

#### 3.1 PARAMETERS

Niveau en verdeling van de spectrale irradiantie van de door een lasboog uitgezonden straling zijn afhankelijk van vele parameters. Invloedrijke parameters zijn (zie ook [2]):

- het lasproces zelf (methode, lassnelheid, grootte en vorm van de smelt);
- de stroomsterkte;
- de boogspanning;
- de booglengte;
- aanwezige materialen zoals:
  - . het beschermgas (de grootte van het debiet en de soort)
  - . het toevoegmateriaal (elektrode, staaf of draad)
  - . het grondmateriaal
- meetomstandigheden zoals:
  - . de oriëntatie ten opzichte van de lasboog
  - . de afstand tot de lasboog
  - . de ventilatie (de vrijkomende lasrook kan de ultraviolette straling absorberen)
  - . de lasgeometrie (een hoeklas (reflectie), een vlakke las).

In het onderzoek zijn de invloeden van - een deel van - deze parameters op de uitgezonden ultraviolette straling bepaald. Hierbij wordt opgemerkt dat wanneer een goede las gelegd dient te worden de parameters niet als onafhankelijk beschouwd kunnen worden. Zo is de boogspanning afhankelijk van de stroomsterkte en zal een hogere stroomsterkte een grotere elektrode- of draaddiameter vragen. Bij de metingen werden bij elke combinatie de parameters zodanig door een ervaren lasser van het Metaalinstituut ingesteld dat een goede las ontstond.

De relatie stroomsterkte-boogspanning is met name bij het MIG-MAG-lasproces van belang. Vorm en grootte van de overgaande druppel en daarmee het uitgezonden spectrum zijn afhankelijk van de combinatie van stroomsterkte en boogspanning. In figuur 3.1 zijn de verschillende te onderscheiden gebieden weergegeven.

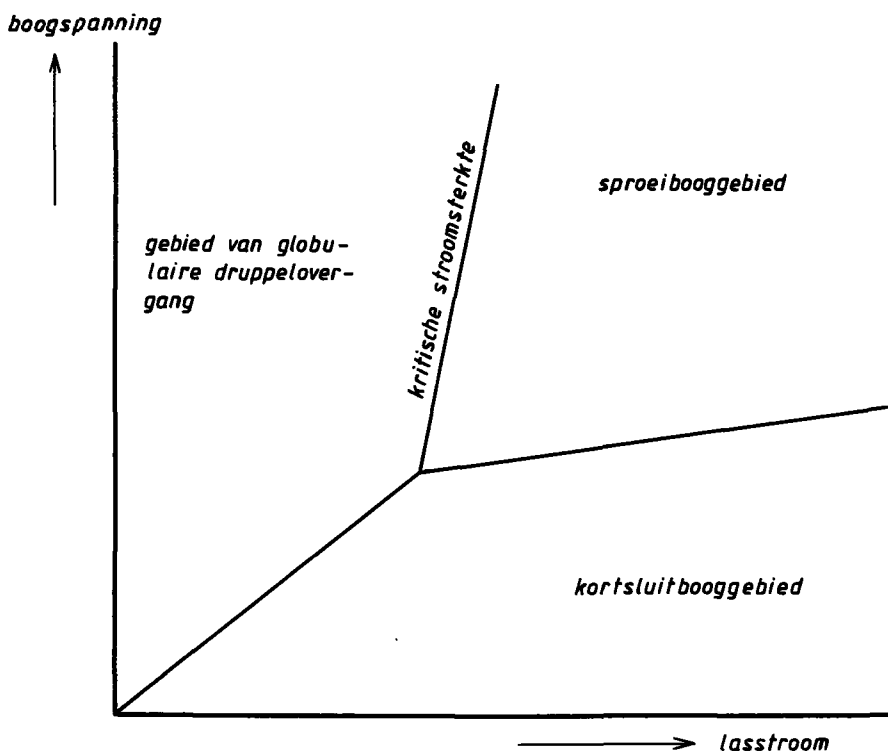


Fig. 3.1 Schematische weergave van de verschillende druppelovergangen in afhankelijkheid van de boogspanning.

Het toegepaste beschermgas en het materiaal bepalen de ligging van de overgangen tussen de gebieden.

De gebieden van de globulaire druppelovergang (verder te noemen globulairgebied) en het sproeihooggebied worden gekenmerkt door het feit dat er vrije druppelovergang plaatsvindt waarbij de druppels (gesmolten draad) zich vrij in de boogruimte bevinden en geen kortsluitingen veroorzaken tussen lasdraad en smeltbad. Het globulairgebied wordt gekenmerkt door een relatief gering aantal druppel met een groot volume; het sproeihooggebied door een groot aantal druppels met een gering volume. Een scherpe overgang (bij de kritische stroomsterkte) vindt plaats bij menggassen ( $\text{Ar}/\text{O}_2$ ,  $\text{Ar}/\text{CO}_2$ ). Bij enkel  $\text{CO}_2$  als beschermgas is er geen duidelijke scheiding tussen globulair gebied en sproeihooggebied.

In het kortsluitbooggebied treedt, zoals de naam al aanduidt, kortsluiting van de boog op doordat de druppel die zich aan het draadeinde vormt contact maakt met het smeltbad.

Tijdens dit kortsluitmoment dooft de boog. De temperatuur in het draadeinde stijgt en ten gevolge van de stroom in de draad treedt een insnoereffect op waardoor de druppel wordt afgeknepen. Door het afsmelten van de druppel ontsteekt de boog opnieuw. Er ontstaat op deze manier een situatie waarin de kortsluitmomenten en de momenten waarin een boog aanwezig is elkaar regelmatig opvolgen. De kortsluitfrequenties variëren van 100-200 per seconde voor dunne draad (0,8 mm) tot 50-100 per seconde voor dikke draad (1,2-1,6 mm).

Het kortsluitbooglassen geeft over het algemeen een onrustigere boog dan bij de globulaire druppelovergang en de sproei-boogdruppelovergang.

Het was uit financiële en lastechnische overwegingen niet mogelijk om alle effecten van mogelijke parametercombinaties te onderzoeken. In het onderzoek zijn de volgende parameters bij de verschillende processen gevarieerd:

- Elektrode lassen

- . stroomsterkte
- . elektrode type (rutiel/basisch)
- . grond- en elektrodemateriaal (staal/roestvast staal);

- TIG-lassen

- . stroomsterkte
- . draadmateriaal (roestvast staal/aluminium)
- . grondmateriaal (roestvast staal/aluminium)
- . beschermgas (argon/helium)
- . afstand (0,5/1,0/1,5/2,0 m)
- . oriëntatie;

- MIG-MAG-lassen

- . stroomsterkte
- . draadmateriaal (staal/roestvast staal/aluminium/aluminiumlegeringen)
- . draadtype (blanke draad/gevulde draad)
- . grondmateriaal (staal/roestvast staal/aluminium/aluminiumlegeringen)
- . beschermgas (argon/helium/argon-CO<sub>2</sub>/argon-O<sub>2</sub>/argon-H<sub>2</sub>)



Bij alle processen werd een las gelegd op een vlakke ondergrond en werd een afzuiging van de lasrook direct bij de lasboog toegepast.

## 3.2 MEETOPSTELLING

### 3.2.1 Lassimulatie-opstellingen

De metingen van de stralingsniveaus bij de diverse lasprocessen zijn uitgevoerd bij het Metaalinstituut TNO te Apeldoorn. Voor het beklede elektroden en het MIG/MAG-lassen is daarbij gebruik gemaakt van een door het Metaalinstituut ontworpen en gebouwde automatische lasopstelling (zie figuur 3.2).

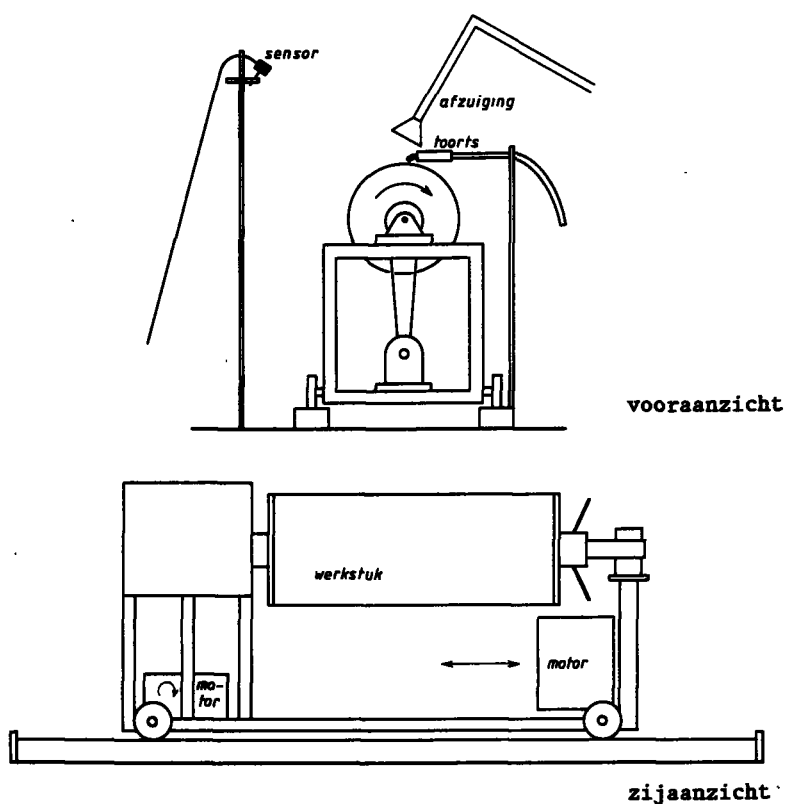


Fig. 3.2 Meetopstelling.

Bij deze opstelling bestaat het werkstuk uit een roterende watergekoelde pijp (diameter 30 cm). Deze pijp is gemonteerd op een elektrisch aangedreven wagentje op rails. Hiermee kan een lineaire verplaatsing worden gemaakt. Door de lasboog (en daarmee lastoorts) op dezelfde positie te houden wordt er een las in de vorm van een schroefdraad op de pijp gelegd. Als lasgereedschap is ten behoeve van het MIG/MAG-lassen gebruik gemaakt van een luchtgekoelde, semi-automatische lastoorts die in een statief is geplaatst. Bij het elektrode lassen is een automatische opstelling voor het lassen van elektroden toegepast.

Het grote voordeel bij het gebruik van deze opstelling schuilt in het feit dat de lasboog ruimtelijk op dezelfde plaats blijft waardoor de positionering van de stralingssensor nauwkeurig kan geschieden. In figuur 3.2 is een schematische weergave van de opstelling gegeven.

Bij de metingen werd de afzuiging ten behoeve van de lasrook zo dicht mogelijk bij de lasboog geplaatst zonder dat zij afscherming van de straling veroorzaakte.

Naast de metingen van de automatische opstelling voor het elektrode-lassen zijn metingen verricht bij het lassen van elektrode met de hand. Hierbij werd de elektrode in verband met de plaatsdefiniëring ten opzichte van de sensor over een zo gering mogelijke afstand verplaatst gedurende de 30 seconden van de stralingsmeting.

Voor het TIG-lassen is eveneens uitgegaan van het lassen met de hand met een nagenoeg constante positie van de toorts en lasboog.

### 3.2.2 Apparatuur

De metingen van de spectrale irradiantie zijn uitgevoerd met een scannende spectroradiometer SR 3010 van Macam Photometrics Ltd. Hiermee kan de spectrale irradiantie (stralingsvermogensdichtheid [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\text{ nm}^{-1}$ ]) worden gemeten van 220 nm tot 800 nm.

De spectroradiometer scant met een snelheid van 20 nm/s. De complete meetset is schematisch weergegeven in figuur 3.3. De straling wordt ingevangen met een detector bestaande uit een flexibele kwartsfiberbundel met een doorsnede van 7 mm<sup>2</sup>. De detector is voorzien van een cosinuscorrector en een diffuser. De kwartskabel is aangesloten op een roterend concaaf holografisch tralie dat als monochromator fungeert. Vervolgens wordt de straling gedetecteerd met een fotomultiplicatorbuis. De uitgangsstroom van de fotomultiplicator wordt vervolgens versterkt en gecorrigeerd in verband met de varië-

rende gevoeligheid van het optische systeem met golflengte. De bandbreedte voor het optische systeem bedraagt 2,5 nm. De spectroradiometer is via een scanner/voltmeter (3497 A Data acquisition/control unit van Hewlett Packard) verbonden met een personal computer (Hewlett Packard 9816) waarmee de meetopstelling bestuurd wordt en waarmee de meetgegevens op floppy-disc worden opgeslagen. De meetgegevens zijn zo beschikbaar voor latere verwerking.

De verwerking van de metingen omvatte de volgende delen:

- het plotten van de spectrale irradiantie als functie van de golflengte in 5 nm-banden;
- de berekening van de effectieve irradiantie volgens de ACGIH en volgens de Gezondheidsraad;
- de berekening van de irradiantie in het UV-A-gebied.

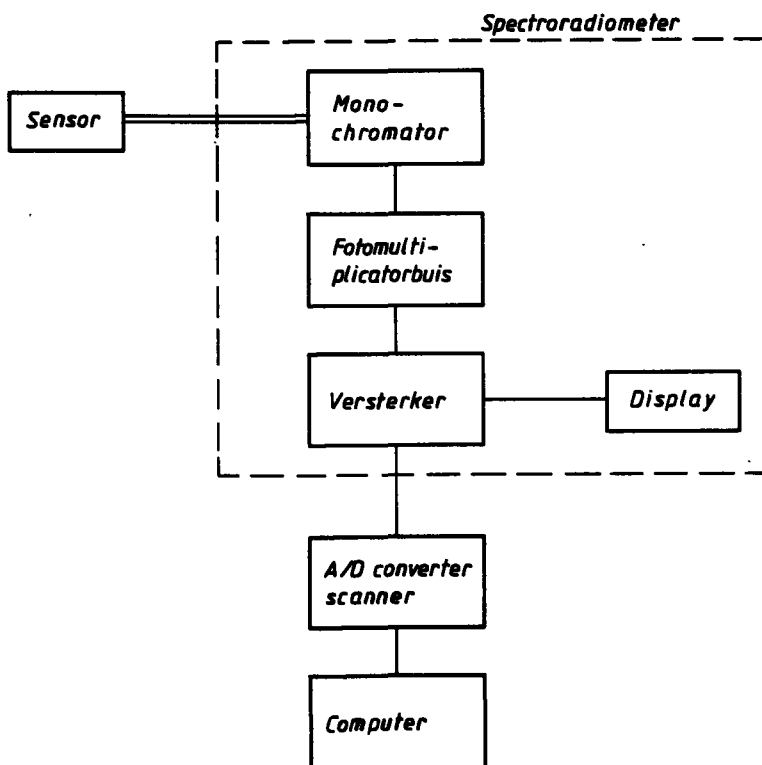


Fig. 3.3 Schema meetset met spectroradiometer.

Bij de metingen is het zeer belangrijk dat de sensor op de stralingsbron is gericht. Het gebruik van de cosinuscorrector vermindert de afhankelijkheid van de invalshoek van de straling beduidend. De afwijking van de gemeten irradiantie bij een afwijking van de uitlijning is evenredig met de cosinus van de hoek tussen de stralingsrichting en de normaal van het sensoroppervlak.

Bij het lasproces ontstaat vaak een spatregen van gloeiende metaaldeeltjes. Wanneer deze metaaldeeltjes het sensorvlak treffen vindt er een inbranding plaats en worden er plaatselijke ondoorlatendheid gevormd. Hierdoor zou op den duur de nauwkeurigheid van de metingen sterk kunnen teruglopen. Om dit te voorkomen is er gekozen voor de plaatsing van een vervangbaar kwartsglasje (dik 2 mm) direct voor de sensor. Kwartsglas laat ultraviolette straling tot golflengten van circa 200 nm vrij goed door. De doorlatingscoëfficiënt van de toegepaste kwartsglasjes is met behulp van een spectrofotometer Pye Unicam SP8-400 UV/VIS bepaald van 220 tot 800 nm in klassen van 5 nm. De correctie van de meetwaarden voor de doorlatingscoëfficiënt wordt in diverse verwerkingsprogramma's met de computer doorgevoerd.

Vanwege het onder invloed van de diverse parameters fluctuerende stralingsniveau bij een bepaald lasproces zijn per parametercombinatie minimaal drie metingen van het spectrum uitgevoerd. Naast de metingen met de spectroradiometer zijn er directe waarden van de effectieve ultraviolette stralingsniveaus volgens de ACGIH-weging verkregen met de reeds in het vooronderzoek toegepaste radiometer IL730A UV actinic radiometer van International Light. De radiometer bestaat uit een solar blind vacuum photodiode sensor (SEE240) voorzien van een actinic filter ACTS270, een kwartsdiffuser, en een blocking filter BLK270 (ten behoeve van correctie van strooi-straling) en een IL700A research radiometer met een PIR-set (peak calibration response calibration set). De spectrale gevoeligheid van de sensor (fotodiode + actinisch filter + diffuser) loopt van 235 tot 300 nm en is speciaal ontworpen om aan de ACGIH-wegingscurve te voldoen.

Voor een bron met een continu en breed golflengtespectrum is er een goede overeenkomst (binnen ca. 10%) tussen de responsie van deze sensor en de responsie na weging met de werkelijke effectiviteitscurve. Deze overeenkomst zal minder goed zijn in situaties waarbij intense spectraallijnen of pieken in het aangeboden spectrum samenvallen met flinke afwijkingen tussen de

sensorresponsie en de standaardeffectiviteitscurve. In het algemeen kan evenwel gesteld worden dat de spectrale gevoeligheid van de sensor voldoende nauwkeurig is om een goede schatting van het niveau van de effectieve ultraviolette straling te verkrijgen.

De sensor is niet totaal ongevoelig voor de straling uit het zichtbare en het nabije-infrarode deel van het spectrum (zie [3]). Met het blocking filter BLK270 voor de sensor geplaatst is het niveau van de toch gedetecteerde straling met golflengten groter dan 315 nm te bepalen. Dit is dan het nulniveau voor de werkelijke bepaling van de effectieve irradiantie.

Voor de meetmethode is het essentieel dat de sensor op de stralingsbron is gericht. Het gebruik van de diffuser vermindert deze afhankelijkheid van de sensor van de invalshoek van de straling, met andere woorden de kans op fouten tengevolge van een verkeerde uitlijning wordt verkleind. Bij afwijkingen van de uitlijning is de gemeten irradiantie kleiner, namelijk evenredig met de cosinus van de hoek tussen de stralingsrichting en de normaal van het sensoroppervlak.

De piekgevoeligheid van de sensor bij 270 nm is door de fabrikant geijkt volgens normen opgesteld door U.S. National Bureau of Standards (PIR).

De stralingsafgifte bij las- en snijprocessen verandert voortdurend.

Betrouwbare schattingen worden gemaakt door gebruik te maken van de integrerende mode van de IL730. Hierbij wordt de gedetecteerde stralingsstroombichtheid over een korte tijd  $\Delta t$  geïntegreerd en wordt vervolgens de gemiddelde effectieve irradiantie  $E_{\text{eff}}$  berekend via:

$$\bar{E}_{\text{eff}} = \left( \int_t^{t+\Delta t} E_{\text{eff}} dt \right) / \Delta t$$

De parameters die de plaats van de sensor in de ruimte ten opzichte van de lasboog beschrijven zijn weergegeven in figuur 3.5.

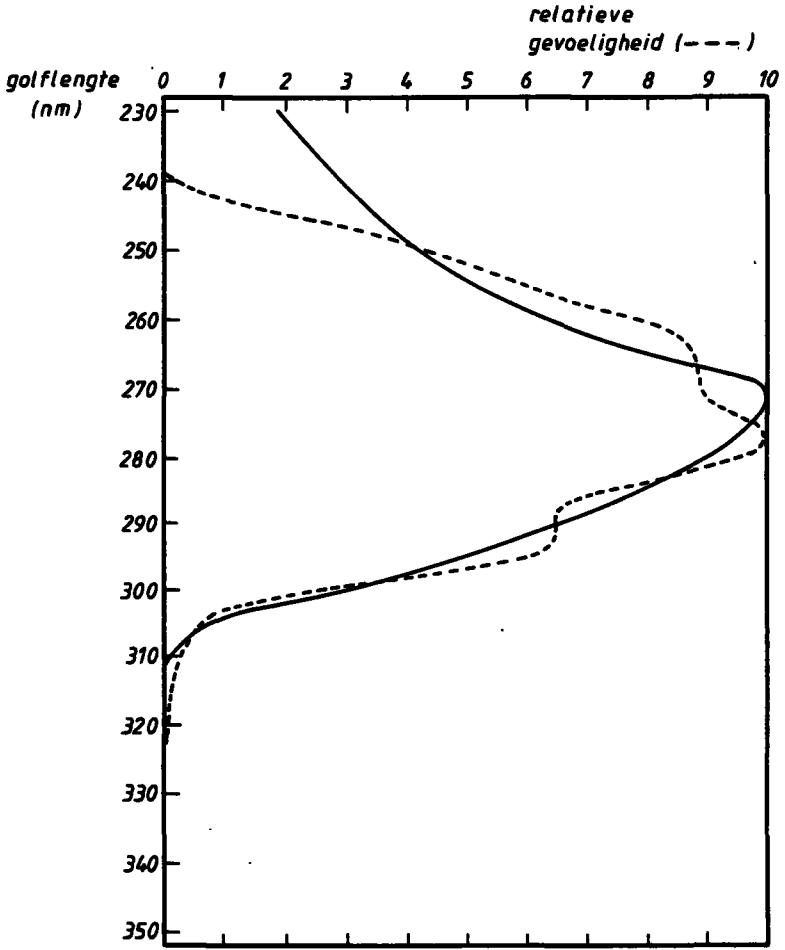


Fig. 3.4 De relatieve spectrale effectiviteitscurve (getrokken lijn) en de responsie van de IL730 radiometer (gestippeld) volgens de fabrikant.

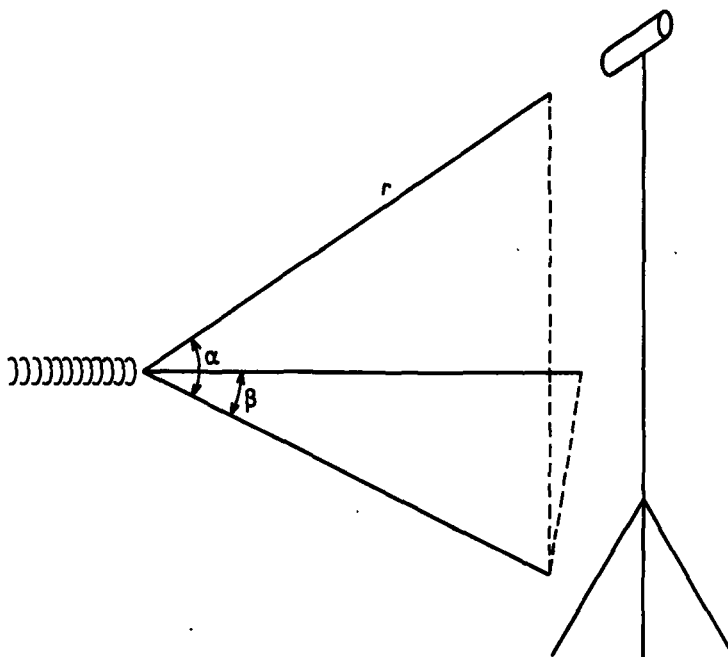


Fig. 3.5 De plaatsdefinitie van de sensor.

De drie parameters die de onderlinge relatie in de ruimte volledig vastleggen zijn:

- $r$  - de onderlinge afstand
- $\alpha$  - de hoek tussen de lijn waaronder de detector naar de boog kijkt en het horizontale vlak
- $\beta$  - de hoek tussen de projectie van de verbindingslijn detector-lasboog op het snij- of lasvlak en de snij- of lasrichting.

De irradiantie op een willekeurige plaats afkomstig van een (als puntbron opgevatte) lasboog is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand  $r$  tot de boog. De irradiantiemetingen zijn op één meter afstand van de stralingsbron gedaan, zodat volgens de  $1/r^2$ -relatie de stralingsbelasting op iedere willekeurige afstand op eenvoudige wijze te berekenen is.

De bij het lassen vrijkomende gassen en dampen kunnen in belangrijke mate de ultraviolette straling absorberen. De verzwakking van de effectieve irradiantie als functie van de afstand kan dus in werkelijkheid sterker zijn dan met de verwachte  $1/r^2$ .

Bij lasprocessen worden de maximale stralingsniveaus gemeten in het vlak door de las loodrecht op het werkstuk, in voorwaartse richting ( $\beta = 0^\circ$ ) en onder een hoek van 50 tot 60 graden met de verticaal ( $\alpha=35^\circ$ ) [9].

Bij de metingen zijn variaties in afstand en oriëntatie doorgevoerd om hun invloed op de stralingsniveaus te bepalen.

De stroomsterkte en de boogspanning gedurende elke las werden gemeten via een shunt en geregistreerd met een tweelijnenschrijver.



#### 4. LASSEN MET BEKLEDE ELEKTRODEN

Van de beschouwde lasprocessen geeft het lassen met beklede elektroden de meest intensieve fluctuaties in de vrijkomende ultraviolette straling. De sterke fluctuaties traden behalve bij het handlassen, waarvan voorbeelden zijn gegeven in [1], ook op bij het gebruik van de automatische lasopstelling zoals beschreven in hoofdstuk 3.

De fluctuaties in de stralingsafgifte zijn onder andere een gevolg van het onregelmatig loslaten van de bekleding van de elektroden en het elektrode-materiaal. De tijdschaal waarbinnen deze fluctuaties optreden varieert van korter dan een seconde tot enkele seconden. De spectroradiometer scant met een snelheid van 20 nm/s. Het gehele spectrum van 240 tot 800 nm wordt doorlopen in 28 seconden. Om de invloed van de fluctuaties in de stralingsafgifte te verdisconteren zijn er per parametercombinatie minimaal 5 metingen met de spectroradiometer uitgevoerd. Bij het handlassen treden naast de fluctuaties als gevolg van bekleding- en elektrodemateriaal ook - grotere - fluctuaties op tengevolge van het variëren van de booglengte door de lasser. Hierbij zijn variaties die een factor 2 ten opzichte van elkaar verschillen mogelijk [12].

In figuur 4.1 wordt de spectrale irradiantie bij het lassen met beklede elektrode (rutiel) van roestvast staal bij een stroomsterkte van 170A en een boogspanning van 32 V. De spectrale irradiantie is gegeven voor golflengte-intervallen met een breedte van 5 nm.

Het spectrum wordt gekenmerkt door een continuüm met daarop gesuperponeerd een groot aantal pieken. Deze pieken zijn toe te schrijven aan de spectraallijnen van de elektrodeelementen (ijzer, chroom, nikkel, mangaan, vanadium en titanium). Met name ijzer (Fe) vertoont een groot aantal spectraallijnen in het UV-gedeelte van het spectrum, met name tussen 340 en 400 nm.

Dit komt tot uiting in een relatief hoog niveau in dit deel van het spectrum. Het aandeel van het UV-gebied is vrij gering en er wordt relatief veel straling in het zichtbare deel van het spectrum uitgezonden. Het lassen van staal met een rutiel elektrode daarentegen (figuur 4.2) geeft een gelijkmatiger verloop van het niveau over het UV-gebied te zien. Ook hier worden de hoogste niveaus in het UV-gebied aangetroffen tussen 340 en 400 nm. In tegenstelling tot roestvast staal is het niveau van de straling uitgezonden in het zichtbare deel van het spectrum relatief laag.

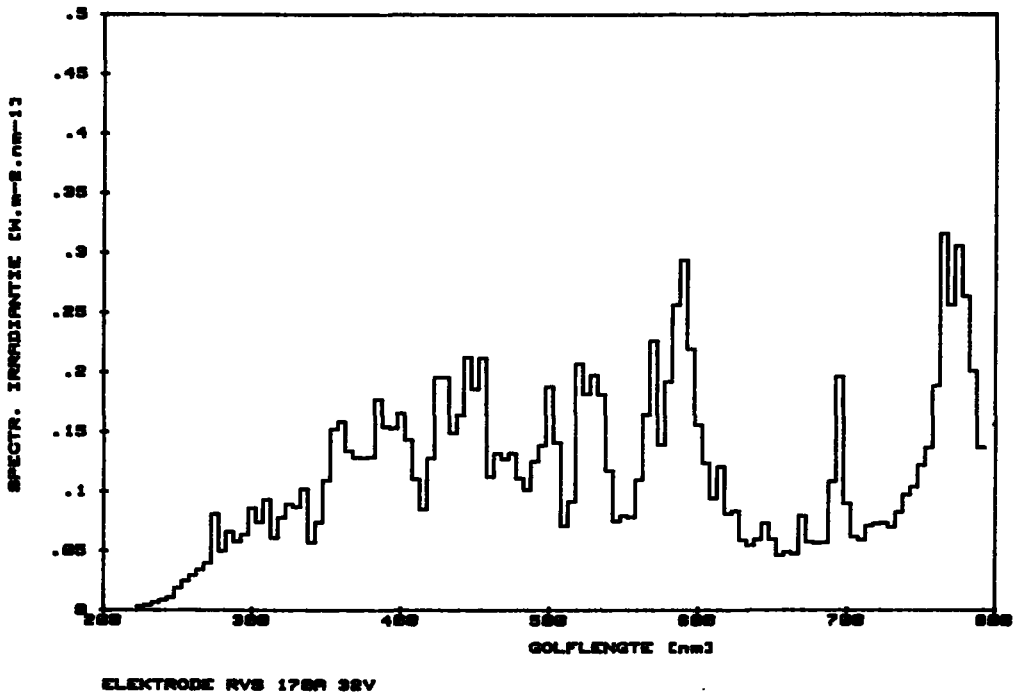


Fig. 4.1 Spectrale irradiantie van het lassen met beklede elektrode (rutil) van roestvast staal op één meter van de lasboog.

Het lassen van staal met een basische elektrode geeft in het UV-gebied een nagenoeg gelijkvormig verloop. De maximale niveaus in het gebied tussen 340 en 400 nm zijn echter relatief aanzienlijk hoger. In tegenstelling tot de rutil elektrode worden ook in het zichtbare gebied hoge niveaus aangetroffen.

Uit de waarden van de spectrale irradiantie op één meter van de boog zijn de effectieve irradiantie volgens de ACGIH-weging en de irradiantie in het UV-A-gebied berekend. Deze zijn weergegeven in tabel 4.1. De waarden van de effectieve irradiantie volgens de Gezondheidsraadweging (zie hoofdstuk 2) bleken nagenoeg gelijk te zijn aan de waarden van de ACGIH-weging en zijn daarom niet in de tabel opgenomen. Deze overeenkomst tussen de waarden bepaald volgens de beide wegingen is een gevolg van de relatief continue spectra in het UV-gebied en de lage weegfactoren in het UV-A-gebied bij de weging volgens de Gezondheidsraad.

Bij de bepaling van de effectieve irradiantie wordt een weging van het spectrum tussen respectievelijk 200 en 315 nm (ACGIH; zie 2.3.1) en 180 en

400 nm (Gezondheidsraad; zie 2.3.2) uitgevoerd. Aangezien de kleinste golflengte waarbij de toegepaste spectroradiometer de irradiantie meet 220 nm bedraagt betekent dit dat een onderschatting van de werkelijke effectieve irradiantieniveaus optreedt. Aangezien de weegfactoren in het buiten het bereik van de spectroradiometer vallende - kleine - deel van het spectrum laag zijn en uit andere onderzoeken blijkt dat in dit deel van het spectrum relatief laag zijn [9] zal deze onderschatting slechts klein zijn.

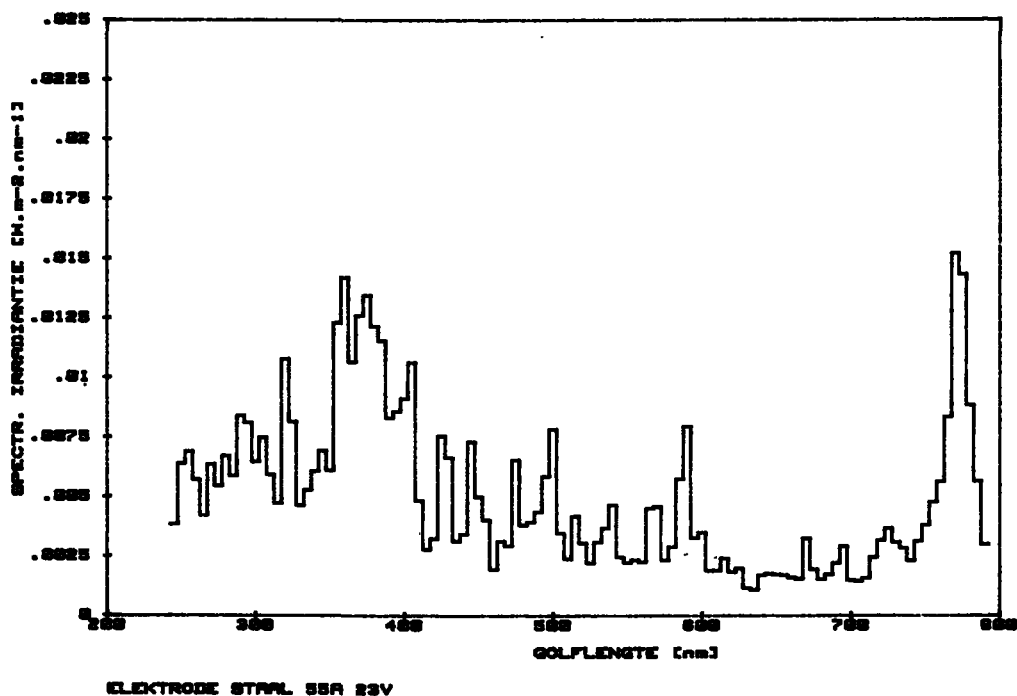


Fig. 4.2 Spectrale irradiantie van het lassen met beklede elektrode (ru-tiel) van staal op één meter afstand van de lasboog.

De irradiantieniveaus zijn in de figuren 4.4a en 4.4b als functie van de stroomsterkte weergegeven. Het blijkt dat zowel de effectieve irradiantie als de UV-A-irradiantie voor roestvast staal en staal niet sterk verschillen bij gelijke stroomsterkte. Dit beeld wijkt af van dat uit het vooronderzoek [1] waar de stralingsniveaus bij roestvast staal duidelijk lager zijn dan bij staal als gevolg van de sterke rookontwikkeling bij het lassen van roestvast staal. In het vervolgonderzoek is ten behoeve van de worst-case-benadering een goede afzuiging toegepast waardoor de invloed van de rookontwikkeling sterk wordt beperkt.

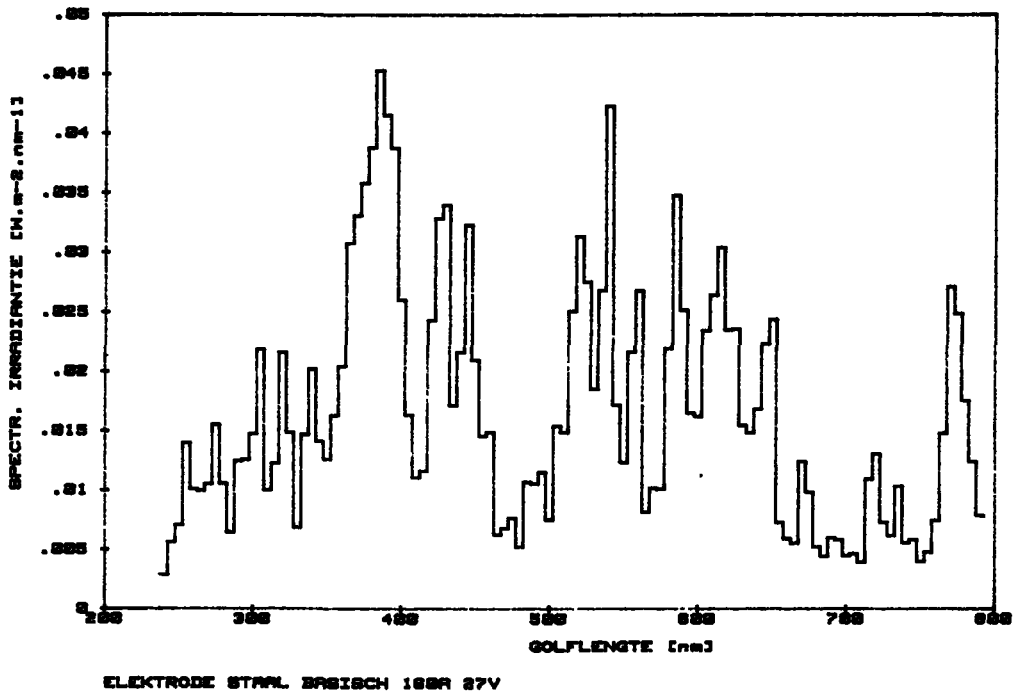


Fig. 4.3 Spectrale irradiantie van het lassen met beklede elektrode (basisch) van staal op één meter van de lasboog.

Tabel 4.1 Irradiantieniveaus op één meter bij het lassen met beklede elektroden.

Materiaal	Elektrode type	Elektrode diameter (mm)	Stroomsterkte (A)	Boogspanning (V)	$E_{\text{eff,ACGIH}}$ (W/m <sup>2</sup> )	$E_{\text{UV-A}}$ (W/m <sup>2</sup> )
roestvast staal	rutiel	2	60	25	0,39	1,42
roestvast staal	rutiel	3,25	125	27	0,79	2,72
roestvast staal	rutiel	4	140	27	1,13	4,16
roestvast staal	rutiel	5	170	32	2,35	7,32
staal	rutiel	2	55	23	0,43	1,06
staal	rutiel	3,25	165	30	1,47	5,30
staal	rutiel	4	180	28	2,84	11,3
staal	rutiel	5	230	30	4,23	14,6
staal	basisch	4	170	32	1,75	8,53

In aansluiting op het vooronderzoek [1] is het verband tussen de - effectieve - irradiantie en de stroomsterkte bepaald volgens de vergelijking:

$$E = k \cdot I^p \quad (4.1)$$

Volgens de kleinste kwadratenmethode zijn k en p bepaald voor het verband tussen zowel de effectieve irradiantie als de UV-A-irradiantie en de stroomsterkte voor staal én roestvast staal tezamen.

Dit levert de volgende verbanden op:

$$\text{effectieve irradiantie: } E = 6,0 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,58}$$

$$\text{UV-A-irradiantie : } E = 1,0 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,73}$$

Deze relaties zijn in de figuren 4.4a en 4.4b aangegeven. In figuur 4.5 zijn de relaties voor de effectieve irradiantie uit het huidige onderzoek en het vooronderzoek weergegeven. In de figuren is gebruik gemaakt van een logaritmische indeling van beide assen waardoor het exponentiële verband tussen irradiantie en stroomsterkte wordt weergegeven door een rechte lijn. Er blijkt een goede overeenstemming te bestaan, zeker als er rekening wordt gehouden met het feit dat er in het vooronderzoek bij het lassen van roestvast staal een sterke rookontwikkeling optrad, die tot een verlaging van het stralingsniveau leidde.

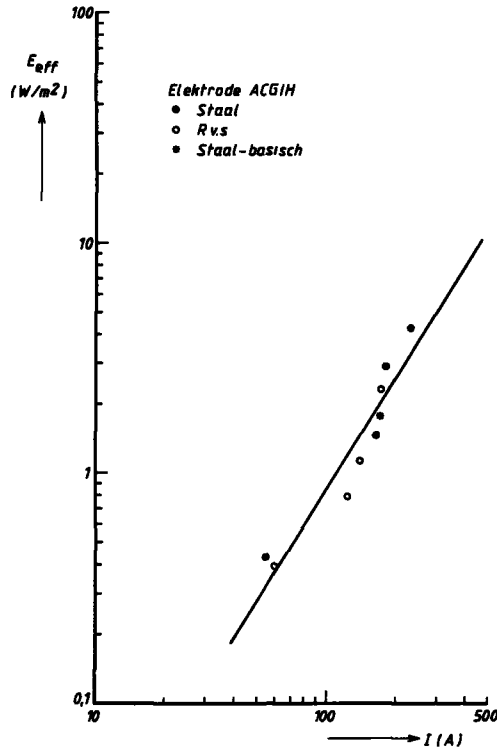


Fig. 4.4a De effectieve irradiantie (ACGIH) op één meter als functie van de stroomsterkte voor het lassen met beklede elektroden.

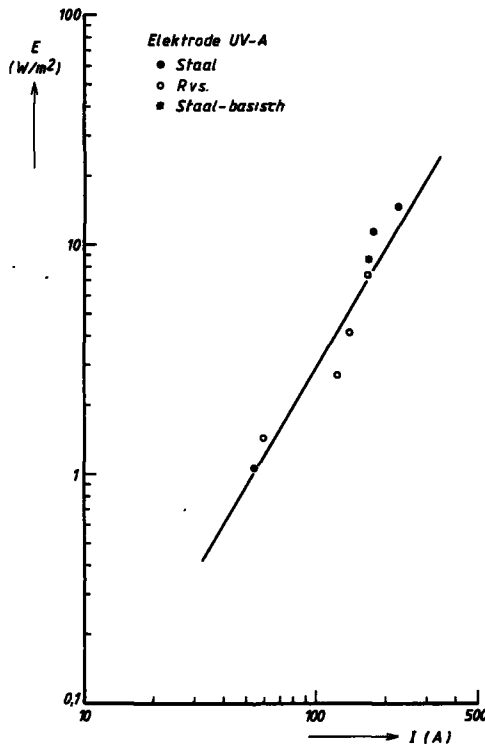


Fig. 4.4b De UV-A-irradiantie op één meter als functie van de stroomsterkte voor het lassen met beklede elektroden.

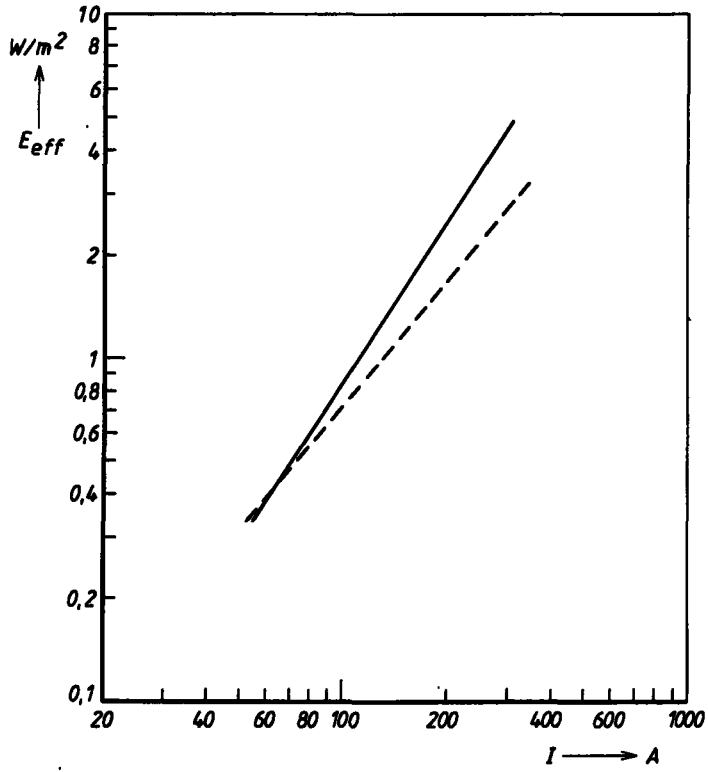


Fig. 4.5 De bepaalde verbanden tussen de effectieve irradiantie uit het huidige onderzoek (getrokken lijn) en uit het vooronderzoek (onderbroken lijn) [1].

## 5. HET TIG-PROCES

### 5.1 STRALINGSNIVEAUS

Bij het TIG-proces wordt een niet-afsmeltende wolfram of wolframthorium-oxide elektrode langs het werkstuk voortbewogen. Tussen elektrode en werkstuk wordt een boog getrokken. Het toevoegmateriaal wordt in de vorm van een staaf buiten de boog aangevoerd. Door het gebruik van een niet-afsmeltende elektrode is het gemakkelijker om een constante booglengthe te houden ten opzichte van het lassen met een afsmeltende beklede elektrode. Bij het TIG-lassen zijn dientengevolge de fluctuaties in de stralingsafgifte minder groot. Het TIG-proces wordt over het algemeen gekenmerkt als een "rustig" proces hetgeen ook tot uiting komt in het verloop van de spectrale irradiantie.

In het onderzoek zijn de volgende parameters gevarieerd: stroomsterkte, grond- en draadmateriaal (roestvast staal en aluminium), beschermgas (argon en helium).

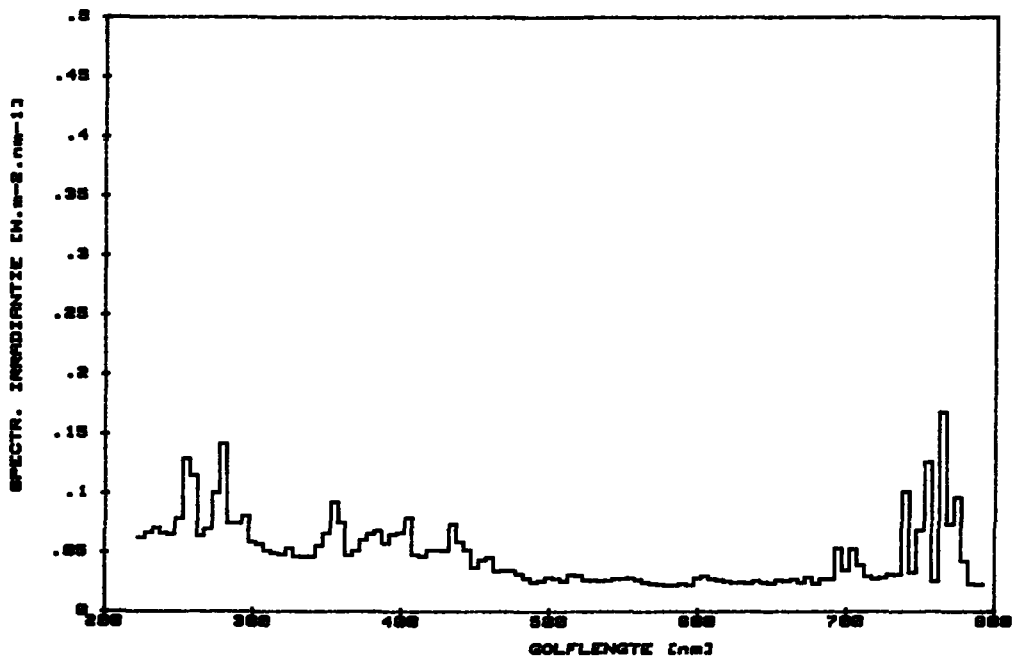
Vanwege het rustige karakter van de vlamboog is het TIG-proces gekozen om de relatie irradiantie-afstand en de relatie irradiantie-oriëntatie vast te leggen (zie 5.2).

In figuur 5.1 wordt de spectrale irradiantie bij het TIG-lassen van roestvast staal met argon als beschermgas gegeven. Er is sprake van een continu spectrum met enkele pieken. De pieken kunnen worden toegeschreven aan de in de boog en smeltbad aanwezige materialen. De piek rond 260 nm kan worden toegeschreven aan het in het roestvast staal aanwezige (2%) mangaan met zijn spectraallijnen bij 257,6, 259,4 en 260,6 nm. De piek rond 280 nm is zeer waarschijnlijk afkomstig van ijzer. De pieken rond 355, 385, 405, 435, 695, 705, 740, 750 en 765 nm kunnen worden toegeschreven aan het argon beschermgas.

Bij gebruik van helium in plaats van argon veranderen niveau en vorm van het spectrum van de uitgezonden straling drastisch zoals blijkt uit figuur 5.2. De irradiantie in het UV-B en -C-gebied neemt bij gelijke stroomsterkte met een factor 4 toe. Het niveau in het UV-A-gebied blijft nagenoeg gelijk. De pieken als gevolg van de emissie van mangaan (260 nm) en ijzer (280 nm) kunnen worden onderscheiden. Een verklaring voor het grote verschil tussen de spectra bij helium en argon, dat ook door andere onderzoekers [9] is vastgesteld, is nog niet gevonden.

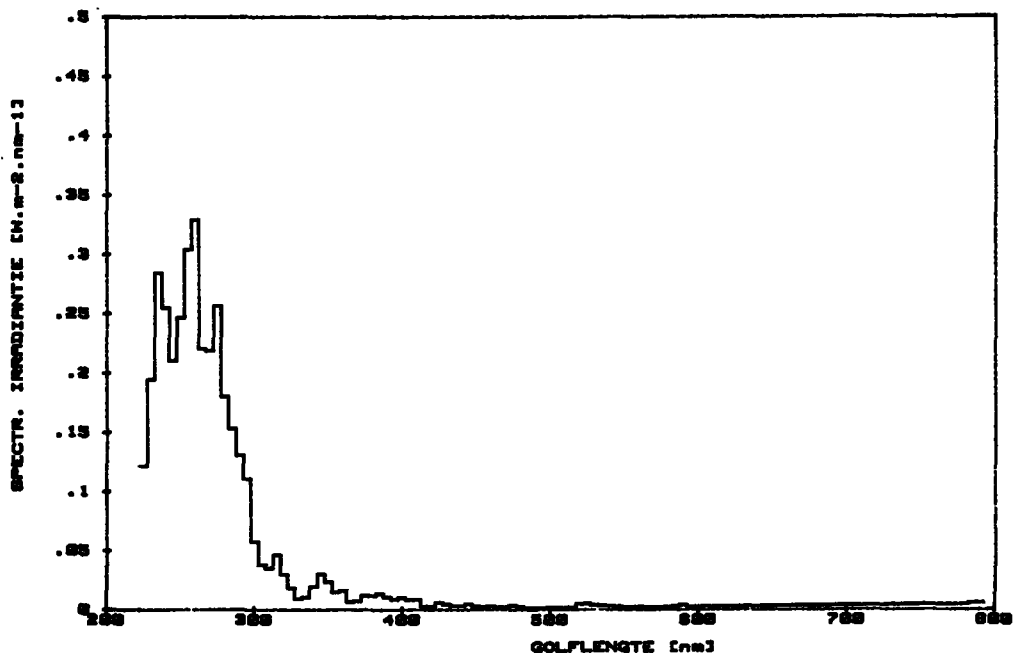
De emissielijn van helium bij 587,6 nm wordt niet teruggevonden in tegenstelling tot bij het TIG van aluminium met helium als beschermgas.





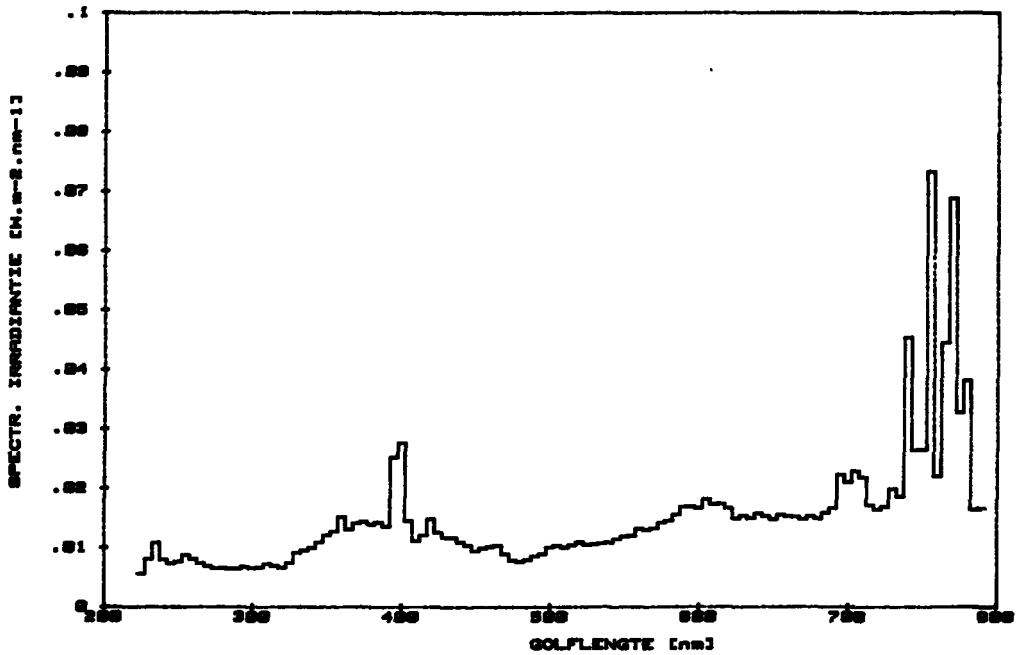
TIG RVS 155A 13V ARGON

Fig. 5.1 Spectrale irradiantie bij het TIG-lassen van roestvast staal met argon als beschermgas op één meter afstand van de lasboog.



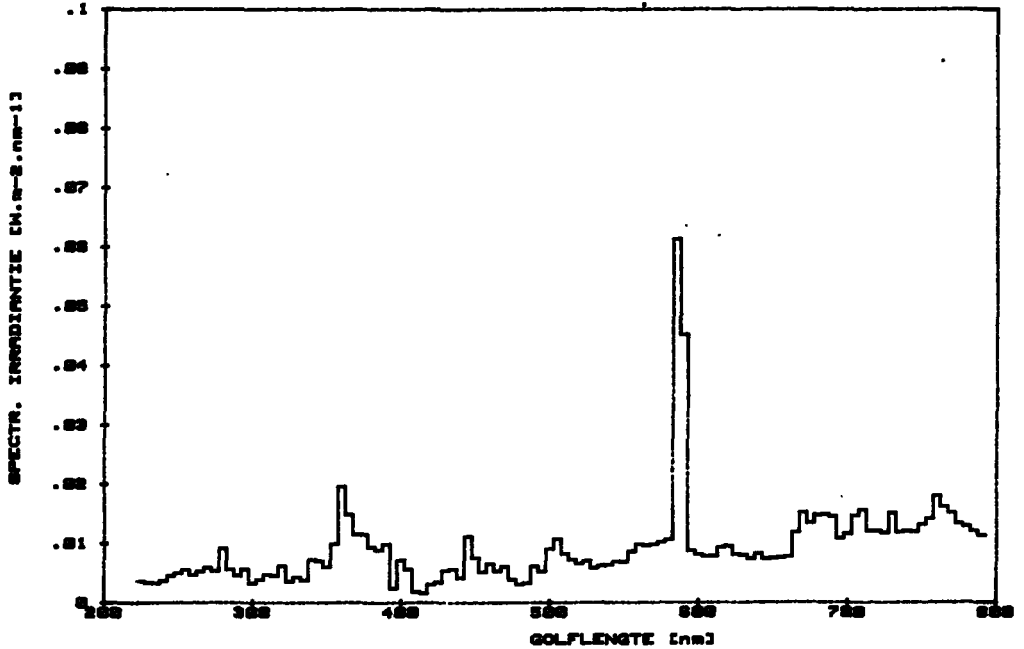
TIG RVS 155A 18V HELIUM

Fig. 5.2 Spectrale irradiantie bij het TIG-lassen van roestvast staal met helium als beschermgas op één meter afstand van de lasboog.



TIG ALUMINIUM 130A 18V ARGON

Fig. 5.3 Spectrale irradiantie bij het TIG-lassen van aluminium met argon als beschermgas op één meter afstand van de lasboog.



TIG ALUMINIUM 170A 48V HELIUM

Fig. 5.4 Spectrale irradiantie bij het TIG-lassen van aluminium met helium als beschermgas op één meter afstand van de lasboog.

Tabel 5.1 Irradiantieniveaus op één meter van de lasboog bij het TIG-lassen.

Materiaal	Elektrode materiaal	Beschermgas	Stroom- sterkte	Boog- spanning	$E_{\text{eff,ACGIH}}$	$E_{\text{UV-A}}$
roestvast staal	wolfraam	argon	50	10	0,19	0,29
roestvast staal	wolfraam	argon	100	12	0,66	0,90
roestvast staal	wolfraam	argon	150	13	1,33	1,96
roestvast staal	wolfraam	argon	200	14	1,70	3,12
roestvast staal	wolfraam	helium	100	17	7,01	1,25
roestvast staal	wolfraam	helium	150	18	9,19	1,37
aluminium	wolfraam- thorium- oxide	argon	85	17	0,18	0,33
aluminium	wolfraam- thorium- oxide	argon	130	19	0,32	1,11
aluminium	wolfraam- thorium- oxide	argon	170	20	0,54	1,19
aluminium	wolfraam- thorium- oxide	helium	100	40	0,15	0,20
aluminium	wolfraam- thorium- oxide	helium	170	40	0,30	0,77

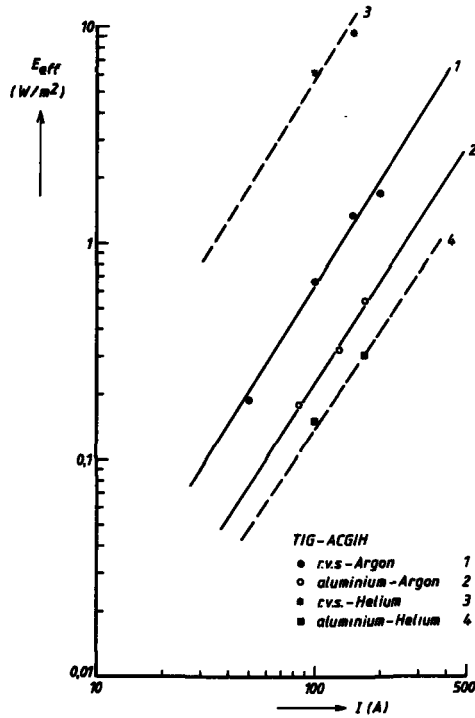


Fig. 5.5a De effectieve irradiantie (ACGIH) op één meter van de lasboog als functie van de stroomsterkte voor het TIG-lassen.

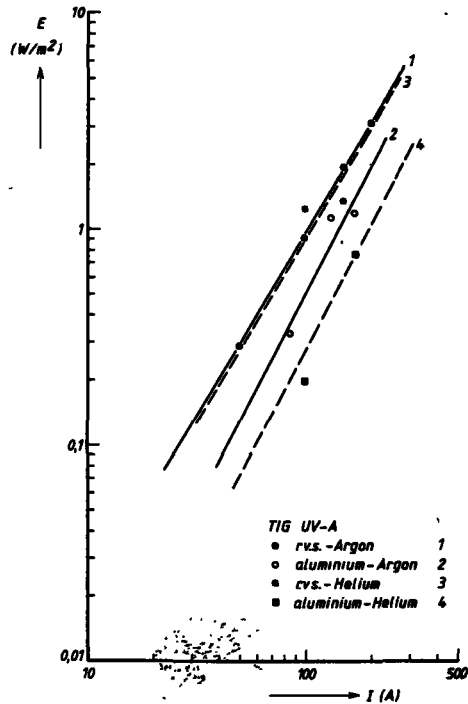


Fig. 5.5b De UV-A-irradiantie op één meter van de lasboog als functie van de stroomsterkte voor het TIG-lassen.

Het aantal meetpunten voor het TIG-lassen met helium is te klein om op bovenstaande wijze een verband tussen irradiantie en stroomsterkte te bepalen. Uit de figuren blijkt, met uitzondering van de waarden voor irradiantie in het UV-A-gebied bij het TIG-lassen van roestvast staal met helium als beschermgas dat de hellingen van de lijnen door de meetwaarden sterk overeenkomen met die voor het TIG-lassen met argon als beschermgas. Om toch een kwantitatief verband tussen stroomsterkte en irradiantie te bepalen zijn de waarden van  $k$  bepaald bij helium als beschermgas bij gelijke hellingen van de lijnen als bij het beschermgas argon. Hierbij worden de lijnen geacht te gaan door de gemiddelde van de respectievelijke puntenparen. Op deze wijze worden de volgende verbanden tussen irradiantie en stroomsterkte gevonden bij het TIG-lassen van roestvast staal en aluminium met helium als schermgas.

roestvast staal	effectieve irradiantie	: $E = 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,63}$
	UV-A-irradiantie	: $E = 3,1 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,73}$
aluminium	effectieve irradiantie	: $E = 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,56}$
	UV-A-irradiantie	: $E = 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot I^{1,94}$

Deze verbanden zijn met onderbroken lijnen in de figuren 5.5a en 5.5b aangegeven.

## 5.2 IRRADIANTIE NIVEAU EN PLAATS TEN OPZICHTE VAN DE BOOG

Vanwege het rustige karakter van de lasboog bij het TIG-lassen is dit proces gekozen voor het vastleggen van de relaties irradiantie-afstand tot de boog en irradiantie-oriëntatie ten opzichte van de boog.

### 5.2.1 Irradiantie-afstand tot de boog

Voor het TIG-lassen van roestvast staal met argon als beschermgas is de effectieve irradiantie op afstanden van 0,5, 1, 1,50 en 2 meter van de boog gemeten met de radiometer IL730A (zie 3.2.2). De waarden genormeerd op 1 bij een afstand van 1 m worden gegeven in tabel 5.2.

**Tabel 5.2** De effectieve irradiantie als functie van de afstand tot de boog.

Afstand (m)	Relatieve effectieve irradiantie (-)
0,5	3,89
1	1
1,5	0,44
2	0,26

Uit de tabel blijkt dat de gevonden niveaus erg goed aansluiten bij de  $1/r^2$ -relatie die wordt verondersteld te gelden voor de verzwakking van de irradiantie als functie van de afstand tot de boog.

De kleinste kwadratenmethode levert een correlatiecoëfficiënt op van 0,99 voor de relatie  $E = 1/r^2$ .

### 5.2.2 Irradiantie-oriëntatie ten opzichte van de boog

Volgens [9] treden de maximale stralingsniveaus op in het vlak van de las, in voorwaartse richting en onder een hoek van 50 tot 60 graden met de verticaal (zie figuur 5.6).

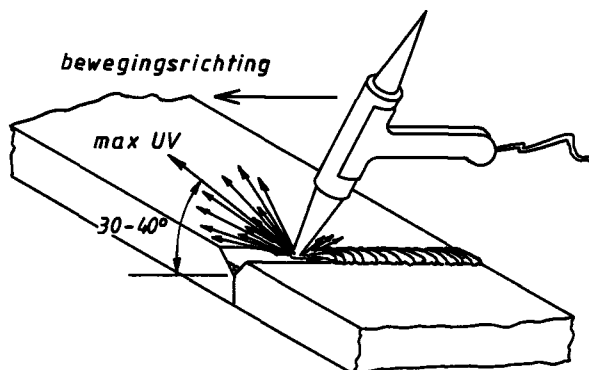


Fig. 5.6 Het maximale stralingsniveau [9].

Enige oriënterende metingen voor het TIG-lassen van roestvast staal met argon als beschermgas waarbij de oriëntatie van de sensor ten opzichte van een - stilstaande - boog is gevarieerd bevestigen deze bewering.

In tabel 5.3 zijn de waarden voor de effectieve irradiantie, gemeten met de radiometer IL730A, bij een aantal combinaties van  $\alpha$  en  $\beta$  (zie figuur 3.5, paragraaf 3.2.2) gegeven. De waarden zijn voor  $\alpha = 35^\circ$  en  $\beta = 0^\circ$  genormeerd op 1.

**Tabel 5.3** De effectieve irradiantie als functie van de oriëntatie ten opzichte van de boog.

$\alpha$ ( $^\circ$ )	$\beta$ ( $^\circ$ )	Relatieve spectrale irradiantie
15	0	85
35	0	100
60	0	75
15	45	100
35	45	103

Hierbij dient opgemerkt te worden dat er bij de metingen geen belemmeringen aanwezig waren tussen boog en sensor. In de praktijk kunnen door afscherming van de boog door het werkstuk lagere waarden en door reflectie in het werkstuk hogere waarden optreden.

## 6. HET MIG-/MAG-PROCES

In het vooronderzoek [1] zijn slechts weinig metingen verricht aan het MIG-/MAG-proces. In dit vervolgonderzoek heeft dientengevolge de nadruk op dit proces gelegen. In tegenstelling tot het TIG-proces wordt bij het MIG-/MAG-proces een afsmeltende elektrode toegepast. De elektrode wordt gevormd door de via de toorts toegevoerde draad die tevens als toevoegmateriaal dient.

Het onderscheid tussen het MIG- en het MAG-proces bestaat uit de reactiviteit van het beschermgas dat wordt gebruikt. Bij het MIG-proces wordt een inert gas, zoals argon of helium of een mengsel hiervan met zuurstof, toegepast (MIG = metal inert gas). Bij het MAG-proces (MAG = metal active gas) wordt een reactief gas, vrijwel altijd  $\text{CO}_2$  of een mengsel van  $\text{CO}_2$  en argon, toegepast.

In paragraaf 3.1 is reeds ingegaan op het verband tussen stroomsterkte en hoogspanning en de invloed hiervan op de druppelovergang bij het MIG/MAG-proces. Bij het kortsluitbooglassen is er sprake van een onrustigere boog en dientengevolge sterkere fluctuaties in de stralingsafgifte dan bij de globulaire druppelovergang of de sproeiboogovergang. Met de spectroradiometer zijn er per parametercombinatie minimaal 4 scans uitgevoerd om tot een betrouwbare gemiddelde waarde van de stralingsafgifte te komen.

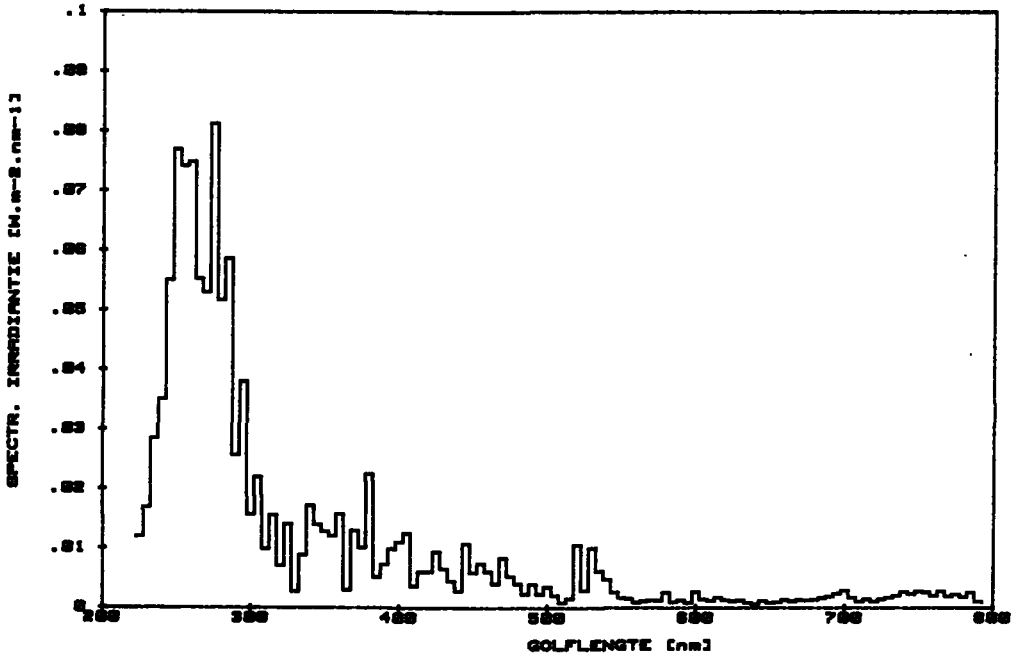
In figuur 6.1 wordt de spectrale irradiantie bij het MIG-lassen van roestvast staal met een mengsel van argon (97%) en zuurstof (3%) als beschermgas bij een kortsluitboogovergang gegeven.

Het spectrum bestaat uit een continuüm met daarop gesuperponeerd een groot aantal pieken (lijnspectra). De hoogste stralingsniveaus treden op in het actinische gebied. De pieken kunnen worden toegeschreven aan de emissielijnen van de in het roestvast staal aanwezige elementen (ijzer, chroom, nikkel, mangaan) en aan het beschermgas.

Bij het sproeibooglassen treden duidelijke wijzigingen op in de spectrale verdeling en het niveau van de uitgezonden straling zoals blijkt uit figuur 6.2. Het relatieve aandeel van de straling in het UV-A-gebied is aanzienlijk toegenomen. De hoge emissie rond 355 nm kan worden toegeschreven aan het argon.

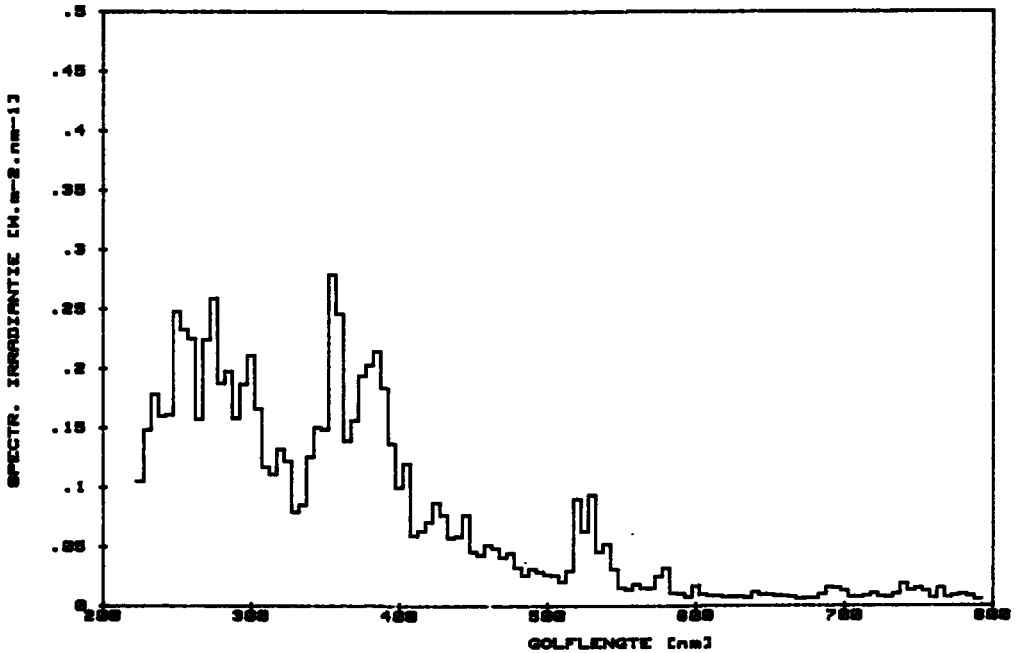
De invloed van de samenstelling van het beschermgas op spectrale verdeling en het niveau van de uitgezonden straling is beperkt, zoals uit metingen met een mengsel van argon (97,5%) en  $\text{CO}_2$  (2,5%) en een mengsel van argon (95%) en waterstof (5%) bleek.





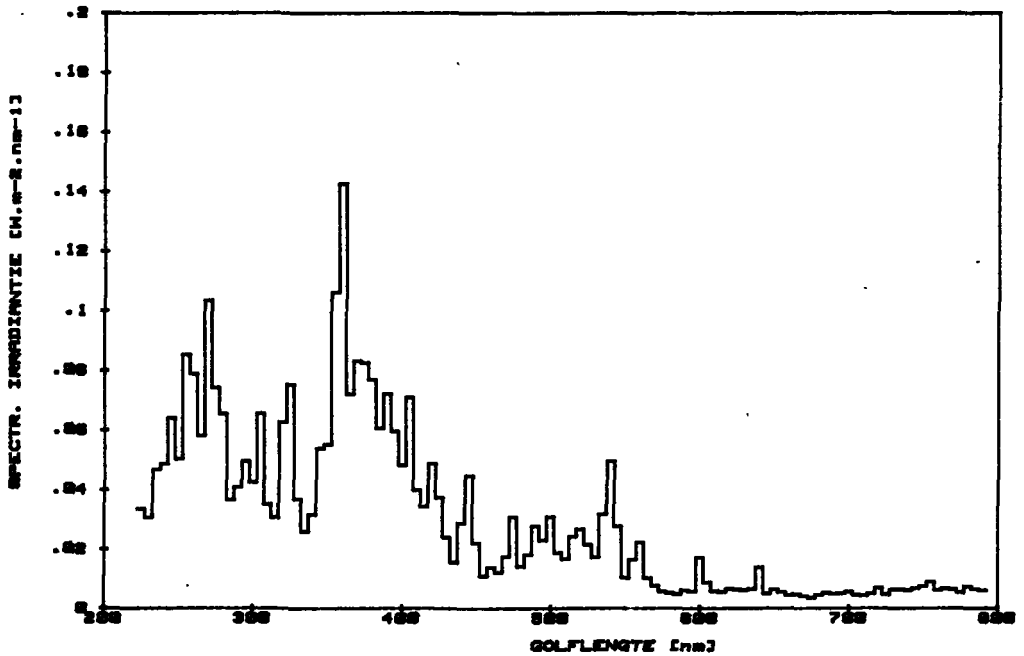
MIG RVS 180A 18V 87%AR-13%O<sub>2</sub> KORTSLUIT

Fig. 6.1 Spectrale irradiantie bij het MIG-lassen van roestvast staal met een argon/zuurstofmengsel als beschermgas bij kortsluitbooglassen op één meter afstand van de lasboog.



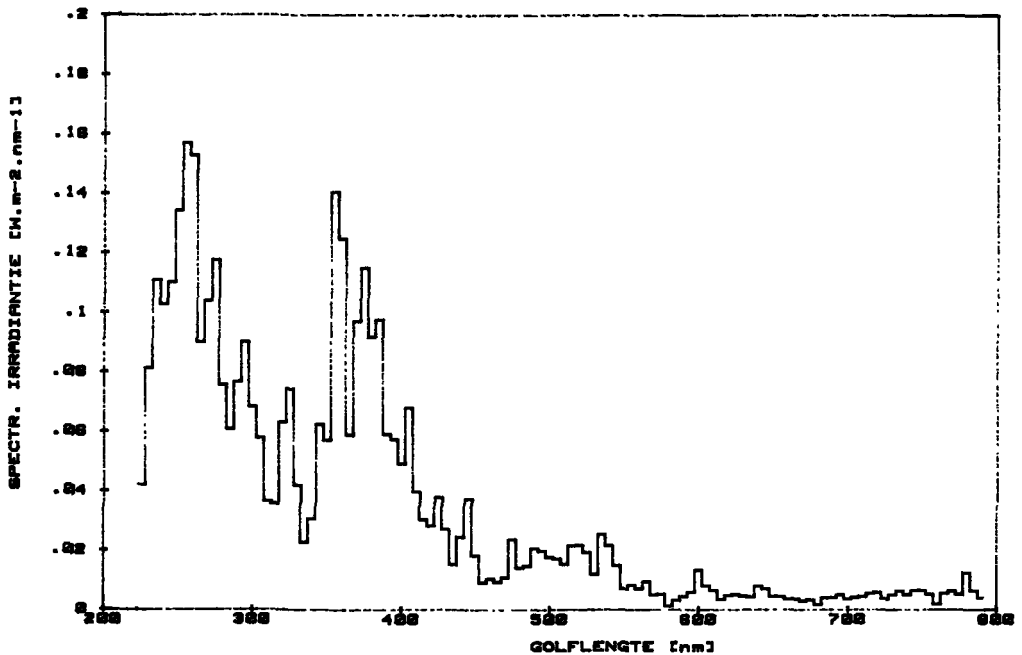
MIG RVS 125A 25V 87%AR-13%O<sub>2</sub> SPROEIJ

Fig. 6.2 Spectrale irradiantie bij het MIG-lassen van roestvast staal met argon/zuurstofmengsel als beschermgas bij sproei-booglassen op één meter afstand van de lasboog.



MAG STAAL 220A 23V CO<sub>2</sub> BLANKE DRAD KORTSLUIT

Fig. 6.3 Spectrale irradiantie bij het MAG-lassen van staal met CO<sub>2</sub> als beschermgas bij het kortsluitbooglassen op één meter afstand van de lasboog.



MAG STAAL 220A 18V 85%AR-15%CO<sub>2</sub> KORTSLUIT

Fig. 6.4 Spectrale irradiantie bij het MAG-lassen van staal met een mengsel van argon (85%) en CO<sub>2</sub> (15%) als beschermgas bij kortsluitbooglassen op één meter afstand van de lasboog.

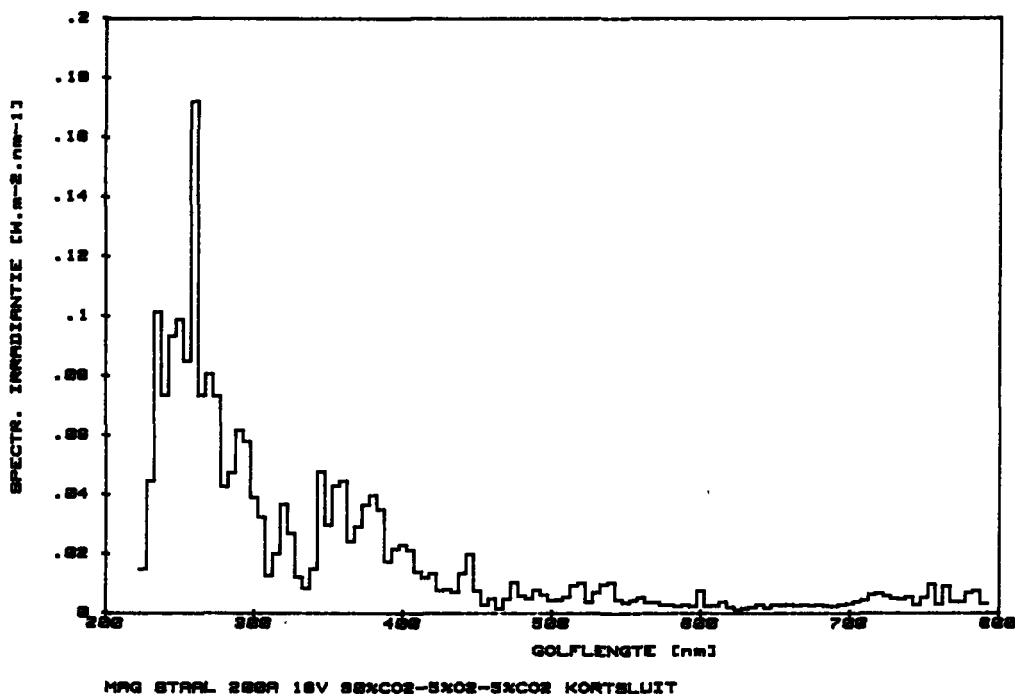


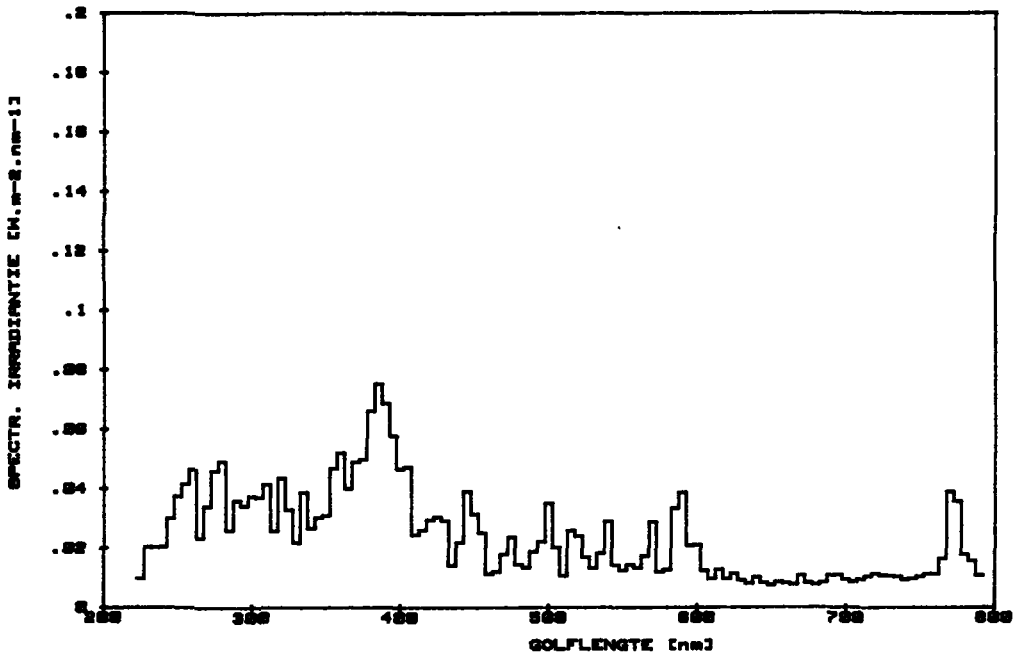
Fig. 6.5 Spectrale irradiantie van het MAG-lassen van staal met een mengsel van argon (90%), zuurstof (5%) en  $\text{CO}_2$  (5%) als beschermgas bij kortsluitbooglassen op één meter afstand van de lasboog.

Bij het MAG-lassen van staal blijkt het toegepaste beschermgas wel van invloed op de spectrale emissie zoals blijkt uit de figuren 6.3, 6.4 en 6.5. Bij gebruik van een zuiver  $\text{CO}_2$  en een mengsel van argon (85%) en  $\text{CO}_2$  (15%) is de irradiantie in het UV-A-gebied duidelijk hoger dan bij gebruik van een mengsel van argon (90%),  $\text{CO}_2$  (5%) en  $\text{O}_2$  (5%). Het lijkt erop dat een toename van het aandeel van  $\text{CO}_2$  in het beschermgas een toename van het relatieve aandeel van straling in het UV-A-gebied tot gevolg heeft. Koolstof heeft evenwel geen spectraallijnen in het UV-A-gebied. De pieken in de spectra kunnen worden toegeschreven aan het in het staal aanwezige ijzer.

Bij het toepassen van een gevulde draad, waarbij in de holle kern van de draad dezelfde materialen worden gebruikt als bij de beklede elektroden, zijn de verschillen in het spectrum in vergelijking met massieve draad bij gebruik van dezelfde beschermgassen gering (zie de figuren 6.6 en 6.7). Tussen de stralingsniveaus bij het gebruik van  $\text{CO}_2$  als menggas en het gebruik van een mengsel van argon en  $\text{CO}_2$  als beschermgas treden zowel bij de massieve draad als bij de gevulde draad duidelijke verschillen op.

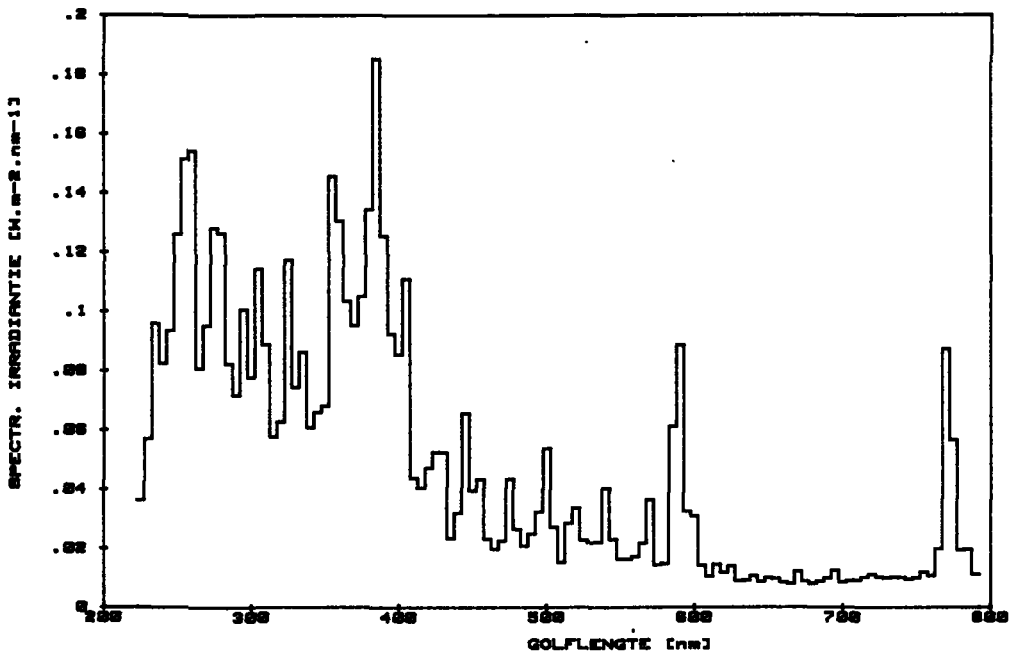
Het is technisch niet mogelijk om bij het gebruik van beschermgassen met een bepaald percentage  $\text{CO}_2$  (10%) een sproei-boogovergang te realiseren.

Ten opzichte van het kortsluitbooglassen van roestvast staal is er bij staal sprake van een relatief groter aandeel UV-A-straling.



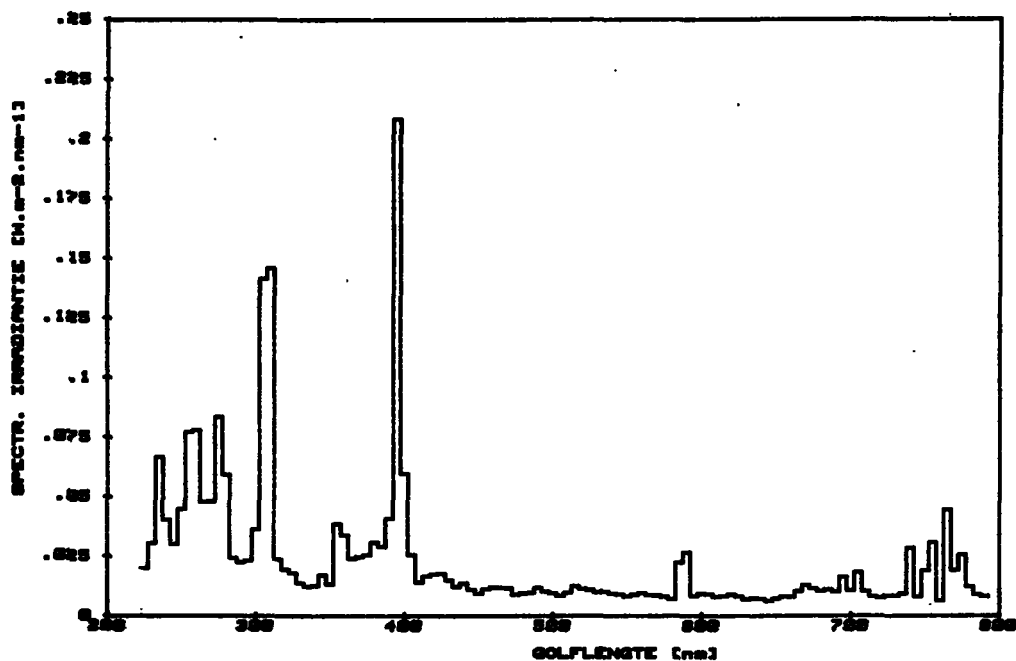
MAG STAAL 250P 21V CO<sub>2</sub> GEVULDE DRAAD KORTSLUIT

Fig. 6.6 Spectrale irradiantie van het MAG-lassen van staal met een gevulde draad en CO<sub>2</sub> als beschermgas bij kortsluitbooglassen op één meter afstand van de lasboog.



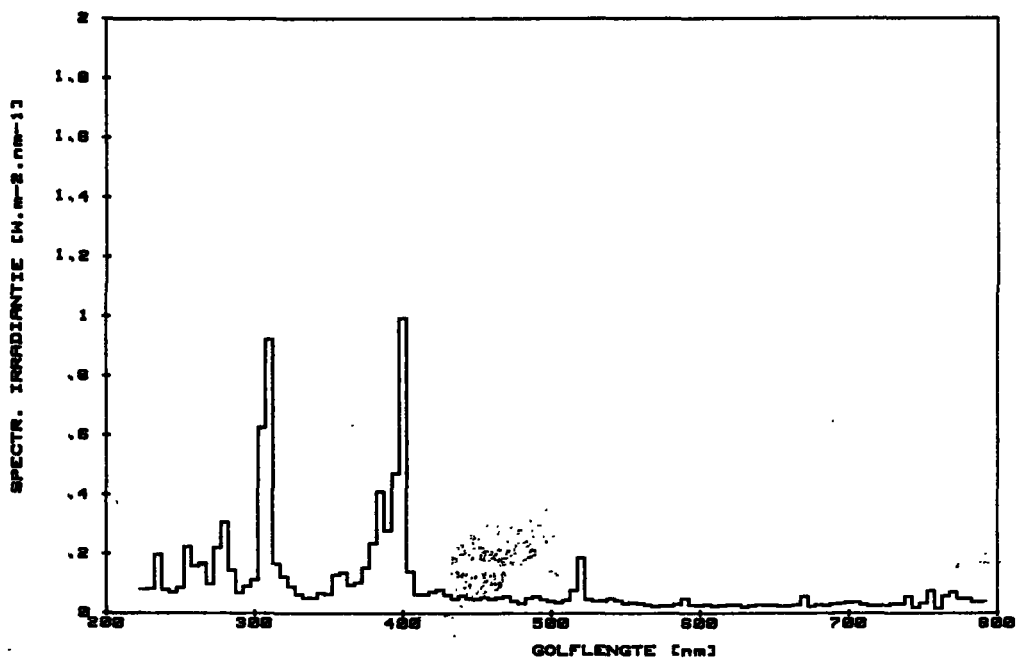
MAG STAAL 250P 21V 85%AR-15%CO<sub>2</sub> GEVULDE DRAAD KORTSLUIT

Fig. 6.7 Spectrale irradiantie van het MAG-lassen van staal met een gevulde draad en een mengsel van argon (85%) en CO<sub>2</sub> (15%) als beschermgas bij kortsluitbooglassen op één meter afstand van de lasboog.



MIG ALUMINIUM 150A 17V ARGON KORTSLUIT

Fig. 6.8 Spectrale irradiantie van het MIG-laspen van aluminium met argon als beschermgas bij kortsluitbooglassen op één meter afstand van de lasboog.



MIG ALUMINIUM 250A 25V ARGON SPROEIJ

Fig. 6.9 Spectrale irradiantie van het MIG-laspen van aluminium met argon als beschermgas bij sproei-booglassen op één meter afstand van de lasboog.

**Tabel 6.1** Irradiatieniveaus op één meter van de lasboog bij het MIG- en MAG-lassen.

Proces	Draad diameter (mm)	Beschermgas	Stroomsterkte (A)	Boogspanning (V)	Druppelovergang	$E_{\text{eff,ACGIE}}$ (W/m <sup>2</sup> )	$E_{\text{UV-A}}$ (W/m <sup>2</sup> )
<b>ROESTVAST STAAL</b>							
MIG	1,0	97% Ar 3% O <sub>2</sub>	100	18	kortsluit	2,36	0,96
MIG	1,0	97% Ar 3% O <sub>2</sub>	150	17	kortsluit	4,58	2,08
MIG	1,6	97% Ar 3% O <sub>2</sub>	200	20	kortsluit	6,59	6,11
MIG	1,6	97% Ar 3% O <sub>2</sub>	300	24	kortsluit	13,0	8,47
MIG	1,0	97% Ar 3% O <sub>2</sub>	125	25	sproei	8,75	13,5
MIG	1,6	97% Ar 3% O <sub>2</sub>	270	27	sproei	34,3	41,8
MAG	1,6	97,5% Ar 2,5% CO <sub>2</sub>	200	19	kortsluit	6,82	3,90
MAG	1,6	97% Ar 2% O <sub>2</sub> 1% H <sub>2</sub>	200	19	kortsluit	4,95	3,92
MIG	1,6	95% Ar 5% H <sub>2</sub>	200	21	kortsluit	7,70	4,31
MAG	1,6	97,5% Ar 2,5% CO <sub>2</sub>	210	28	sproei	20,9	36,8
MIG	1,6	97% Ar 2% O <sub>2</sub> 1% H <sub>2</sub>	245	29	sproei	29,1	29,3
<b>STAAL</b>							
MAG	1,0	85% Ar 15% CO <sub>2</sub>	50	18	kortsluit	0,56	0,68
MAG	1,0	85% Ar 15% CO <sub>2</sub>	100	20	kortsluit	2,11	2,89
MAG	1,6	85% Ar 15% CO <sub>2</sub>	140	16	kortsluit	1,84	1,94
MAG	1,6	85% Ar 15% CO <sub>2</sub>	200	18	kortsluit	4,37	6,19
MAG	1,6	85% Ar 15% CO <sub>2</sub>	300	24	kortsluit	6,22	9,71
MAG	1,6	85% Ar 15% CO <sub>2</sub>	235	32	globulair	5,07	11,1
MAG	1,6	CO <sub>2</sub>	200	23	kortsluit	2,65	5,26
MAG	1,6	90% Ar 5% O <sub>2</sub> 5% CO <sub>2</sub>	200	16	kortsluit	3,28	2,44
MAG	1,6	90% Ar 5% O <sub>2</sub> 5% CO <sub>2</sub>	270	18	kortsluit	3,45	3,34
MAG	1,6	90% Ar 5% O <sub>2</sub> 5% CO <sub>2</sub>	275	32	sproei	13,3	26,1
MAG	1,6 gevulde draad	CO <sub>2</sub>	200	21	kortsluit	1,55	3,86
MAG	1,6 gevulde draad	85% Ar 15% CO <sub>2</sub>	200	21	kortsluit	4,59	8,63
<b>ALUMINIUM</b>							
MIG	1,0	Al Ar	50	16	kortsluit	0,35	0,27
MIG	1,0	Al Ar	100	19	kortsluit	1,16	1,49
MIG	1,0	Al Ar	150	17	kortsluit	4,18	3,60
MIG	1,6	Al Ar	155	27	globulair	7,03	7,42
MIG	1,6	Al Ar	200	29	sproei	10,2	21,1
MIG	1,6	Al He	200	28	globulair	7,80	8,40
MIG	1,6	Al 20% Ar 80% He	200	26	globulair	7,23	7,88
MIG	1,6	AlMg <sub>3</sub> Ar	200	28	sproei	19,3	24,4
MIG	1,6	AlMg <sub>5</sub> Ar	200	30	sproei	18,0	21,5
MIG	1,6	AlSi <sub>5</sub> Ar	200	28	sproei	12,6	12,0
MIG	1,6	AlCu Ar	200	24	globulair	8,6	18,4
MIG	1,6	CuNi Ar	225	28	sproei	15,0	34,3
MIG	1,6	CuNi Ar	200	27	globulair	6,9	14,4

Ar = Argon  
 He = Helium  
 Al = Aluminium  
 Mg = Magnesium  
 Si = Silicium  
 Cu = Koper  
 Ni = Nikkel

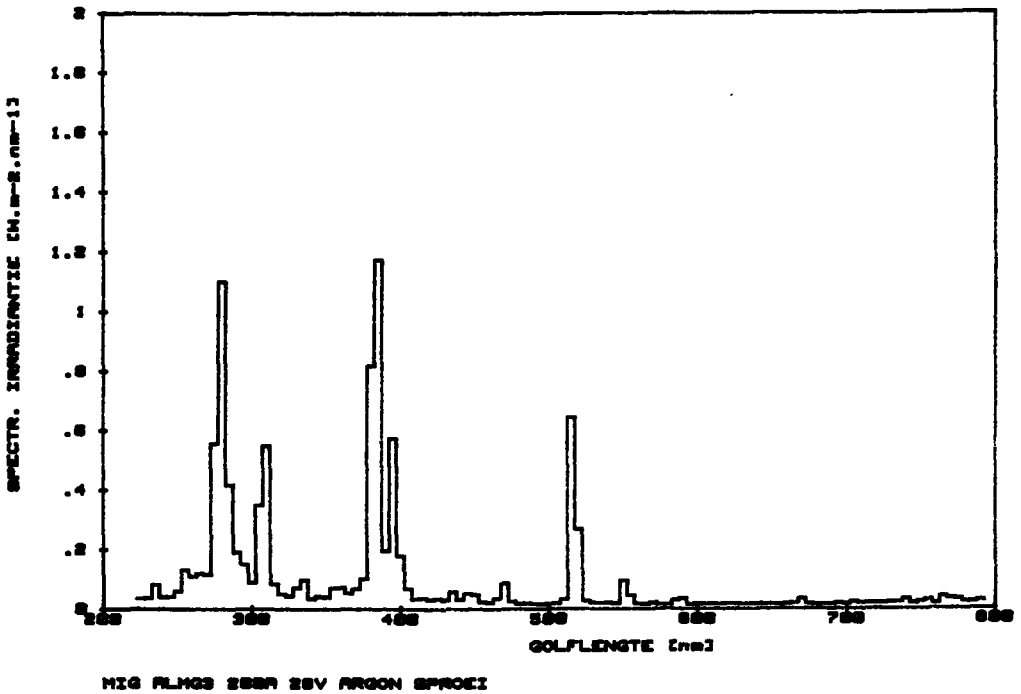


Fig. 6.10 Spectrale irradiantie van het MIG-lassen van een aluminiummagnesiumlegering (AlMg<sub>3</sub>) met argon als beschermgas bij sproeibooglassen op één meter afstand van de lasboog.

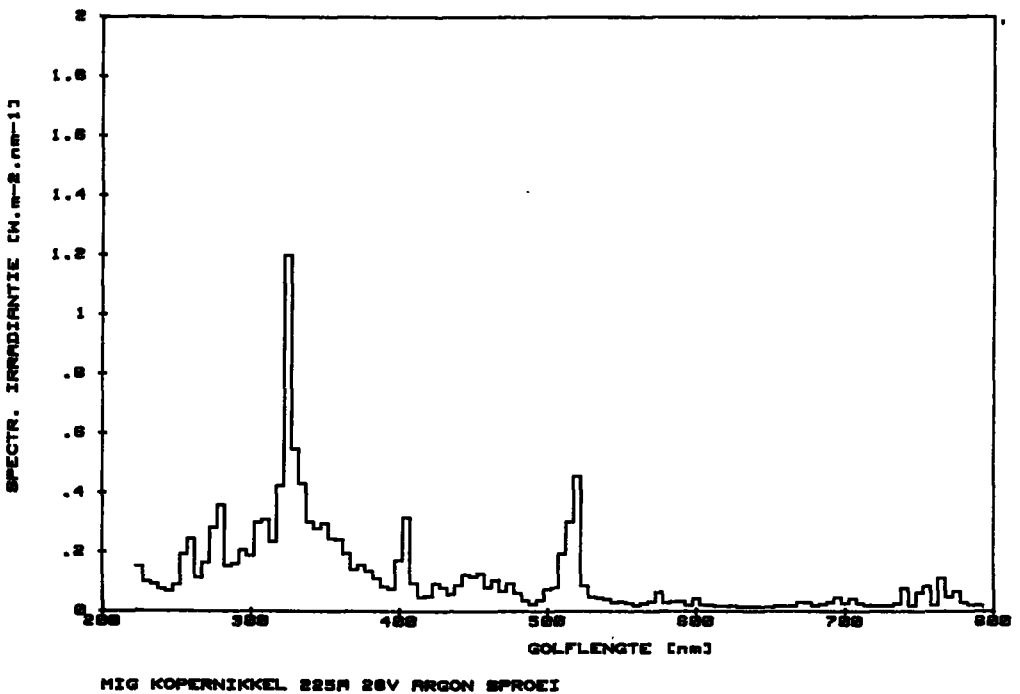


Fig. 6.11 Spectrale irradiantie van het MIG-lassen van een kopernikkellegering met argon als beschermgas bij sproeibooglassen op één meter afstand van de lasboog.

In figuur 6.12a en 6.12b worden de waarden uit de tabel grafisch weergegeven.

Bij het MIG- en MAG-lassen van roestvast staal blijken de niveaus in het actinisch gebied (ACGIH-weging) bij kortsluitbooglassen hoger dan de niveaus in het UV-A-gebied. Voor het sproei-booglassen is dit juist omgekeerd. Hierbij is de invloed van het beschermgas gering. Duidelijk blijkt de grote invloed van de druppelovergang op de irradiantie vooral in het UV-A-gebied.

Bij het MAG-lassen van staal treden de hoogste irradiatieniveaus op bij gebruik van een mengsel van 85% Argon en 15% CO<sub>2</sub> als beschermgas. Dit geldt zowel voor massieve als gevulde draad, waarbij de invloed bij de gevulde draad het grootst is. Voor het kortsluitbooglassen liggen de stralingsniveaus bij staal in dezelfde orde van grootte als bij roestvast staal.

Ook uit de resultaten voor het MIG-lassen van aluminium blijkt de grote invloed van de druppelovergang op de stralingsniveaus, vooral in het UV-A-gebied. De invloed van het beschermgas op de stralingsniveaus is gering. Wel van invloed op de stralingsniveaus, vooral in het actinische gebied, zijn de toegepaste materialen c.q. legeringen. Zo blijkt de aanwezigheid van enkele procenten magnesium bijna een verdubbeling van de effectieve irradiantie te geven.

Voor een aantal combinaties van de onderzochte situaties is het verband bepaald tussen de - effectieve - irradiantie en de stroomsterkte volgens de vergelijking:

$$E = k \cdot I^p$$

Volgens de kleinste kwadratenmethode zijn waarden voor k en p bepaald voor de volgende combinaties:

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| - roestvast staal, kortsluitboog            | (alle beschermgassen) |
| - roestvast staal, sproei-boog              | (alle beschermgassen) |
| - staal, massieve draad, kortsluitboog      | (alle beschermgassen) |
| - aluminium, argon, kortsluitboog           |                       |
| - roestvast staal en aluminium, sproei-boog | (alle beschermgassen) |



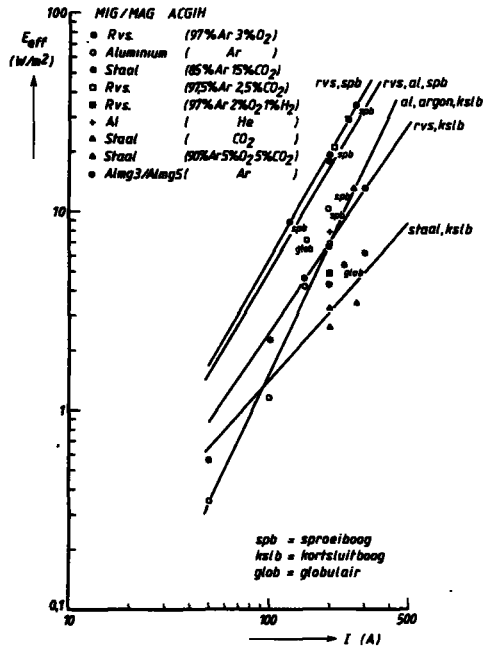


Fig. 6.12a De effectieve irradiantie (ACGIH) op één meter van de lasboog als functie van de stroomsterkte voor het MIG- en MAG-lassen.

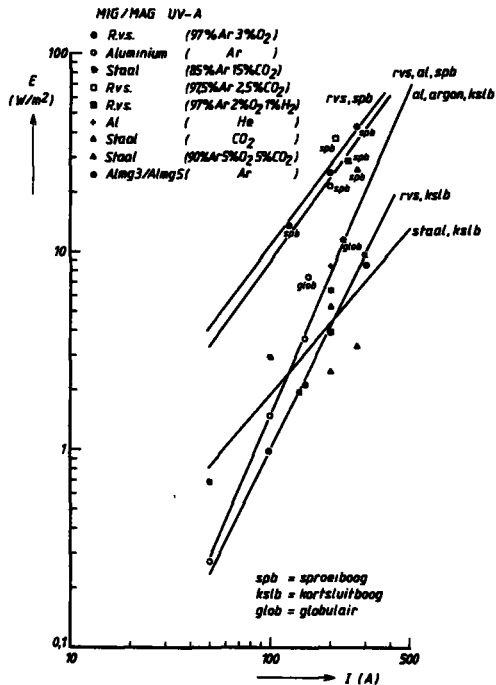


Fig. 6.12b De UV-A-irradiantie op één meter van de lasboog als functie van de stroomsterkte voor het MIG- en MAG-lassen.

De volgende verbanden zijn afgeleid:

- roestvast staal, kortsluitboog	
effectieve irradiantie	: $E = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,51}$
UV-A-irradiantie	: $E = 7,2 \cdot 10^{-5} \cdot I^{2,07}$
- roestvast staal, sproeihoog	
effectieve irradiantie	: $E = 1,65 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,77}$
UV-A-irradiantie	: $E = 2,0 \cdot 10^{-2} \cdot I^{1,36}$
- staal, massieve draad, kortsluitboog	
effectieve irradiantie	: $E = 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,14}$
UV-A-irradiantie	: $E = 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,20}$
- aluminium argon, kortsluitboog	
effectieve irradiantie	: $E = 5,85 \cdot 10^{-5} \cdot I^{2,20}$
UV-A-irradiantie	: $E = 2,6 \cdot 10^{-5} \cdot I^{2,37}$
- roestvast staal en aluminium, sproeihoog	
effectieve irradiantie	: $E = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,72}$
UV-A-irradiantie	: $E = 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot I^{1,40}$

Deze relaties zijn in de figuren 6.12a en 6.12b aangegeven. In de figuren zijn duidelijk de twee niveaus te onderscheiden behorende bij respectievelijk de kortsluitboog- en de sproeihoogdruppelovergang.

## 7. EVALUATIE VAN DE STRALINGSNIVEAUS

### 7.1 VERGELIJKING VAN DE PROCESSEN

Ten behoeve van de vergelijking tussen de processen worden de bepaalde verbanden tussen stroomsterkte en irradiantie weergegeven in de figuren 7.1a en 7.1b. Uit de figuren blijkt nogmaals de grote invloed van de verschillende parameters (zie paragraaf 3.1) op de irradianties. Het door de elektrische boog uitgestraalde optische vermogen wordt begrensd door het aangevoerde elektrische vermogen  $I^2 \cdot R_b$ , met  $R_b$  de weerstand over de boog. Het blijkt dat het verband tussen irradiantie en stroomsterkte niet altijd dit kwadratische verband volgt. Hierbij kunnen onder andere rookontwikkeling, variaties in boogweerstand tengevolge van veranderingen van lengte van de lasboog en de efficiëntie van het lasproces een rol spelen.

De volgende verbanden tussen stroomsterkte en irradiantie zijn bepaald:

#### - lassen met beklede elektroden

effectieve irradiantie	:	$E = 6,0 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,58}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 1,0 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,73}$

#### - TIG-lassen

##### roestvast staal, argon

effectieve irradiantie	:	$E = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,63}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 3,3 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,73}$

##### roestvast staal, helium

effectieve irradiantie	:	$E = 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,63}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 3,1 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,73}$

##### aluminium, argon

effectieve irradiantie	:	$E = 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,56}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 6,6 \cdot 10^{-5} \cdot I^{1,94}$

##### aluminium, helium

effectieve irradiantie	:	$E = 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot I^{1,56}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot I^{1,94}$

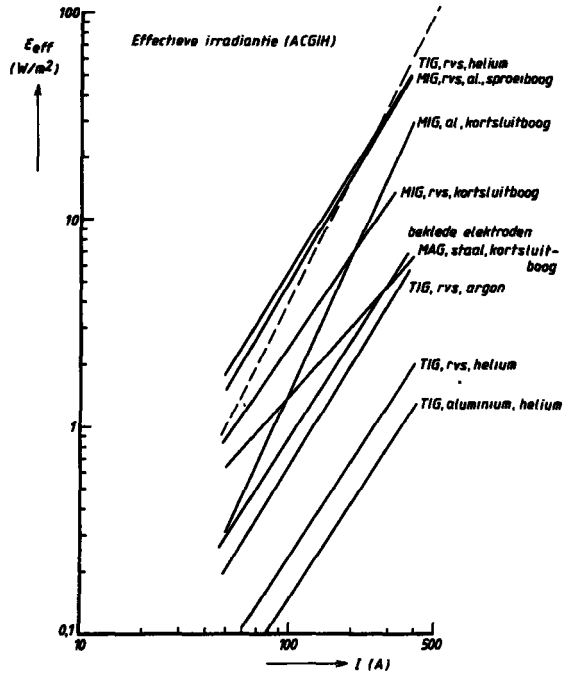


Fig. 7.1a De effectieve irradiantie als functie van de stroomsterkte op één meter afstand van de lasboog.

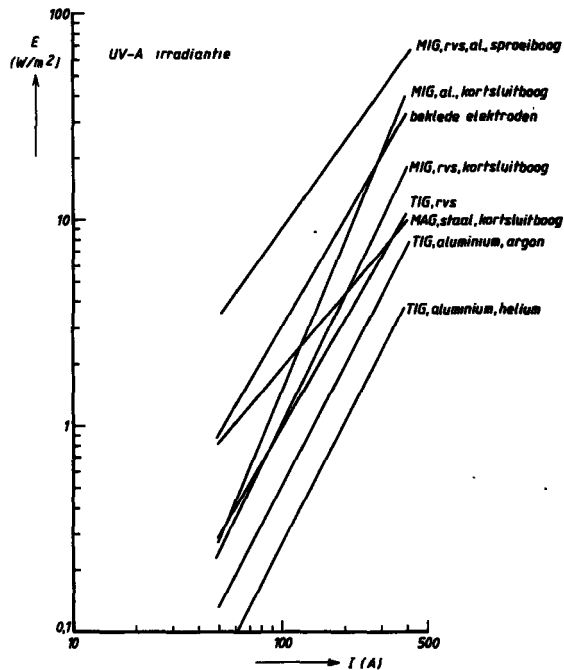


Fig. 7.1b De UV-A-irradiantie als functie van de stroomsterkte op één meter afstand van de lasboog.

## - MIG- en MAG-lassen

. roestvast staal, kortsluitboog		
effectieve irradiantie	:	$E = 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,51}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 7,2 \cdot 10^{-5} \cdot I^{2,07}$
. roestvast staal, sproeihoog		
effectieve irradiantie	:	$E = 1,65 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,77}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 2,0 \cdot 10^{-2} \cdot I^{1,36}$
. staal, massieve draad, kortsluitboog		
effectieve irradiantie	:	$E = 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,14}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,20}$
. aluminium argon, kortsluitboog		
effectieve irradiantie	:	$E = 5,85 \cdot 10^{-5} \cdot I^{2,20}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 2,6 \cdot 10^{-5} \cdot I^{2,37}$
. roestvast staal en aluminium, sproeihoog		
effectieve irradiantie	:	$E = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot I^{1,72}$
UV-A-irradiantie	:	$E = 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot I^{1,40}$

Ten aanzien van de effectieve irradiantie (ACGIH-weging) kunnen vier klassen van irradiantieniveau worden onderscheiden. De hoogste effectieve irradiantieniveaus treden op bij het MIG-lassen met sproeihoogovergang van roestvast staal en aluminium en bij het TIG-lassen van roestvast staal met helium als beschermgas. Een orde van grootte lager zijn de irradiantieniveaus bij het MIG-lassen van roestvast staal en aluminium bij kortsluitboog. De derde klasse wordt gevormd door het lassen met beklede elektroden, het MAG-lassen van staal (kortsluitboog) en het TIG-lassen van roestvast staal met argon als beschermgas. De laagste niveaus worden aangetroffen bij het TIG-lassen van aluminium. In de figuur valt de sterke helling voor het MIG-lassen van aluminium (kortsluitboog) op. Er is geen verklaring voor de afwijkende helling gevonden. Hiervoor is een nadere analyse nodig. De onderbroken lijn in figuur 7.1a geeft de door Sliney en Wolbarsht voorgestelde begrenzing van de mogelijke optredende effectieve irradiantie als functie van de stroomsterkte [9]. Deze lijn heeft de vergelijking  $E_{\text{eff}} = 4 \cdot 10^{-4} \cdot I^2$  ( $\text{W/m}^2$ ). De afgeleide verbanden uit ons onderzoek sluiten goed aan bij deze relatie.

Bij de UV-A-irradiantieniveaus is de klasse-indeling iets moeilijker aan te brengen vanwege de geleidelijkere overgangen van de niveaus. Er zijn enkele verschuivingen ten opzichte van de klasseindeling op basis van de effectieve irradiantie. De hoogste UV-A-irradiantieniveaus treden op bij het MIG-

lassen met sproeihoogovergang van roestvast staal en aluminium. De tweede klasse wordt gevormd door het MIG-lassen van aluminium met kortsluitboog en het lassen met beklede elektroden.

Het MIG-/MAG-lassen van roestvast staal en staal met kortsluitboog, het TIG-lassen van roestvast staal en het TIG-lassen van aluminium met argon als beschermgas vormen te zamen de klasse met de op één na laagste irradiantie-niveaus. De laagste niveaus tenslotte worden gevonden bij het TIG-lassen van aluminium met helium als beschermgas.

## 7.2 TOETSING AAN GRENSWAARDEN

### 7.2.1 Onbeschermdde ogen en huid

Uitgaande van de uit de metingen bepaalde verbanden tussen stroomsterkte en - effectieve - irradiantie enerzijds en de  $1/r^2$ -relatie van de verzwakking van de irradiantie als functie van de afstand tot de boog anderzijds kunnen maximale blootstellingstijden als functie van de afstand tot de boog worden berekend (zie 2.3).

De maximale blootstellingstijd uit oogpunt van de effectieve irradiantie kan, zowel volgens de ACGIH als de Gezondheidsraad, bepaald worden met:

$$t_{\max} = 30/E_{\text{eff}} \quad (\text{s}) \quad (7.1)$$

Deze formule is gebaseerd op een dagelijks toelaatbare effectieve stralingsdosis van  $30 \text{ J/m}^2$ . Volgens de Gezondheidsraad worden bij het hanteren van deze dosis als grenswaarde zowel korte termijn- en lange termijneffecten voorkomen.

Ten aanzien van de UV-A-straling geeft de ACGIH als grenswaarden bij korte termijnblootstelling (werkdag):

$$\begin{aligned} \text{blootstellingstijd} > 1000 \text{ s: } E_{\max} &= 10 \text{ W/m}^2 \\ \text{blootstellingstijd} < 1000 \text{ s: } H_{\max} &= 10.000 \text{ J/m}^2 \end{aligned}$$

Bij laswerkzaamheden zal over het algemeen de eerste eis ( $E < 10 \text{ W/m}^2$ ) van toepassing zijn.

De Gezondheidsraad stelt bij chronische blootstelling aan UV-straling een richtwaarde voor de maximaal toelaatbare UV-A-irradiantie van  $1 \text{ W/m}^2$ .

Er wordt opgemerkt dat de verbanden tussen stroomsterkte en irradiantie zijn bepaald voor een volledige plaatselijke afzuiging van de lasrook en voor een optisch vrije weg tussen lasboog en sensor. In de praktijk zal bij afwijking van deze uitgangspunten een sterkere verzwakking van de irradiantie dan de  $1/r^2$ -relatie optreden. Dit houdt lagere irradiantieniveaus en langere maximaal toelaatbare blootstellingstijden in. Daarnaast is er bij het ontsteken van de boog sprake van een hogere irradiantie (zie [1] en [13]) dan de in het onderzoek bepaalde waarden voor constante lasbogen. Dit effect zal aanleiding geven tot kortere maximaal toelaatbare blootstellingstijden c.q. een snellere overschrijding van de grenswaarden.

Uit tabel 7.1 blijkt dat de toelaatbare maximale blootstellingstijden op een afstand van een derde meter van de boog bij een stroomsterkte van 150 A bij de diverse processen variëren van enkele tienden seconden (TIG-lassen roestvast staal met helium, MIG-lassen van roestvast staal en aluminium met sproei-boog) tot circa tien seconden (TIG-lassen aluminium). Deze waarden gelden voor een onbeschermd persoon. De afstand van 0,33 m kan worden beschouwd als de gemiddelde afstand van een lasser tot de boog.

Bij alle processen wordt bij een stroomsterkte van 150 A op een derde meter afstand van de boog de richtwaarde van  $1 \text{ W/m}^2$  bij chronische blootstelling overschreden. Met uitzondering van het TIG-lasproces en het MIG-lassen van roestvast staal met kortsluitboog wordt ook bij alle lasprocessen bij 150 A de ACGIH-grenswaarde van  $10 \text{ W/m}^2$  overschreden op een afstand van een derde meter.

**Tabel 7.1** Maximaal toelaatbare blootstellingstijden op basis van de effectieve irradianctie en de UV-A-irradiantie als functie van de afstand tot de lasboog bij een stroomsterkte van 150 A bij onbeschermde huid en ogen.

Procesomschrijving	Afstand 0,33 m		Afstand 1 m		Afstand 10 m	
	$t_{\max}$ (s)	$E_{\text{UV-A}}$ (W/m <sup>2</sup> )	$t_{\max}$ (s)	$E_{\text{UV-A}}$ (W/m <sup>2</sup> )	$t_{\max}$ (s)	$E_{\text{UV-A}}$ (W/m <sup>2</sup> )
Lassen met beklede elektroden	2,0	53,5	18,2	5,8	1800	0,058
<b>TIG-lassen</b>						
roestvast staal, argon	2,7	17,7	24,3	1,9	2430	0,019
roestvast staal, helium	0,3	16,5	2,7	1,8	270	0,018
aluminium, argon	7,8	10,1	71,1	1,1	7110	0,011
aluminium, helium	12,0	5,5	110,0	0,6	11000	0,006
<b>MIG-/MAG-lassen</b>						
roestvast staal, kortsluitboog	0,7	21,1	6,8	2,3	680	0,023
staal, kortsluitboog	1,5	27,8	13,4	3,0	1340	0,03
aluminium, kortsluitboog	0,9	34,2	8,4	3,7	840	0,037
roestvast staal, aluminium, sproei-boog	0,3	143,0	3,0	15,6	300	0,16

Uit het bovenstaande blijkt dat beschermende voorzieningen voor een lasser absoluut noodzakelijk zijn.

Uit de tabel kan ook worden afgeleid dat voor personen op 1 m afstand van de boog, zoals helpers of andere lassers werkzaam aan hetzelfde werkstuk, bij een stroomsterkte van 150 A reeds zeer snel de maximaal toelaatbare blootstellingstijd wordt bereikt. Bij nagenoeg alle processen overschrijdt bij een stroomsterkte van 150 A de UV-A-irradiantie de waarde van 1 W/m<sup>2</sup>. Voor omstanders op een afstand van 10 m van de boog wordt bij geen enkel proces bij een stroomsterkte van 150 A de richtwaarde van 1 W/m<sup>2</sup> voor de UV-A-irradiantie overschreden. Ten aanzien van de maximale blootstellingstijden in verband met de straling in het actinische gebied blijkt dat op



10 m afstand van de boog bij het TIG-lassen van roestvast staal met helium en het MIG-lassen van roestvast staal en aluminium met sproeihoog binnen vijf minuten de toelaatbare dosis van  $30 \text{ J/m}^2$  wordt bereikt. Het is van belang, met name bij deze processen, een goede afscherming van de lasboog ten opzichte van omstanders te creëren.

Het zal duidelijk zijn dat bij andere stroomsterkten dan de 150 A waarop de tabel gebaseerd is andere toelaatbare blootstellingstijden geven. Een verdubbeling van de stroomsterkte zal een afname van de toelaatbare blootstellingstijd met een factor twee à vier betekenen, afhankelijk van het proces. Een halvering van de stroomsterkte betekent een verlenging van de toelaatbare blootstellingstijd met een factor twee à vier, afhankelijk van het toegepaste lasproces.

De mensen die zich in de omgeving van lasprocessen bevinden staan vaak ongemerkt aan een belasting door ultraviolette straling bloot. Deze belasting kan bij sommige processen op enige afstand nog aanzienlijk zijn zoals blijkt uit tabel 7.1. Via de veronderstelde  $1/r^2$ -relatie en de verbanden tussen stroomsterkte en irradiantie is de - effectieve - irradiantie op iedere afstand van de boog te berekenen en kan de aldaar maximaal toelaatbare blootstellingstijd worden bepaald in verband met de effectieve irradiantie:

$$E_{\text{eff},r} = \frac{k \cdot I^p}{r^2} \quad (7.2)$$

Substitutie van (7.2) in (7.1) geeft:

$$t_{\text{max},r} = \frac{30 \cdot r^2}{k \cdot I^p} \quad (7.3)$$

Uit deze relatie kan worden berekend op welke afstand van een continu lasproces iemand zich gedurende een volledige werkdag van acht uur ( $t_{\text{max}} = 8 \times 3600$  seconden) mag ophouden zonder aan enig ultraviolette stralingsgevaar bloot te staan. Indien deze afstand wordt gedefinieerd als  $r_{\text{min}}$ , dan geldt:

$$r_{\text{min}}^2 = \frac{8 \times 3600 \cdot k \cdot I^p}{30} \quad (7.4)$$

of

$$r_{\min} = \sqrt{960 k \cdot I^P/2} \quad (7.5)$$

Bij gebruik van de richtwaarde van  $1 \text{ W/m}^2$  voor chronische blootstelling aan UV-A-straling geldt:

$$1 = \frac{k \cdot I^P}{r^2} \quad (7.6)$$

of

$$r_{\min} = \sqrt{k \cdot I^P} \quad (7.7)$$

Hierbij wordt opgemerkt dat de richtwaarde voor de UV-A-irradiantie van  $1 \text{ W/m}^2$  is gesteld in verband met mogelijke schadelijke effecten op het oog. Het lijkt niet reeël te veronderstellen dat een omstander de gehele dag naar een lasboog kijkt.

Voor de beschouwde processen gelden de volgende relaties voor  $r_{\min}$  als functie van de afstand:

- lassen met beklede elektroden

effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 0,76$	$I^{0,79}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 3,2 \cdot 10^{-2}$	$I^{0,865}$

- TIG-lassen

roestvast staal, argon

effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 0,58$	$I^{0,815}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 1,8 \cdot 10^{-2}$	$I^{0,865}$

roestvast staal, helium

effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 1,73$	$I^{0,815}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 1,8 \cdot 10^{-2}$	$I^{0,865}$

aluminium, argon

effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 0,40$	$I^{0,78}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 8,2 \cdot 10^{-3}$	$I^{0,97}$

aluminium, helium

effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 0,32$	$I^{0,78}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 6,0 \cdot 10^{-3}$	$I^{0,97}$

## MIG- en MAG-lassen:

- roestvast staal, kortsluitboog		
effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 1,49$	$I^{0,755}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 8,5 \cdot 10^{-3}$	$I^{1,035}$
- roestvast staal, sproeihoog		
effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 1,26$	$I^{0,885}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 1,4 \cdot 10^{-1}$	$I^{0,68}$
- staal, massieve draad, kortsluitboog		
effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 2,67$	$I^{0,57}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 8,6 \cdot 10^{-2}$	$I^{0,60}$
- aluminium argon, kortsluitboog		
effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 0,24$	$I^{1,10}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 5,1 \cdot 10^{-3}$	$I^{1,185}$
- roestvast staal en aluminium, sproeihoog		
effectieve irradiantie	: $r_{\min} = 1,31$	$I^{0,86}$
UV-A-irradiantie	: $r_{\min} = 1,18 \cdot 10^{-1}$	$I^{0,70}$

Uit de afgeleide relaties blijkt dat bij alle combinaties de minimaal benodigde afstand op basis van de UV-A-irradiantie veel kleiner is dan die op basis van de effectieve irradiantie. De relaties voor de effectieve irradiantie zijn uitgezet in figuur 7.2.

De werkelijke bedrijfstijd per dag zal in werkelijkheid korter zijn dan de bepaling van  $r_{\min}$  veronderstelde acht uur. De waarde voor  $r_{\min}$  kan aan de werkelijke bedrijfstijd worden aangepast. Een werkelijke bedrijfstijd van twee uur leidt tot een halvering van  $r_{\min}$ , een bedrijfstijd van een half uur tot een afstand van een vierde deel van  $r_{\min}$ . De waarden van  $r_{\min}$  representeren de slechtst denkbare situatie aangezien de verzwakking van het stralingsniveau in de werkelijkheid sterker zal zijn dan de veronderstelde  $1/r^2$ -relatie.

De waarden van  $r_{\min}$  moeten worden gezien als een indicatie omtrent het gebruik van schermen of gordijnen. Uit figuur 7.2 blijkt dat, zelfs bij een bedrijfstijd van twee uur bij de meeste processen een zekere afscherming van het lasproces ten behoeve van de omstanders noodzakelijk is.

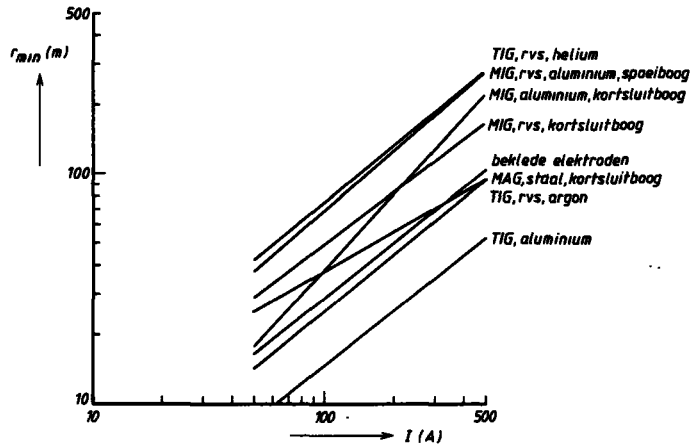


Fig. 7.2 De theoretisch veilige minimale afstand tot de lasboog als functie van de stroomsterkte uitgaande van blootstelling gedurende acht uur.

### 7.2.2 Beschermde huid en ogen

De irradiantieniveaus bij de bestudeerde lasprocessen zijn hoog. Op een derde meter afstand van de boog variëren de maximaal toegestane blootstellingstijden bij onbeschermdde huid en ogen van enkele tienden van een seconde tot ongeveer tien seconden. Voor veilig werken is de lasser dus aangewezen op gebruik van beschermende middelen. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen de bescherming van de ogen en die van de huid.

#### 7.2.2.1 Oogbescherming

Ter bescherming van de ogen wordt gebruik gemaakt van laskappen. In deze laskappen wordt een te verwisselen filterglas toegepast. Hierbij kan gekozen worden uit een aantal filternummers waarvan de filternummering gerelateerd is aan de transmissiecoëfficiënt voor zichtbare straling (licht). In bijlage A is deze afhankelijkheid gegeven en worden de maximaal toelaatbare doorlatingsfactoren voor het ultraviolette en zichtbare deel van het spectrum volgens de ontwerpnorm NEN-EN-169 [17] gegeven.

Voor het golflengtegebied van 210 tot 313 nm (het actinische gebied) zijn de doorlatingsfactoren tot en met filternummer 13 identiek. Dit golflengtegebied komt overeen met het gebied waarop de effectieve irradiantie betrekking heeft. Uitgaande van een grens van  $1 \text{ mW/m}^2$  voor de effectieve ir-

radiantie voor een acht-urige werkdag en een afstand van het hoofd van de lasser tot de boog van een derde meter kan voor ieder filter het maximaal toegestane equivalente effectieve niveau op één meter afstand van de boog worden bepaald. Deze waarden worden gegeven in tabel 7.2. Uit de transmissiecoëfficiënten kunnen voor ieder filter eveneens beschermingsfactoren worden bepaald waarbij de beschermingsfactor als de verhouding tussen de maximaal toelaatbare blootstellingstijd bij beschermde ogen en die bij onbeschermde ogen wordt gedefinieerd. Deze beschermingsfactor is in de laatste kolom van tabel 7.2 vermeld.

**Tabel 7.2** Maximaal toelaatbare equivalente effectieve irradiantieniveaus op één meter van de boog voor een persoon op een derde meter van de boog en beschermingsfactoren voor de effectieve irradiantie als functie van het filtertype.

Filter nummer	Max. doorlatingscoëfficiënt 210-313 nm	Max. $E_{\text{eff}}$ op één meter	Beschermingsfactor 210-313 nm
(-)	(%)	(W/m <sup>2</sup> )	(-)
t/m 13	0,0003	37	$3,33 \cdot 10^5$
14	0,00016	69	$6,25 \cdot 10^5$
15	0,000061	182	$1,64 \cdot 10^6$
16	0,000023	483	$4,35 \cdot 10^6$

Het gebruik van een filter geeft een zeer aanzienlijke verlenging van de toelaatbare blootstellingstijd zoals uit de tabel blijkt. Zo geeft gebruik van filternummer 11 bij alle in tabel 7.1 genoemde situaties een maximaal toelaatbare blootstellingstijd langer dan acht uur.

De doorlatingscoëfficiënten in het UV-A-gebied zijn gegeven in twee golflengtegebieden, te weten van 313 tot 365 nm en van 365 tot 400 nm. De doorlatingscoëfficiënten van het laatste gebied voor ieder filternummer zijn het hoogste. Uitgaande van de doorlating in het gebied van 365 tot 400 nm kan een minimale beschermingsfactor voor het hele UV-A-gebied, gedefinieerd als de verhouding van de irradiantie bij onbeschermde ogen en die bij beschermde ogen, worden bepaald. In tabel 7.3 worden deze beschermingsfactoren gegeven voor de filternummers 8 tot en met 16.

**Tabel 7.3** Beschermingsfactoren voor het UV-A-gebied als functie van het filtertype.

Filter nummer	Max. doorlatingscoëfficiënt		Beschermings- factor UV-A
	313-365 nm	365-400 nm	
(-)	(%)	(%)	(-)
8	0,025	0,10	1000
9	0,012	0,037	2700
10	0,006	0,014	7140
11	0,0032	0,0052	19230
12	0,0012	0,0019	52630
13	0,00044	0,00072	$1,4 \cdot 10^5$
14	0,00016	0,00027	$3,7 \cdot 10^5$
15	0,000061	0,00010	$1,0 \cdot 10^6$
16	0,000023	0,000037	$2,7 \cdot 10^6$

Door het gebruik van een filter vanaf filternummer 8 wordt dus minimaal een verzwakking van het UV-A-irradiantieniveau met een factor 1000 verkregen.

Gebruik van filternummer 11 zal bij alle in tabel 7.1 genoemde situaties een UV-A-irradiantie op de ogen lager dan  $1 \text{ W/m}^2$  opleveren.

De lasser kiest een filter waarmee hij het werkstuk nog voldoende, zonder veel inspanning kan zien. De doorlating in het zichtbare gebied bepaalt dus welk filter wordt gebruikt!

De laskap met filter geeft alleen bescherming bij juist gebruik ervan. In de praktijk komt onzorgvuldig gebruik van laskappen voor in situaties als:

- het aanstrijken (het ontsteken van de lasboog);
- het hechten, waarbij een grote nauwkeurigheid is vereist en het slechte zicht door het filter leidt tot niet gebruiken;
- het controleren, de las wordt gecontroleerd door om de kap heen te kijken.

Gezien de zéér korte toelaatbare blootstellingstijden voor onbeschermden dient het kijken naar een lasboog zonder filter ten alle tijden te worden vermeden.

Het is gezien de risico's van blootstelling aan ultraviolette straling niet logisch om een filter alleen te kiezen op basis van de doorlating in het zichtbare gebied zoals in de praktijk gebeurt. De optredende ultraviolette stralingsniveaus dienen ook als keuzecriterium toegepast te worden.

In de op te stellen richtlijn voor het veilig werken bij het lassen dienen de toe te passen filternummers als functie van lasproces en stroomsterkte te worden opgenomen. Bij een onvoldoende zicht op het werkstuk kan eventueel extra verlichting worden toegepast.

#### 7.2.2.2 Kleding

Bescherming van de huid vindt plaats door laskap en kleding waaronder de handschoenen. De laskap is over het algemeen ondoorlatend voor ultraviolette straling, afgezien van het filterglas.

Kleding laat in zekere mate ultraviolette straling door, waarbij de dichtheid van het weefsel de grootste invloedsfactor is. Via een on-line literatuurrecherche is naar gegevens over de doorlating van ultraviolette straling door kleding gezocht. Er werden slechts enkele bronnen gevonden. In tabel 7.4 worden waarden voor de doorlating van ultraviolette straling door kleding gegeven in de vorm van beschermingsfactoren (= 1/doorlatingscoëfficiënt).

Tabel 7.4 Beschermingsfactoren voor UV-straling van verschillende kledingstoffen [14, 15].

Materiaal	Beschermingsfactor	
	UV-B	UV-A
Spijkergoed, donkerblauw		1700
wol, gebreid, wit		12
katoen, wit		7
katoen, groen		10
katoen, wit, twee lagen		19
katoen, dicht, geweven, wit	86	33
katoen met kunststof, wit	43	8
katoen met kunststof, donker	32	13
linnen met kunststof, wit	43	11
linnen met katoen, wit	18	13
leer	1.300.000	

In [16] worden voor kleding, bestaande uit katoenvezels, aramide vezels of beide, beschermingsfactoren voor het golflengtegebied tot 300 nm gerapporteerd van 3250 en hoger. Deze hoge waarden zijn waarschijnlijk te verklaren uit de hoge dichtheid van de kleding ( $330-720 \text{ g/m}^2$ ). Tevens wordt gewezen op een toename in de doorlating als gevolg van slijtage van de kleding, die volgens de auteurs echter beperkt is. Enige voorzichtigheid ten aanzien van de resultaten lijkt geboden daar het hier hoogwaardige werkkleding betreft.

Vergelijking van tabel 7.4 met de tabellen 7.2 en 7.3 leert dat de beschermingsfactoren van een enkele kledinglaag, afgezien van leer, veel lager zijn dan die van de toegepaste filters in de laskappen. Bij de in tabel 7.1 genoemde situaties wordt de maximaal toelaatbare blootstellingstijd voor een lasser slechts verlengd tot enige minuten. Ook de speciale beschermende laskleding zoals beschreven in [16] met een beschermingsfactor van 3250 geeft bij de processen met de hoogste irradiatieniveaus bij gemiddelde stroomsterkte voor een lasser op korte afstand slechts een verlenging van de blootstellingstijd tot enkele tientallen minuten. Leren laskleding is bij dergelijke processen noodzakelijk. Stralingsdoses boven de grenswaarde hoeven niet noodzakelijkerwijs tot erytheemvorming te leiden aangezien bij regelmatige blootstelling zich een verminderde huidgevoeligheid kan ontwikkelen.

Bij gebruik van leren kleding wordt een verlenging van de maximaal toelaatbare blootstellingstijd vergelijkbaar met die bij het gebruik van de filters verkregen.

Naast de doorlating van de kledingmaterialen is de aansluiting, bij voorkeur door overlapping, van verschillende kledingstukken van groot belang.

De handen van een lasser bevinden zich dicht bij de lasboog en dienen beschermd te worden met speciale lashandschoenen, vaak van leer, met een overlap naar de mouwen.

In de concept-richtlijnen dienen aanbevelingen voor de kleding van een lasser opgenomen te worden gebaseerd op de optredende ultraviolette stralingsniveaus bij de verschillende processen.



### 7.2.2.3 Schermen

In 7.2.1 is aangegeven dat bij de meeste beschouwde lasprocessen op grote afstand van de lasboog toch nog aanzienlijke ultraviolette stralingsniveaus optreden. Voor de bescherming van omstanders (en lassers op andere werkplekken) is het noodzakelijk om het lasproces af te schermen. Dit kan zowel met transparante schermen als met niet-transparante schermen. Niet-transparante schermen zorgen voor een volledige ascherming van de omstanders en worden bijvoorbeeld toegepast bij lascabines. In lascabines, beperkt van afmetingen, kan niet aan grote werkstukken gelast worden. Voor de afscherming bij dergelijk laswerk kan gebruik worden gemaakt van verplaatsbare, transparante schermen. Uit oogpunt van veiligheid bieden transparante schermen het voordeel dat zicht op de lasser mogelijk blijft en ongevallen niet onopgemerkt blijven.

De doorlating voor ultraviolette straling van in de handel zijnde transparante schermen ligt in de orde van grootte van 0,01% tot 0,3% [6,9] en geven bij de beschouwde processen een voldoende verzwakking van de ultraviolette straling. Ter voorkoming van reflecties van ultraviolette straling dienen de schermen, evenals de wanden, vloer en plafond van de ruimte waarin wordt gelast, een mat, niet-reflecterend oppervlak te hebben.

In de op te stellen richtlijnen voor verantwoord werken bij het lassen dient op de noodzakelijkheid van het gebruik van schermen bij de verschillende lasprocessen gewezen te worden.

## 8. CONCLUSIES

In het gerapporteerde onderzoek zijn metingen van de spectrale irradiantie bij drie lasprocessen verricht. Het betrof het lassen met beklede elektroden, het TIG-lasproces en het MIG-/MAG-proces. Bij de diverse processen zijn een aantal van invloed zijnde parameters zoals materialen, beschermgas en stroomsterkte gevarieerd. Uit de waarden van de spectrale irradiantie zijn de effectieve irradiantie volgens de ACGIH-weging en de weging volgens de Gezondheidsraad en de UV-A-irradiantie voor elke parametercombinatie bepaald. Onderstaand worden de conclusies uit het onderzoek gegeven.

- Het spectrum van de uitgezonden straling door een lasboog wordt bepaald door in de boog aanwezige materialen (basismateriaal, toevoegmateriaal, beschermgas). Dit blijkt het duidelijkst bij het MIG-lassen van aluminium.
- Bij het lassen met beklede elektroden traden, bij volledige plaatselijke afzuiging van de lasrook, geringe verschillen op in de effectieve irradiantie en de UV-A-irradiantie tussen roestvast staal en staal.
- Er treedt een grote verandering op in vorm en niveau van het spectrum van de uitgezonden straling bij het TIG-lassen van roestvast staal met helium in plaats van argon als beschermgas. De effectieve irradiantie bij gebruik van helium is een factor 7 à 10 hoger dan bij het gebruik van argon. De UV-A-irradiantie blijft nagenoeg gelijk bij gelijke stroomsterkte. Bij het TIG-lassen van aluminium treedt het effect niet op.
- De wijze van druppelovergang (kortsluitboog/globulair/sproei-boog) is van grote invloed op de spectrale irradiantie bij het MIG- en MAG-lassen. De wijze van druppelovergang is afhankelijk van stroomsterkte en boogspanning.
- Behalve bij het MAG-lassen van staal was er geen grote invloed van het toegepaste beschermgas op de uitgezonden straling bij het MIG- en MAG-lassen. Het relatieve aandeel van de UV-A-straling in het spectrum neemt bij het MAG-lassen van massieve draad toe met een toenemend percentage CO<sub>2</sub> in het beschermgas.
- De toegepaste legering heeft een grote invloed op het niveau en de vorm van het stralingspectrum bij het MIG-lassen van aluminium. Aluminium met

enkele procenten magnesium geeft bijna een verdubbeling van de effectieve irradiantie ten opzichte van zuiver aluminium. Deze verdubbeling wordt veroorzaakt door de emissie van magnesium rond 280 nm, dus juist in het gebied met de hoogste weegfactoren.

- De hoogste irradiantieniveaus bij het MIG-lassen werden gevonden voor roestvast staal en aluminium bij sproeihoog-druppelovergang.
- De irradiantieniveaus bij de verschillende processen zijn vergeleken aan de hand van de afgeleide verbanden tussen irradiantie en stroomsterkte. De effectieve irradiantieniveaus bij de verschillende procédés kunnen worden ingedeeld in vier klassen met afnemende niveaus:

klasse 1: MIG-lassen van roestvast staal en aluminium bij sproeihoog en het TIG-lassen van roestvast staal met helium als schermgas.

klasse 2: MIG-lassen van roestvast staal en aluminium bij kortsluitboog.

klasse 3: lassen met beklede elektroden, het MAG-lassen van staal (kortsluitboog) en het TIG-lassen van roestvast staal met argon als beschermgas.

klasse 4: TIG-lassen van aluminium.

- De UV-A-irradiantieniveaus bij de verschillende processen kunnen worden ingedeeld in de volgende vier klassen:

klasse 1: MIG-lassen van aluminium en roestvast staal bij sproeihoog

klasse 2: MIG-lassen van aluminium bij kortsluitboog en het lassen met beklede elektroden.

klasse 3: MIG-/MAG-lassen van staal en roestvast staal bij kortsluitboog, het TIG-lassen van roestvast staal en het TIG-lassen van aluminium met argon als beschermgas.

klasse 4: TIG-lassen van aluminium met helium als beschermgas.

- De irradiantieniveaus zijn getoetst aan twee criteria:
  - . maximale dagelijkse effectieve stralingsenergiedichtheid  $\leq 30 \text{ J/m}^2$
  - . maximale UV-A-irradiantie  $\leq 1 \text{ W/m}^2$  (richtwaarde)

Het blijkt dat voor een onbeschermd persoon op een derde meter afstand van de lasboog de toelaatbare blootstellingstijden bij een stroomsterkte van 150 A bij de verschillende processen variëren van nog geen één tot circa tien seconden. Bij alle processen wordt onder deze condities de richtwaarde van  $1 \text{ W/m}^2$  voor de UV-A-irradiantie overschreden. Ook op enige afstand van de boog treden hoge effectieve irradiantieniveaus op die gebruik van beschermende middelen noodzakelijk maken.

- Ten aanzien van de bepaalde irradiantieniveaus wordt opgemerkt dat er tussen de waarden bepaald in laboratoriumopstellingen en waarden in de praktijk verschillen kunnen optreden als gevolg van een afwijkende booglengthe, reflectie van de straling en afscherming van de straling.
- Het gebruik van laskappen met filterglazen geeft een aanzienlijke verlagening van de irradiantieniveaus op de ogen waardoor langere blootstellingstijden mogelijk zijn. In de op te stellen richtlijnen voor het verantwoord werken bij het lassen dient een procedure voor het kiezen van het toe te passen filter (filternummer) als functie van de stroomsterkte en het lasprocédé te worden opgenomen.
- De bescherming van de huid vindt plaats door de kleding. Uit een inventarisatie van doorlatingscoëfficiënten van kleding- en kledingmaterialen blijkt dat dicht geweven kleding in verband met de gewenste beschermingsfactor, gedefinieerd als de verhouding tussen de irradiantie zonder en de irradiantie met bescherming, noodzakelijk is. De bescherming van eenvoudige kledingmaterialen is veel lager dan de bescherming van de in de praktijk gebruikte filterglazen in de laskappen. Lassers dienen op de noodzakelijkheid van goede, weinig doorlatende kleding gewezen te worden.
- Uit de minimale afstand tot een continue lasboog waarop men zich gedurende een volledige werkdag van acht uur kan bevinden zonder aan enig ultraviolet stralingsgevaar te zijn blootgesteld kan worden afgeleid dat bij alle processen in veel situaties een afscherming van het lasproces wenselijk is. In de richtlijn dient hierop te worden gewezen.

## 9. LITERATUUR

- 1) J.F. van der Wal, B. Knoll, B. Pijnappel en C.A. van der Star  
De belastende agentia en factoren bij het lassen.  
IMG-rapport F2012-06, november 1983.
- 2) C.A. van der Star  
Belasting van lassers en hun omgeving door ultraviolette straling.  
Een literatuurstudie naar meetmethoden.  
IMG-rapport C518, maart 1983.
- 3) S.W. Horstmann, E.A. Emmett, T.E. Kreichelt  
Field study of potential ultraviolet exposure from arc welding.  
Welding Research Supplement 55 (1976) p. 121-126.
- 4) J.A. Parrish, R.R. Anderson, F. Urbach  
UV-A: Biological effects of ultraviolet radiation with emphasis on  
human responses to longwave ultraviolet.  
Plenum Press, New York, 1978.
- 5) Lasers and optical radiation  
Environmental Health Criteria 33.  
World Health Organization, 1982.
- 6) D.H. Sliney, C.E. Moss, C.G. Miller, J.B. Stephens  
Semitransparent curtains for control of optical radiation hazards.  
Applied Optics, volume 20 (1981) no. 14.
- 7) C.A. van der Star  
Aanvaardbare niveaus voor ultraviolette straling.  
IMG-memorandum nr. 83-28, mei 1983 (vertrouwelijk, niet verkrijgbaar).
- 8) Threshold limit values for chemical substances and physical agents in the  
workroom environment with intended changes for 1982.  
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 1982.

Tabel A.1 Doorlatingscoëfficiënt voor filters.

nummer	Maximale spectrale transmissiecoëfficiënt $\tau(\lambda)$			$\tau_v$	
	210-313 nm	313-365 nm	365-400 nm	max	min
1,2	0,0003	50	82	100	74,4
1,4	0,0003	35	67	74,4	58,1
1,7	0,0003	22	50	58,1	43,2
2,0	0,0003	14	37	43,2	29,1
2,5	0,0003	6,4	23	29,1	17,8
3	0,0003	2,8	14	17,8	8,5
4	0,0003	0,95	5,2	8,5	3,2
5	0,0003	0,30	1,9	3,2	1,2
6	0,0003	0,10	0,72	1,2	0,44
7	0,0003	0,050	0,27	0,44	0,16
8	0,0003	0,025	0,10	0,16	0,061
9	0,0003	0,012	0,037	0,061	0,023
10	0,0003	0,006	0,014	0,023	0,0085
11	0,0003	0,0032	0,0052	0,0085	0,0032
12	0,0003	0,0012	0,0019	0,0032	0,0012
13	0,0003	0,00044	0,00072	0,0012	0,00044
14	0,00016	0,00016	0,00027	0,00044	0,00016
15	0,000061	0,000061	0,00010	0,00016	0,000061
16	0,000023	0,000023	0,000037	0,000061	0,00003