



Operationele UV-metingen bij het KNMI

F. Kuik

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut



Technical report = technisch rapport; TR 200

De Bilt, 1997

PO Box 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
De Bilt
The Netherlands
Telephone + 31 (0)30-220 69 11
Telefax + 31 (0)30-221 04 07

Author: F. Kuik

UDC: 551.501.721
551.521.17

ISSN: 90-369-2127-9

ISBN: 0169-1708



Operationele UV-metingen bij het KNMI

De instrumenten en ijkingen

F. Kuik

KNMI

INSA/IO

November 1997

Inhoud

| | | |
|--------------------|--|-------------|
| <i>INHOUD</i> | | <i>i</i> |
| <i>HOOFDSTUK 1</i> | <i>Operationele UV-metingen bij het KNMI</i> | <i>1-1</i> |
| | Inleiding | 1-1 |
| | Operationele meetopstelling | 1-2 |
| | Inwinning en opslag van de metingen | 1-2 |
| | Onderhoud | 1-3 |
| <i>HOOFDSTUK 2</i> | <i>De Meetinstrumenten</i> | <i>2-5</i> |
| | Inleiding | 2-5 |
| | De globale UV-meters CUVB1/CUVA1 | 2-6 |
| | <i>Ontwerp globale UVB en UVA-meters</i> | 2-6 |
| | <i>Optische eigenschappen</i> | 2-6 |
| | <i>Versterkers en aansluitingen</i> | 2-7 |
| | <i>Voeding</i> | 2-9 |
| | <i>Verwarming</i> | 2-10 |
| | De directe UV-meters CUVB2/CUVA2 | 2-10 |
| | <i>Ontwerp directe UVB en UVA-meters</i> | 2-10 |
| <i>HOOFDSTUK 3</i> | <i>De IJkingen van de UV-meters</i> | <i>3-13</i> |
| | Inleiding | 3-13 |
| | De ijkingen | 3-14 |
| | <i>Bepaling responsecurve</i> | 3-15 |
| | <i>Bepaling hoeveelheid gemeten stralingsenergie</i> | 3-17 |
| | <i>Bepaling ijkfactor</i> | 3-18 |
| | <i>Afregelen ijkfactor en offset</i> | 3-19 |
| | Procedure voor de ijkingen | 3-19 |
| | Beschrijving software ten behoeve van de ijkingen | 3-20 |

| | | |
|--------------------|--|------|
| | <i>Voorbeelden input files</i> | 3-21 |
| | <i>De lamp file f406.dat.</i> | 3-21 |
| | <i>Responsecurve file tuvb.dat.</i> | 3-22 |
| | <i>Responsecurve file tuva.dat.</i> | 3-22 |
| | <i>IJkfactoren en uitgangsspanningen</i> | 3-22 |
| | <i>Nauwkeurigheid van de ijkingen</i> | 3-23 |
| | <i>Nauwkeurigheid lampcertificaat.</i> | 3-23 |
| | <i>Nauwkeurigheid responsecurve</i> | 3-23 |
| | <i>Nauwkeurigheid in de uitlijning.</i> | 3-24 |
| | <i>Nauwkeurigheid van de stroom door de ijklamp</i> | 3-24 |
| | <i>Nauwkeurigheid instelling versterker en bepaling ijkfactor.</i> | 3-24 |
| | <i>De totale fout in de ijking</i> | 3-24 |
| | <i>Frequentie van de ijkingen</i> | 3-24 |
| <i>HOOFDSTUK 4</i> | <i>Referenties</i> | 27 |
| <i>HOOFDSTUK 5</i> | <i>Appendix A</i> | |
| | <i>IJkformulieren</i> | 31 |

1.1 Inleiding

Ultraviolette straling (UV) is een belangrijke stralingsgrootheid. Om een paar voorbeelden te noemen, UV kan huidkanker veroorzaken bij de mens, het kan de groei van zowel dierlijk als plantaardig leven beïnvloeden, het tast allerlei materialen aan, etc. In welke mate dit gebeurt, hangt af van de hoeveelheid UV die op het aardoppervlak, in ons leefmilieu, terecht komt.

UV is een meteorologische grootheid waar tegenwoordig steeds meer (maatschappelijk) belang aan gehecht wordt, en dan met name de trend ervan. Het is bekend dat de dikte van de ozonlaag ook op het noordelijk halfrond de afgelopen decennia dunner is geworden. Ozon absorbeert UV en het ligt dan voor de hand om te concluderen dat de hoeveelheid UV in ons leefmilieu toe zal nemen, met alle vervelende gevolgen van dien. Echter, de atmosfeer is een uiterst dynamisch systeem en behalve een afname van de hoeveelheid ozon, zijn er nog vele andere klimatologische processen gaande die via terugkoppelingen de hoeveelheid UV weer kunnen reduceren (bijvoorbeeld een toename in de hoeveelheid bewolking of aerosol).

Om uitspraken te kunnen doen over het klimatologische gedrag van UV-straling, zijn er lange meetreeksen nodig. Omdat de meeste processen die gevoelig zijn voor UV, een sterke spectrale afhankelijkheid vertonen zouden continue spectrale metingen wenselijk zijn. Echter, de instrumenten die dit voldoende nauwkeurig kunnen, zijn vanwege hun complexiteit en hoge kosten moeilijk operationeel inzetbaar. Voor trendmetingen en klimatologie zijn metingen met filterinstrumenten dan een goed alternatief. De voorwaarden zijn dan wel dat de instrumenten stabiel zijn over periodes van jaren onder alle (temperatuurs)omstandigheden, en dat de instrumentele karakteristieken (cosinusresponse, gevoeligheid, etc.) goed zijn.

De UV-meters die Kipp & Zn. produceert, zijn in samenwerking met het KNMI ontworpen en getest. Op het eerste gezicht voldoen ze aan bovengenoemde eisen, hoewel enige jaren van operationeel gebruik en nauwgezet documenteren van de ijkhistorie van de instrumenten hier pas definitief uitsluitsel over kan geven. Het

KNMI heeft besloten [Kuik, 1996] om de 3 componenten globaal/diffuus/direct van de straling te gaan meten zowel in het UVB¹ als in het UVA met de Kipp & Zn. meters.

In dit document worden beschreven de opstelling voor de UV-metingen, de UV-instrumenten, enige theorie betreffende de ijking van UV-filter-instrumenten en de voor het ijklab te volgen procedure voor het uitvoeren van de ijkingen.

1.2 Operationele meetopstelling

Bij de realisatie van het project 'Operationele stralingsmetingen Fase I' is op het dak van het KNMI-gebouw in De Bilt, een zonnevolger (Sci-Tec) geïnstalleerd. Deze bevat een plateau voor de globale stralingsmeters, met aan iedere zijkant plaats voor twee directe stralingsmeters. Bovendien kunnen er drie schaduw-schijven op gemonteerd worden die de globale stralingsmeters van de directe zonnebundel afschermen, zodat de diffuse component gemeten wordt.

Bij de installatie van de UVB en UVA-meters, is het plateau voor de globale stralingsmeters uitgebreid met drie plaatsen. Met behulp van de schaduw-schijven worden dan de diffuse componenten van de kortgolvlige straling (CM11), UVB en UVA gemeten. Op de drie extra plaatsen worden globale UVB- en UVA-meters en een CM11 geplaatst voor meting van de globale componenten. De drie directe stralingsmeters worden aan de zijkanten van de zonnevolger gemonteerd.

De normale lokatie van de opstelling is boven op het dak van het KNMI-gebouw in De Bilt. Echter, in verband met een verhuizing en renovatie van dit gebouw, zal de opstelling vanaf mei 1997 tot (naar schatting) eind 1998 op het meetveld aan de zuidkant van het gebouw, geplaatst worden.

1.3 Inwinning en opslag van de metingen

De inwinning van de metingen vindt plaats via één XSIAM waarin de 6 UV-signalen gemultiplexed worden. De ijkfactoren voor zowel de UVA als de UVB-sensoren zitten in de XSIAM ingebouwd. De XSIAM doet ieder 12 seconde een meting van de 6 UV-signalen en stuurt deze door naar het AWS. Het AWS bewaart, zoals gebruikelijk voor de meeste operationele metingen, de 10-minuut gemiddelden met de minima en maxima die in het 10-minuut interval zijn opgetreden.

De 10-minuten-data van het AWS wordt door de KD ingewonnen en bewaard. Er zal een testperiode zijn waarin de data wel ingewonnen wordt, maar nog niet als operationele data aangemerkt zal zijn. Hoe lang dit zal duren hangt af van de meetresultaten, alsmede van de procedures die nodig zijn (en nog ontwikkeld moeten worden) om de metingen te valideren. Wanneer het gehele systeem naar behoren werkt en er validatieprocedures zijn, worden de opstelling en de data operationeel verklaard. Het gehele stralingsstation De Bilt bevat dan de componenten directe straling, diffuse straling en globale straling van de kortgolvlige straling (CM11, CH1), en tevens die in het UVA en UVB.

De opslag van deze negen componenten door de KD in de operationele database (KIS) is vooralsnog niet geregeld, maar er zijn echter plannen om dit in het najaar 1997 voor elkaar te hebben.

1. UVB is het deel van het UV-spectrum met golflengten tussen 280 en 320 nm (ook 315 wordt soms als bovengrens gehanteerd, maar hier wordt 320 aangehouden). UVA bestrijkt de golflengten 320 tot 400 nm.

1.4 Onderhoud

Zoals beschreven in TR-197 [Kuik, 1997], levert het niet schoonmaken van de domes van CM11- en in het operationele KNMI-netwerk in de meeste gevallen geen problemen op voor de nauwkeurigheid en kwaliteit van de metingen. Echter, de UV-meters bevatten verwarmingselementen, die de temperatuur van de filters/diodes continu op 40 °C houden. De restwarmte zorgt ervoor dat er in de winter geen sneeuw op de domes komt en dat wanneer de domes vochtig zijn, ze 'actief' gedroogd worden. Uit de testfase waarin deze meters op het dak van het KNMI uitgeprobeerd zijn, is gebleken dat door dit drogen, de domes van de UV-meters aanzienlijk sneller vervuilen dan die van de CM11. Derhalve wordt geadviseerd *de domes van de globale/diffuse UV-meters en het venster van de directe UV-meters minimaal één maal per week schoon te maken*. Dit kan gebeuren met een schone droge (zak)doek, een stropdas of enige andere stof die niet krast en bij voorkeur niet pluist. Als het vuil aangekoekt zit, dan kan het geen kwaad even uit te ademenen over de bol zodat deze enigzins vochtig wordt. Bij gebruik van vocht moet er echter goed opgelet worden dat de bol niet vol vegen en strepen wordt achtergelaten.

2.1 Inleiding

Er is bij het KNMI voor gekozen om de operationele UV-metingen zoveel mogelijk naar analogie van de kortgolelige stralingsmetingen te doen. Er worden dus 3 componenten gemeten: de directe, de diffuse en de globale. Verder zijn er 2 golflengtebanden gekozen. De eerste ligt in het UVB bij 306 nm de tweede in het UVA bij 368 nm.

De UV-meters die het KNMI gaat gebruiken, zijn gefabriceerd door Kipp & Zn. en zijn van het type CUVB1/CUVA1 voor de globale en diffuse componenten en van het type CUVB2/CUVA2 voor de metingen van de directe componenten.

In de bij de instrumenten geleverde handleidingen [Kipp & Zn., 1996] is een uitgebreide beschrijving te vinden van de instrumenten zoals zij standaard gemaakt worden. Echter, de instrumenten die door het KNMI gebruikt zullen worden hebben enige modificaties ondergaan (door Kipp & Zn. uitgevoerd):

- er is een versterker toegepast op het uitgangssignaal,
- het in de standaard UV-meters negatieve uitgangssignaal, is omgezet in een positieve uitgangsspanning,
- de versterkingsfactor is afregelbaar gemaakt, evenals een eventueel aanwezige offset,
- in plaats van in de manual genoemde 11-polige pluggen voor de aansluitingen van de versterker op de XSIAM, zijn er voor de KNMI-uitvoering 7-polige Fischer-pluggen gebruikt; daardoor zijn de aansluiting zoals in de manual vermeld, niet geldig voor de KNMI-instrumenten.

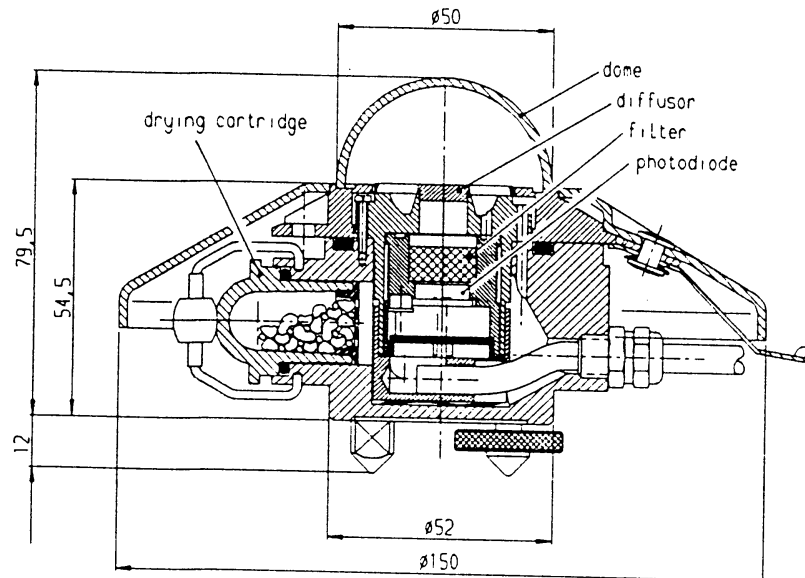
Gedetailleerde informatie over de meetinstrumenten is in de manuals [Kipp & Zn., 1996] te vinden. Echter, omdat de manuals niet meer geheel in overeenstemming zijn met de KNMI-instrumenten, wordt de essentiële informatie hier kort samengevat.

2.2 De globale UV-meters CUVB1/CUVA1

De CUVB1/CUVA1 zijn de instrumenten die de globale UV-straling meten. Alle straling afkomstig van de (halve) hemelbol boven de instrumenten wordt dus geregistreerd. Deze instrumenten worden ook gebruikt om de diffuse component te meten door de schijf van de zon aan de hemel af te schermen. Het cijfer 1 aan het eind van de typeaanduiding geeft aan dat het om de globale meters gaat.

2.2.1 Ontwerp globale UVB en UVA-meters

In Figuur 2.1 is schematisch een CUVB1/CUVA1 weergegeven. Deze instrumenten zijn identiek, op het UV-filter na. De behuizing van de instrumenten is identiek aan die van de CM11 (pyranometer), hoewel de diffusor, die karakteristiek is voor dit soort UV-meters, duidelijk zichtbaar is onder de 'kwarts-dome'.



Figuur 2.1. Schematische weergave van de CUVB1/CUVA1. Alleen de filters zijn verschillend in beide instrumenten (overgenomen uit de Kipp & Zn. handleiding).

2.2.2 Optische eigenschappen

Om de juiste golflengtebandjes te meten, worden interferentiefilters toegepast in de UV-meters. Deze interferentiefilters zijn temperatuurgevoelig. Om fluctuaties van de filtertemperatuur te voorkomen, worden deze continu verwarmd tot een temperatuur van ongeveer 40 °C. De bandbreedte van het UVB-filter is in de orde van 2,5 nm, die van het UVA-filter in de orde van 10 nm. In Tabel 2.1 zijn de optische eigenschappen van de instrumenten, volgens de fabrikant en volgens eigen metingen, samengevat.

Merk hierbij op dat, wat de resultaten van KNMI-metingen voor de UVB-meter betreft, het om de responsecurve (zie Hoofdstuk 3) gaat, terwijl van de UVA-meters alleen de transmissiecurve van het gebruikte interferentiefilter is gemeten. Van beide curven zijn figuren te zien in Hoofdstuk 3, waar ook dieper ingegaan wordt op de betekenis van de responsecurve en de filtertransmissie.

TABEL 2.1. De optische eigenschappen van de CUVB1 en CUVA1, volgens de fabrikant en eigen metingen. De centrale golflengte is gemeten bij een temperatuur van 40 °C voor de UVB-meters en bij 20 °C voor het filter van de UVA-meter. Het golflengtegebied bij de meting van de 'side band rejection' is 300 – 4000 nm.

| | CUVB1 | | CUVA1 | |
|----------------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| | Kipp & Zn. | KNMI | Kipp & Zn. | KNMI |
| Centrale golflengte | 306 ± 0.2 nm | 306.1 ± 0.1 nm | 368.0 ± 2.0 nm | 367.9 ± 0.1 nm |
| FWHM | 2 ± 0.5 nm | 2.2 ± 0.2 nm | 10.0 ± 1.0 nm | 8.4 ± 0.2 nm |
| 'Side band rejection' | 10 ⁻⁷ | – | 10 ⁻⁶ | – |
| Cos. fout (10° zonshoogte) | < ± 10% | – | < ± 10% | – |

2.2.3 Versterkers en aansluitingen

Gebaseerd op UV-metingen die al gedaan werden bij het KNMI, is er een schatting gemaakt van de maximale hoeveelheden stralingsenergie voor de drie componenten in zowel het UVB als het UVA. Hierbij is rekening gehouden met de bandbreedte van de filters. In Tabel 2.2 is te zien wat deze maxima zijn, wat 'normale' waarden zijn die op zonnige zomerdagen (waarbij de zon tot zo'n 60° hoogte komt) gemeten worden, en wat de (afgeregelde) ijkfactoren zijn.

TABEL 2.2. De maximaal te meten stralingsenergie (2^e kolom) is gebaseerd op UV-metingen die al gedaan worden bij het KNMI. Als voorbeeld, de 3^e kolom bevat maximale waarden gemeten waarden van 15 juni 1996, wat een gedeeltelijk onbewolkte dag was. De ijkfactoren corresponderen voor de CUVB1 met 0.6 Wm⁻² ~ 4 V, voor de CUVB2 met 0.2 Wm⁻² ~ 4 V, en voor de UVA-meters met 16 Wm⁻² ~ 4 V.

| Instrument | Maximaal te meten (Wm ⁻²) | Maximaal onbewolkt, zomer (Wm ⁻²) | Ijkfactor (V/(Wm ⁻²)) |
|------------|---------------------------------------|---|-----------------------------------|
| CUVB1 | 0.6 | 0.35 | 6.667 |
| CUVB2 | 0.2 | 0.15 | 20.0 |
| CUVA1 | 16.0 | 8.8 | 0.25 |
| CUVA2 | 16.0 | 6.2 | 0.25 |

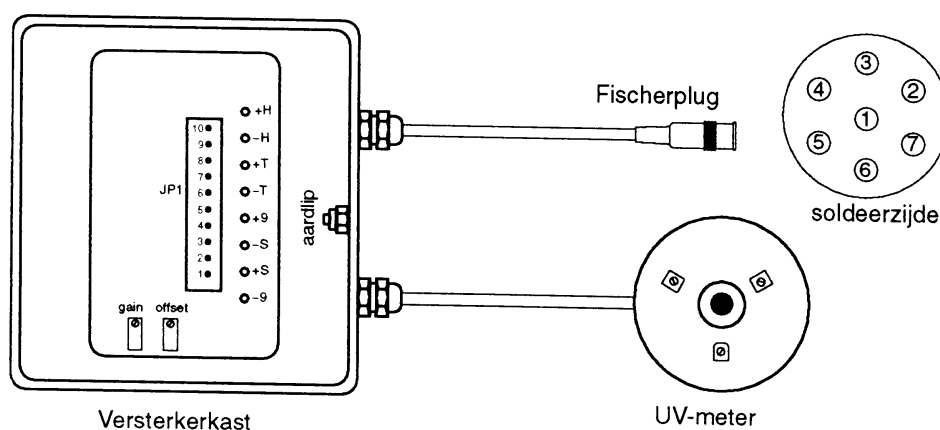
Het uitgangssignaal van de UV-meters wordt aan een versterker aangeboden, die het vervolgens op de ingang van de XSIAM zet. De XSIAM kan een beperkt bereik van ingangsspanningen aan van -4 V tot +4 V. De UV-meters zijn zo geconstrueerd dat de uitgangsspanningen altijd positief zijn. Verder zijn de ijkfactoren van de instrumenten instelbaar gemaakt, zodat bij een maximale

hoeveelheid UV het signaal niet groter wordt dan 4 V. De hiertoe gekozen ijkfactoren zijn in Tabel 2.2 gegeven.

Behalve dat de ijkfactor afregelbaar gemaakt is, kan ook de offset van de versterkers afgeregeld worden. In Figuur 2.2 is te zien hoe de UV-meters aangesloten zijn op de versterker. De kabel die van de UV-meter doorloopt de versterkerkast in, is doorverbonden (met soldeerverbindingen) op de printplaat volgens Tabel 2.3. Deze kabel is afgeschermd en de afscherming moet in de versterkerkast verbonden worden met de aardlip.

TABEL 2.3. De aansluitingen van de kabel die van de versterkerkast naar de UV-meter loopt. De individuele kabeltjes zijn op de printplaat gesoldeerd op de aangegeven plaatsen (zie Figuur 2.2).

| Kabelkleur | Aansluiting op de printplaat |
|------------|------------------------------|
| geel | +H |
| groen | -H |
| grijs | +T |
| bruin | -T |
| rood | +9 |
| zwart | -S |
| wit | +S |
| blauw | -9 |



Figuur 2.2. Schema zoals de UV-meters met de versterkers op de XSIAM en voeding aangesloten worden. In het bovenaanzicht van de versterkerkast zijn de potmeters voor de afregeling van de versterker (gain) en offset te zien. De aansluitingen van de signaalkabels en de voeding in de 7-polige Fischerplug is ook gegeven, met de bijbehorende kleuren van de bedrading.

De kabel voor de voeding en de signalen wordt met een 7-polige Fischerplug op de KNMI-apparatuur aangesloten. De aansluiting van de bedrading is in Figuur 2.2 aangegeven. Deze draden zijn in de versterkerkast aangesloten op de aansluitstrip JP1 volgens Tabel 2.4.

TABEL 2.4. De aansluitingen van de kabel die via de Fisherplug van de KNMI-apparatuur naar de versterkerkast loopt. De verbindingen van de individuele kabeltjes op de aansluitstrip JP1 zijn in de tabel gegeven (zie ook Figuur 2.2).

| Kabelkleur | Aansluitingen op JP1 | Signaal |
|------------|----------------------|---------|
| grijs | JP1-2 | temp+ |
| bruin | JP1-3 | temp- |
| wit | JP1-4 | sensor+ |
| zwart | JP1-5 | sensor- |
| blauw | JP1-9 | -15V |
| rood | JP1-10 | +15V |
| geel | aardlip | 0V |

Ook deze kabel is afgeschermd en de afscherming dient weer doorverbonden te worden met de aardlip. De afstand tussen de Fischerplug en de XSIAM mag maximaal 60 m bedragen.

In de figuur is een schematisch bovenaanzicht van het binnenwerk van een versterkerkast te zien, met de potmeters voor de afregeling van de versterkingsfactor ('gain') en de offset en de aansluitingen van de kabels. De manier waarop de kabel aan de Fischerplug gesoldeerd is (met de kleuren van de individuele kabels), is ook gegeven.

Kipp & Zn. krijgt van de fabrikant van de filters de transmissiekenmerken. Echter, om een instrument te ijken, dienen ook de golflengteafhankelijkheden van de diffuser en de fotodiode (detector) in rekening gebracht te worden. De combinatie van deze drie componenten (plus mogelijk nog onbekende extra golflengteafhankelijke factoren), de *responsecurve* genoemd, levert Kipp & Zn. niet bij de instrumenten. Dit is de reden dat de instrumenten bij het KNMI doorgemeten zijn. De ijkprocedure die Kipp & Zn. toepast is naar onze mening niet geheel correct en er is dan ook voor besloten de eigen procedure, zoals beschreven in Hoofdstuk 3, te volgen.

2.2.4 Voeding

De UV-instrumenten hebben een voeding nodig van $-15 V_{dc}$ en $+15 V_{dc}$ die een maximale stroom van 1 A moet kunnen leveren. Deze voeding wordt gebruikt voor de fotodiode en ook voor het verwarmingselement. Bij het aanzetten van de meters (het aanschakelen van de voeding) trekt het verwarmingselement inderdaad behoorlijk wat stroom en is de 1 A nodig. Na enige minuten stabiliseert de verwarming zich rond de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en neemt het stroomverbruik sterk af.

2.2.5 Verwarming

Zoals in voorgaande sectie vermeld, bevatten de UV-meters een verwarmingselement. Deze wordt gebruikt om de interferentiefilters en de fotodiode op een constante temperatuur te houden. De voeding voor de verwarmingselementen wordt geleverd door de +15 V/-15 V voeding.

De temperatuur van het filter/sensor is uit te lezen (zie Figuur 2.2, de temperatuursignalen aan de Fischerplug), hoewel dit in de operationele opstelling niet gedaan wordt. Wanneer de instrumenten geïjkt worden, moet het temperatuursignaal gecontroleerd worden om te zien of de verwarming nog functioneert. *Dit is het enige moment dat de verwarming gecontroleerd wordt en mag niet overgeslagen worden.*

Het temperatuursignaal is een spanning van rond de 3.13 V. Het idee van deze spanning is dat, wanneer het met 100 vermenigvuldigd wordt, het de temperatuur in Kelvin geeft. Om het in °C te verkrijgen,

$$T(^{\circ}\text{C}) = V \cdot 100 - 273 \quad (2.1)$$

De gevonden temperatuur moet 40 ± 2 °C zijn voor omgevingstemperaturen tot 25 °C. Voor hogere temperaturen mag deze gaan afwijken met 10 mV/°C.

2.3 De directe UV-meters CUVB2/CUVA2

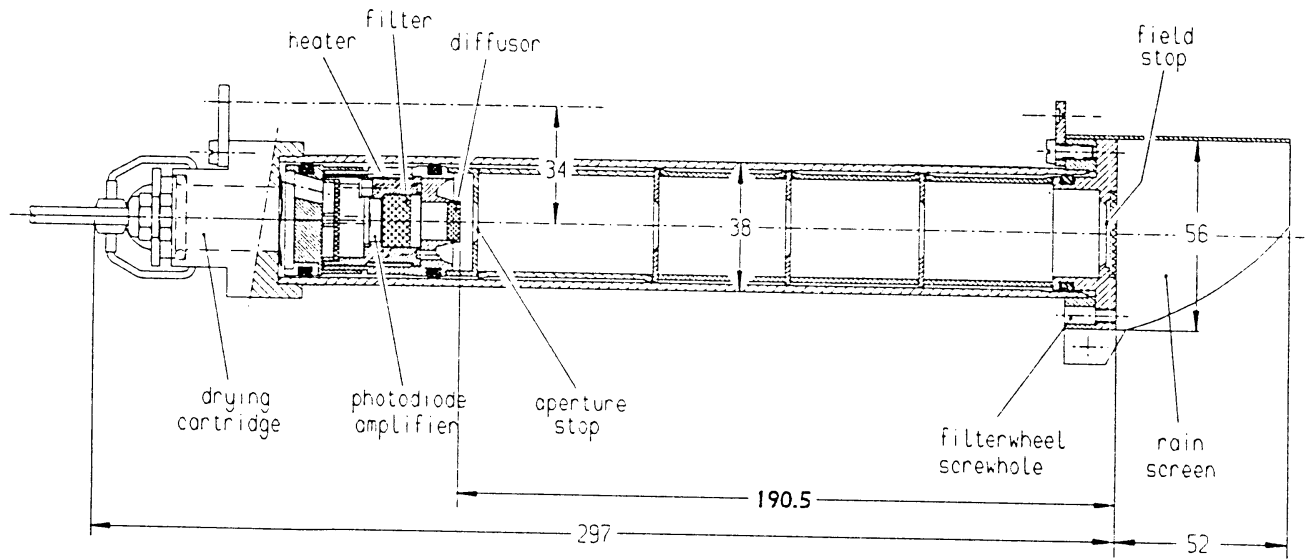
2.3.1 Ontwerp directe UVB en UVA-meters

In Figuur 2.3 is schematisch een CUVB2/CUVA2 weergegeven (de 2 geeft aan dat het hier om directe stralingsmeters gaat). Deze instrumenten zijn ook weer identiek, op het UV-filter na. De behuizing van de instrumenten is identiek aan die van de CH1 (pyrheliometer). De sensoren in de CUVB2 en CUVA2 zijn identiek aan die in de CUVB1 en CUVB2, respectievelijk. Daarom wordt er vanuit gegaan dat de eigenschappen van deze sensoren ook hetzelfde zijn als die van de CUVB1 en CUVA1.

Er zijn bij de geometrie van directe stralingsmeters twee hoeken van belang: de zogenaamde *slope angle* en de *openingshoek*. Deze hoeken zijn respectievelijk 1 en 5° groot voor zowel de CUVB2 als CUVA2 (zie de handleiding van de instrumenten voor meer informatie).

Voor het meten van de responsecurve van instrumenten dient nog het volgende opgemerkt te worden. Er is slechts van één UVB-meter de responsecurve gemeten, en van één UVA-meter de transmissie van het filter. De reden voor het doormeten van slechts één UVB-meter is dat het een zeer bewerkelijke procedure is. Bovendien zijn alle gebruikte UVB-filters uit één batch afkomstig, wat de verschillen tot een minimum reduceert. Van de UVA -meters is alleen de transmissie van het filter gemeten vanwege technische problemen met het meten van de totale responsecurve. In Hoofdstuk 3 wordt hier verder op ingegaan.

Aangezien op de behuizing na, de sensoren in de CUVB1 en CUVB2 identiek zijn, en alle overige componenten ook, worden de CUVB2's niet verder besproken. Het zelfde geldt voor de CUVA1 en CUVA2.



Figuur 2.3. Schematische weergave van de CUVB2/CUVA2. Alleen de filters zijn verschillend in beide instrumenten.

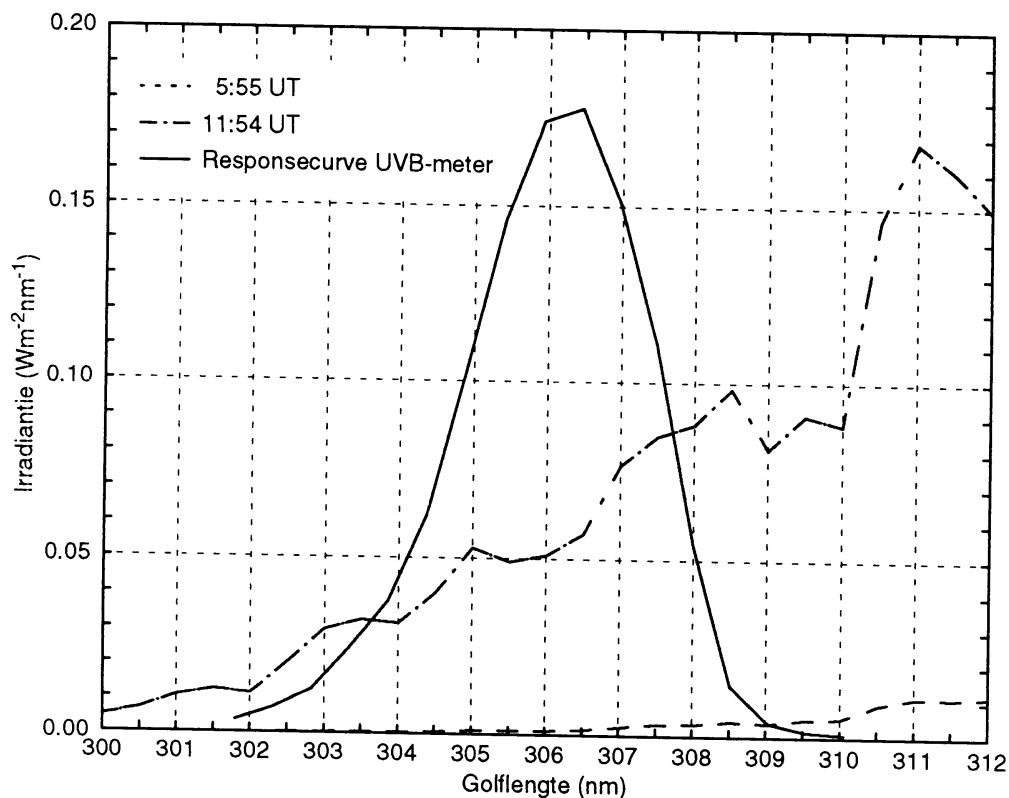
3.1 Inleiding

Kipp & Zn. levert alle stralingsmeters met een ijking. Er zijn echter redenen waarom de ijkingen door het KNMI in het UV-lab opnieuw gedaan worden.

- *De ijprocedure zoals Kipp & Zn. die uitvoert, is fysisch gezien niet correct.* Met name voor de UVB-meters geeft dit onjuiste meetwaarden. Dit is als volgt in te zien.

Bij de vaststelling van de ijfactor volgens de methode van Kipp & Zn., wordt de meter voor een geijekte lamp gehouden en vervolgens wordt de uitgangsspanning gemeten. De ijfactor wordt dan bepaald door deze spanning te delen door de *spectrale intensiteit* van de lamp bij 306 nm. De eenheid van hun ijfactor is dus $V/(Wm^{-2}nm^{-1})$.

Echter, de UV-meter meet *niet* spectraal, maar in een gaussvormige band met een breedte (FWHM) van ongeveer 2.5 nm. De gemeten uitgangsspanning correspondeert dus niet met een meting in een golflengtebandje van 1 nm, maar met de totaal gemeten stralingsenergie in een golflengteband van ongeveer 2.5 nm. Wanneer 's morgens de zon opkomt en 's avonds ondergaat, wordt het UV-spectrum van de zon aan de korte golflengte kant afgekapt doordat ozon dan veel UV absorbeert (lange optische weglengte van het zonlicht door de atmosfeer). Het zonnenspectrum loopt daar ook zeer 'steil'. Dit heeft tot gevolg dat er alleen UV gedetecteerd wordt door het meetinstrument met golflengtes groter dan een bepaalde ondergrens, bijvoorbeeld 306 nm. Omdat Kipp & Zn. de ijfactor geeft alsof het een gemeten signaal bij 306 nm betreft, is dit niet correct. Om dit effect te verduidelijken is in Figuur 3.1 de responsecurve van de UVB-meter te zien, samen met een zonnenspectrum bij een laag en een hoog aan de hemel staandzon. In het laatste geval worden wel het gehele golflengtegebied van de responsecurve met UV belicht.



Figuur 3.1. In de figuur is te zien hoe de responsecurve van de UVB-meter door zonnenspectra belicht wordt. Als de zon laag staat (zwarte streepjeslijn, zonshoogte is 20.5°), wordt slechts een deel van het filter belicht. Als de zon stijgt aan de horizon, dan 'schuift' het spectrum omhoog en naar links (streepstippelijijn, zonshoogte 61.3°). In dat geval wordt wel de gehele responsecurve belicht. De spectrale UV-metingen zijn gedaan met de KNMI-Brewer op 25 juni 1996.

Samengevat, in principe is het onjuist om voor een filter instrument een *spectrale ijking* in $V/(Wm^{-2}nm^{-1})$ te geven, maar hoort dit in $V/(Wm^{-2})$ te zijn. Verder geeft zo'n spectrale ijking voor situaties met een laag aan de hemel staande zon, misleidende informatie.

- De referentie-UV-meters die Kipp & Zn. gebruikt om de door hun verkochte UV-meters te ijken, zijn bij en door het KNMI geijkt met een standaardlamp. Omdat bij het KNMI dit soort ijkingen uitgevoerd kan worden, bestaat de noodzaak niet om een overgedragen ijking van Kipp & Zn. te gebruiken. Het heeft de voorkeur om de instrumenten direct tegen de standaardlamp te ijken.

3.2 De ijkingen

De ijkprocedure voor filterinstrumenten bestaat uit een aantal stappen. Het maakt in principe niet uit of het UV-meters zijn of stralingsmeters voor een ander deel van het zonnenspectrum, de methode voor ijkingen van filterinstrumenten blijft hetzelfde.

Echter, een deel van het zonnenspectrum dat moeilijkheden oplevert bij meting ervan, is het UVB-deel van het zonnenspectrum (280--320 nm) omdat het spectrum daar erg steil loopt. In Figuur 3.1

is te zien dat als de zon 61.3° hoog staat, het verschil in spectrale intensiteit bij 300 en 310 zo'n factor 18 is. Het instrument wordt geijkt met een lamp die spectraal bijna vlak is over dit golflengte-gebied. Wanneer het spectrum waaraan men wil meten, erg afwijkt van het spectrum waarmee het instrument geijkt wordt, kan de interpretatie van de gemeten irradianties fout zijn. Om een voorbeeld te noemen, met de spectraal vlakke ijklamp is bepaald dat de centrale golflengte van de UVB-meters bij 306.1 nm ligt. Wanneer de ijklamp een soortgelijk steil spectrum zou hebben als dat van de zon, dan zou de centrale golflengte meer naar de 307 of 308 nm verschuiven. De centrale golflengte is immers gedefinieerd als die golflengte die de totaal gemeten hoeveelheid stralingsenergie met deze responsecurve precies in tweeën verdeelt.

De stappen die voor de ijking van filterinstrumenten gemaakt dienen te worden zijn:

1. het bepalen van de *responsecurve* van het instrument,
2. het berekenen van de hoeveelheid stralingsenergie die op de sensor valt d.m.v. vermenigvuldiging van de responsecurve met de irradiantie van de ijklamp, gevolgd door integratie over het golflengtegebied waar de sensor meet,
3. het bepalen van de factor waarmee de gemeten uitgangsspanning van het instrument in stralingsenergie (Wm^{-2} , gemeten in het golflengtebandje) omgerekend kan worden,
4. en tot slot, indien nodig, het afregelen van de ijfactor en de offset.

Deze 4 stappen zullen nu besproken worden. merk op dat de procedure voor de ijkingen van de globale en directe meters identiek is. De afmetingen van de spiraal van de ijklamp en de geometrie van de directe stralingsmeters zijn zodanig dat de behuizing van het instrument niet uitmaakt: de sensoren in de globale en directe meters 'zien' dezelfde lampbundel.

3.2.1 Bepaling responsecurve

Vaak zijn de filters in stralingsmeters interferentiefilters, zo ook in de Kipp & Zn. UV-meters. Deze filters hebben als voordeel dat de bandbreedte klein gemaakt kan worden, tot slecht 2 a 3 nm. Ze hebben echter ook flink vervelende eigenschappen, met name zijn ze sterk temperatuurafhankelijk, zowel de 'breedte' als de centrale golflengte wordt bepaald door de hoek waaronder het licht op het filter valt, en ze zijn aan veroudering onderhevig.

De detector die in UV-meters gebruikt wordt, is een fotodiode. Verder zit er voor het UV-filter nog een 'diffuser', die bij de globale stralingsmeters dient om een goede cosinus-response te verkrijgen en bij directe stralingsmeters ook aanwezig is om de sensor een identiek gedrag te geven als dat van de globale sensoren (een directe bestraling van het interferentiefilter zou een slechte invloed op de metingen kunnen hebben vanwege de richtingsgevoeligheid van de filters voor de opvallende straling).

De responsecurve van een stralingsmeter kan gedefinieerd worden als de spectrale output van de meter genormeerd op de maximale waarde, bij gebruik van een spectraal vlakke bron. De responsecurve is dus een dimensieloze spectrale grootheid, waarvan de waarden tussen de 0 en 1 liggen. De golflengtegevoeligheid van de combinatie van diffuser, interferentiefilter en fotodiode bepalen uiteindelijk de responsecurve van een instrument. Bij het bepalen (meten) van de totale responsecurve is het (bijna) onmogelijk om de responsecurves van de individuele componenten te bepalen. De efficiëntste aanpak is om het complete instrument als een 'black box' te beschouwen met een responsecurve

$$R(\lambda) = D(\lambda) F(\lambda) G(\lambda) X(\lambda) . \quad (3.1)$$

Hierin is λ de golflengte van het licht, $D(\lambda)$ de golflengteafhankelijke response van de diffuser, $F(\lambda)$ die van het UV-filter, $G(\lambda)$ die van de detector en $X(\lambda)$ van nog mogelijke onbekende golflengte afhankelijke factoren.

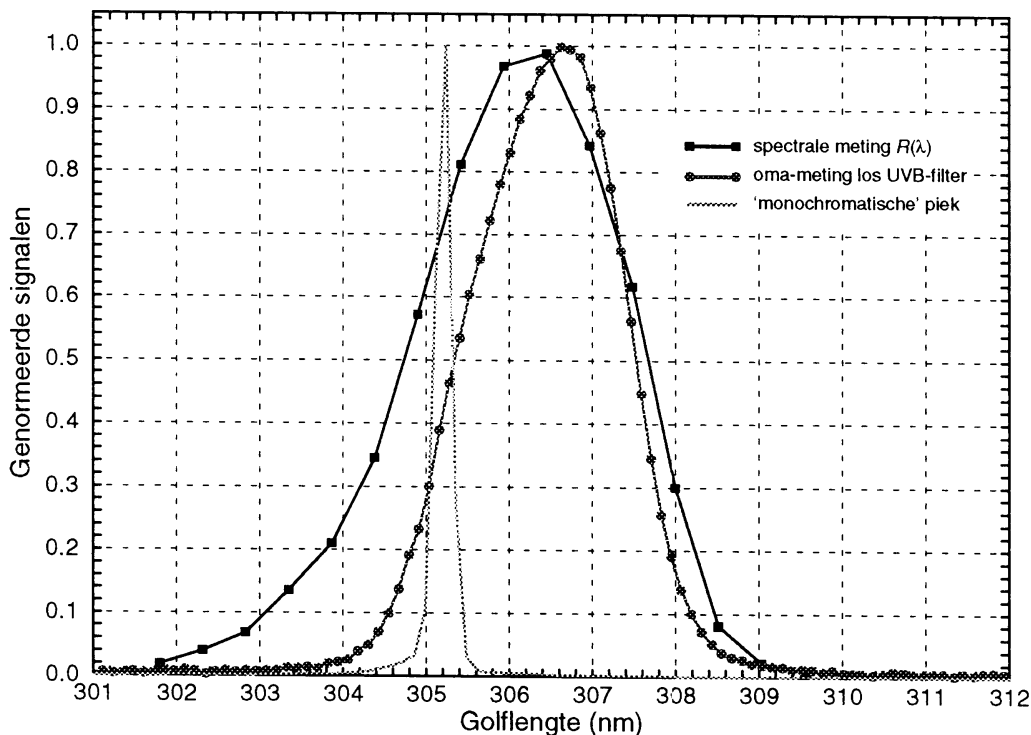
De bepaling van de responsecurve van de CUVB1-meter is als volgt uitgevoerd. Om te beginnen is er een lichtbron nodig die veel UV(B) produceert. Deze is in het UV-lab aanwezig in de vorm van een hoge-druk kwiklamp. Deze lamp produceert een 'semi-continu' spectrum, met een hoge intensiteit in het UV. De reden dat het spectrum 'semi-continu' genoemd wordt is dat lampen, waar kwikdamp in zit, ook sterke spectrale lijnen vertonen. Kwik heeft een aantal van deze spectrale lijnen in het UV-gebied en het is, daar waar deze sterke pieken ver boven het continue achtergrond spectrum uit steken, niet mogelijk deze lamp te gebruiken voor ijkingen. Voor het doormeten van de UVB-meters zijn er geen problemen omdat in dit golflengtegebied geen spectrale kwiklijnen zitten (bij 302 nm zit een lijn, maar die zit te ver van de centrale golflengte om er last van te hebben). Echter, de UVA-meters meten ongeveer tussen 363 en 373 nm, terwijl er een serie kwiklijnen tussen de 365 en 367 nm zitten. De responsecurve van de UVA-meters kon daarom niet doorgemeten worden met deze lamp.

De output van de kwiklamp wordt vervolgens aangeboden aan een monochromator met een brandspuntsafstand van 0.25 m, een tralie van 1200 lijnen per mm en in- en uitgangsspleten van 50 μm . Dit resulteerde in een spectrale lijn van 0.25 nm breed. De (centrale) golflengte van deze lijn kon door de tralie van de monochromator te draaien, gevarieerd worden. Een teller op de monochromator geeft daarbij de positie van de tralie aan en wordt gebruikt ten behoeve van een golflengteijking. Om de monochromator van een golflengteijking te voorzien is de spectrale lijn gemeten met de Optical Multichannel Analyzer, kortweg OMA genoemd. Dit is een diodearray-instrument die met behulp van een lage druk kwiklamp golflengte-geijkt is. De OMA is ook in absolute zin geijkt, d.w.z. dat de absolute intensiteit van de piek die uit de monochromator komt, ook bekend is. De monochromator wordt dus met de OMA zowel in golflengte als in absolute zin geijkt. Dit betekent dat de monochromator daarna als geijkte spectrale lichtbron kan dienen die gebruikt kan worden om de responsecurves van de UV-meters te meten.

Vervolgens is de CUVB1 achter de monochromator gezet. De begingolflengte is 300 nm genomen omdat daar ongeveer de detectieondergrens van het instrument ligt. Toen zijn er metingen gedaan van 300 nm tot 310 nm, met een stap van 0.5 nm, waarbij de uitgangsspanningen van de CUVB1 genoteerd werden. De uitgangsspanningen zijn daarna gecorrigeerd voor de golflengteafhankelijke output van de monochromator. Dit leverde uiteindelijk de responsecurve $R(\lambda)$ op zoals die te zien is in Figuur 3.2.

In deze figuur is ook opgenomen een meting van de transmissiecurve van het UVB-filter alleen (wel met een extra 'blocking-filter' zoals die ook in de operationele instrumenten zit), die met de OMA gedaan is. Het is duidelijk te zien dat de centrale golflengte van beide curves ongeveer een halve nm verschilt en dat de responsecurve een grotere breedte heeft dan de transmissiecurve. Hiervoor zijn een aantal oorzaken. In de eerste plaats is de temperatuur van het filter in de UV-meter (en ook die van de fotodiode) ongeveer 40 °C, terwijl het losse filter ongeveer 20 °C was. Verder is de responsecurve opgemeten met een spectrale lijn met een FWHM van ongeveer 0.25 nm, hetgeen de gemeten responsecurve wat breder doet lijken (klein effect). De rest van het effect wordt veroorzaakt door de golflengteafhankelijkheid van de overige componenten in de UV-meter.

Wanneer $R(\lambda)$ blokvormig is met een breedte van 1 nm, dan geeft $R(\lambda)$ precies de hoeveelheid straling in Wm^{-2} per nm, bij een bepaalde golflengte.



Figuur 3.2. In de figuur is de gemeten responsecurve van de CUVB1 te zien (vierkantjes). Dat deze behoorlijk afwijkt van de transmissiecurve van alleen het UVB-filter (bolletjes) is te zien aan de meting daarvan. De responsecurve is opgemeten met de monochromatische piek.

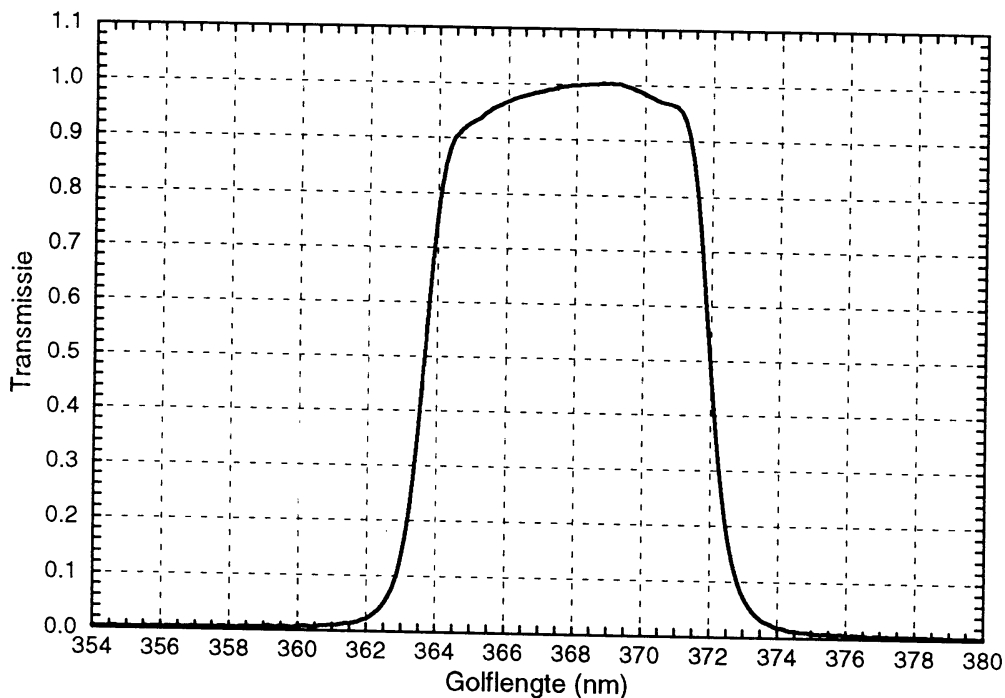
Zoals eerder vermeld, is er geen responsecurve van de UVA-meters gemeten, maar alleen de transmissiecurve van een los UVA-filter. De transmissiecurve genormeerd op de maximale transmissie, is te gebruiken als de responsecurve. De metingen zijn gedaan met de OMA bij 20 °C. Het resultaat is te zien in Figuur 3.3.

3.2.2 Bepaling hoeveelheid gemeten stralingsenergie

De uiteindelijke hoeveelheid stralingsenergie S (in Wm^{-2}) die de UV-meter zal registreren wanneer de ijklamp er op schijnt, is het produkt van het lampspectrum met de responsefunctie, geïntegreerd over het golflengtegebied waar de responsecurve ongelijk aan nul is. In formulevorm

$$S (\text{Wm}^{-2}) = \int_0^{\infty} L(\lambda) R(\lambda) d\lambda \quad (3.2)$$

Hierin is λ weer de golflengte van het licht. $R(\lambda)$ is opgemeten en dus bekend. $L(\lambda)$ is de spectrale intensiteit van de ijklamp, die via het ijkcertificaat van de lamp ook bekend is voor een afstand sensor/ijklamp van 50 cm (voor sommige lampen een andere afstand, zie ijkcertificaat lamp). S kan nu simpel numeriek berekend worden.



Figuur 3.3. De gemeten transmissiecurve van het UVA-filter bij 20 °C (gemeten met de OMA).

3.2.3 Bepaling ijkfactor

De uitgangsspanning V van de stralingsmeter is evenredig met de totale hoeveelheid opvallende stralingsenergie in het golflengtebandje waar gemeten wordt. Dit is te schrijven als

$$V \sim S \tag{3.3}$$

of als (gebruikmakend van vergelijking 3.2)

$$V \sim \int_0^{\infty} L(\lambda) R(\lambda) d\lambda \tag{3.4}$$

Als de ijkfactor C genoemd wordt, is deze nu gedefinieerd door

$$C(V / (Wm^{-2})) = \frac{V}{\int_0^{\infty} L(\lambda) R(\lambda) d\lambda} \tag{3.5}$$

Bij de ijking wordt de UV-meter precies op 50 cm van de ijklamp gezet (zie ijkcertificaat van lamp voor eventuele andere afstand!) en uitgelijnd. De uitgangsspanning van de UV-meter wordt dan gemeten, zodat zowel de teller en noemer in vergelijking 3.5 bekend zijn. De ijkfactor C volgt hier direct uit.

3.2.4 Afregelen ijkfactor en offset

In sectie 2.2.3 zijn de ijkfactoren voor de UVB- en UVA-meters gegeven. De manier om de instrumenten van de juiste ijkfactoren te voorzien werkt als volgt.

De spectrale intensiteit van de lamp, $L(\lambda)$, en de responsecurve $R(\lambda)$, zijn beiden bekend. Hiermee kan volgens vergelijking 3.2 de totale hoeveelheid stralingsenergie berekend worden die de UV-meter moet registreren (op 50 cm afstand van de lamp). De ijkfactor C wordt voorgeschreven en door vergelijking 3.5 om te schrijven tot

$$V = C \int_0^{\infty} L(\lambda) R(\lambda) d\lambda, \quad (3.6)$$

volgt de spanning die de UV-meter als output behoort te leveren. In Figuur 2.2 is te zien waar de potmeter zit om de versterkingsfactor te veranderen ('gain').

Alvorens de versterkingsfactor goed af te regelen dient eerst de offset van de versterker geminimaliseerd te worden met de potmeter voor de afregeling van de offset. Stel hiervoor vast de UV-meter op in de opstelling waarin ook belichting met de ijklamp kan plaatsvinden en voer de uitlijning uit. Zet de verwarming aan en meet het uitgangssignaal van de UV-meter. Laat de meter vervolgens minimaal 10 minuten stabiliseren. Lees daarna het uitgangssignaal af in een zo veel mogelijk verduisterde omgeving. Het nu gevonden uitgangssignaal is offset en kan met de potmeter afgeregeld worden. Minimaliseer de offset zo goed mogelijk.

Samengevat, eerst de offset afregelen zonder signaal, dan de lamp aan en de versterkingsfactor zo afregelen dat de juiste uitgangsspanning uit de UV-meter komt.

3.3 Procedure voor de ijkingen

Wanneer alle voorbereidende werkzaamheden verricht zijn kunnen de ijkingen uitgevoerd worden. Deze dienen volgens een bepaalde manier gedaan te worden. Alle relevante informatie dient ingevuld te worden op de speciaal hiervoor gemaakte formulieren (zie Appendix A).

1. Afregelen offset versterkers zoals in 3.2.4 beschreven is.
2. De opstelling ten behoeve van het uitlijnen van de UV-meters moet klaargezet worden. Om de UV-instrumenten precies op de juiste plaats, afstand (zie ijkcertificaat lamp) en loodrecht op de lichtbundel van de ijklamp te krijgen, wordt een opstelling met een laser en enige optiek gebruikt. Met deze uitlijnopstelling kunnen de UV-meters snel en goed reproduceerbaar in de juiste positie gezet worden voor de ijkingen. Laat de UV-meters minstens een dag aklimatiseren in het UV-lab bij een temperatuur van 20 °C.
3. Het 'donkersignaal' van de lamp moet gemeten worden in een volkomen verduisterde omgeving. Dit is het makkelijkst te doen als de ijklamp nog niet aan staat.
4. De UV-meter is opgesteld voor de ijking, de ijklamp kan aangezet worden. De aansturing van de lampvoeding, uitlezing van de stroom door de lamp en de uitgangsspanning gebeurt via een PC (software: R. van Krimpen). De ijkingen kunnen na 20 minuten branden van de lamp plaatsvinden. Deze 20 minuten zijn nodig ter stabilisatie van de stroom door de lamp en de

spanning over de lamp. De metingen van de stroom door de lamp en de spanning over de lampvoet dienen bij de ijking meegeleverd en bewaard (bv. om de 10 sec. meten) te worden ter controle of alle componenten goed gefunctioneerd hebben.

5. De UV-meter wordt nu belicht met de lampbundel van de ijklamp. Met behulp van de 'gain'-potmeter wordt de versterking nu zo afgeregeld dat de juiste uitgangsspanning gemeten wordt. Merk op dat indien het 'donkersignaal' niet '0' is, de gemeten uitgangsspanning hiervoor gecorrigeerd dient te worden door het als een offset te beschouwen. Stel het donkersignaal is +0.01 V en de netto uitgangsspanning zou 0.07 V moeten zijn, dan moet het afregelen de uitgangsspanning op 0.08 V geschieden.
6. Om enige statistiek te verkrijgen omtrent de ijfactoren, kan de uitgangsspanning en aantal malen gemeten worden. In het programma dat de lampvoeding aanstuurt en de stroom meet, worden meetcycli van 10 gebruikt om de uitgangsspanning van de UV-sensoren te middelen en de standaarddeviatie te bepalen. Dit moet een paar maal herhaald en genoteerd worden (bv. 5 maal).
7. Voor de UVB-meters worden nog metingen gedaan aan de lampbundel met de filters WG360 en KV408 tussen de lamp en de sensor. Voor de UVA-meters worden de filters KV408, GG435 en GG475 gebruikt. Deze filters laten *geen* UV door, maar vanaf een bepaalde golflengte, wel visuele straling (de getallen representeren de golflengte van het 50% transmissiepunt van de filters in de opgaande flank van de transmissiecurve). De bedoeling van deze metingen is om te controleren of de UV-meters een uitgangssignaal genereren wanneer er visuele straling opvalt. In operationele omstandigheden is immers meer dan 90% van het opvallende licht geen UV-straling maar visueel en infrarood.
8. De ijfactoren zijn nu afgeregeld en voor iedere meter is de relevante informatie ingevuld op het bij de meter behorende formulier.
9. Controleer met de in de volgende paragraaf beschreven software wat de ijfactor is en of deze klopt met de voorgeschreven waarde. Vul deze ook in op het bij de meter behorende document.

Wanneer bovenstaande stappen gevolgd zijn, is de ijking van het instrument gereed.

3.4 Beschrijving software ten behoeve van de ijkingen

Het uitvoeren van de ijkingen van de UV-instrumenten, bestaat in feite uit het belichten van de instrumenten met een bekende hoeveelheid stralingsenergie en vervolgens de versterkingsfactoren zo af regelen dat de juiste spanning door de UV-meter geleverd wordt. Om dit uit te voeren is een code geschreven in Fortran 77, welke draait op een SUN-werkstation, maar er is ook een versie voor de PC (DOS). Het programma werkt als volgt.

Om te beginnen wordt de keuze gemaakt tussen een UVB of UVA-ijking via een vraag op het scherm. De responsecurve van een UVB of UVA-meter wordt vervolgens ingelezen van een file, afhankelijk van het type ijking. Deze file bevat in het algemeen de gemeten responsecurve, welke meestal maximaal voor zo'n 20 golflengtes bepaald is (10 tot 20 nm breed om de centrale golflengte). Om later voldoende nauwkeurig te kunnen werken, wordt de responsecurve geïnterpoleerd naar een willekeurig in te stellen punten. Tot nu toe is 301 voldoende gebleken en gebruikt. Daarna worden de irradianties van de gebruikte ijklamp (voor verschillende golflengtes) ingelezen van een file. Deze file bevat de irradiantie voor de verschillende golflengtes zoals ze in het ijkcertificaat van de lamp vermeld staan. Meestal zijn dit golflengtestapjes van 10 tot 50 nm.

De 301 golflengtes die uit de interpolatie van de responsecurve volgen, worden gebruikt om de lampirradianties naar toe te interpoleren. Er zijn op dat moment dus 301 golflengtes en punten van de responsecurve bekend en evenzoveel lampirradianties voor exact dezelfde golflengtes. Deze waarden worden nu met elkaar vermenigvuldigd en de integraal over dit produkt wordt numeriek berekend. De integraal van vergelijking 3.2 is nu bekend, dat wil zeggen dat de hoeveelheid stralingsenergie die de meter behoort te registreren nu bepaald is.

Er zijn nu 2 opties mogelijk. Voor de XSIAM wordt er gewerkt met een vaste ijkfactoren van $6.6667 \text{ V}/(\text{Wm}^{-2})$ voor de UVB1-meters (of $20.0 \text{ V}/(\text{Wm}^{-2})$ voor de UVB2-meters) en $0.25 \text{ V}/(\text{Wm}^{-2})$ voor de UVA-meters. In de eerste optie wordt de ijkfactor vastgezet en berekend het programma de uitgangsspanning die het instrument behoort te produceren. In de tweede optie wordt de door het instrument geproduceerde uitgangsspanning als invoer aan het programma gegeven, en de ijkfactor wordt dan berekend.

De eerste optie is nuttig om voor de verschillende ijklampen en responsecurves te bepalen hoe de versterker afgeregeld moet worden. De tweede optie wordt gebruikt na het afregelen van de versterker. Er wordt dan nog een aantal malen de uitgangsspanning van het instrument gemeten. Deze zijn nooit identiek en door deze verschillende waarden nu aan het programma aan te bieden, wordt de variatie in de ijkfactoren bepaald.

3.4.1 Voorbeelden input files

Het programma heeft een algemene input file nodig, genaamd **cal.ini**. Deze bevat 5 regels en staat hieronder afgedrukt. Deze regels worden in de volgende paragrafen besproken.

| | | |
|----------|------|-------------------------------------|
| f406.dat | | Lamp file |
| tuva.dat | | UVA-response file |
| tuvb.dat | | UVB-response file |
| 6.66667 | -1.0 | ijkfactor UVB, uitgangsspanning UVB |
| 0.25000 | -1.0 | ijkfactor UVA, uitgangsspanning UVA |

3.4.2 De lamp file f406.dat

De lamp file heet hier **f406.dat**, maar dat mag een willekeurige naam zijn. De inhoud ervan bestaat uit 2 kolommen: de eerste bevat golflengtes in nm, de tweede irradianties in $\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$. In dit voorbeeld staan er 16 regels in met de irradianties gegeven om de 10 nm. Ook dit is niet strikt noodzakelijk omdat er in het programma geïnterpoleerd wordt. Het aantal regels moet echter niet meer dan 301 zijn omdat dit nu het maximale aantal punten voor de interpolatie is. De file **f406.dat** staat hieronder afgedrukt.

| | |
|-----|----------|
| 250 | 0.000145 |
| 260 | 0.000257 |
| 270 | 0.000430 |
| 280 | 0.000674 |
| 290 | 0.001030 |
| 300 | 0.001510 |
| 310 | 0.002150 |
| 320 | 0.002960 |
| 330 | 0.003980 |
| 340 | 0.005250 |
| 350 | 0.006750 |

| | |
|-----|----------|
| 360 | 0.008600 |
| 370 | 0.010600 |
| 380 | 0.013000 |
| 390 | 0.015700 |
| 400 | 0.018800 |

Merk op dat wanneer er een andere ijklamp gebruikt wordt, zowel het aantal regels anders kan zijn als de golflengtes en irradianties.

3.4.3 Responsecurve file *tuvb.dat*

De file **tuvb.dat** bevat de responsecurve van de UVB-meters. De eerste kolom is weer de golflengte in nm, de tweede kolom bevat de bijbehorende waarden van de responsecurve. De file **tuvb.dat** is hieronder afgedrukt.

| | |
|---------|------------|
| 301.792 | 0.01877370 |
| 302.310 | 0.03953290 |
| 302.828 | 0.06834050 |
| 303.346 | 0.13545800 |
| 303.863 | 0.21042800 |
| 304.380 | 0.34496400 |
| 304.897 | 0.57150700 |
| 305.414 | 0.81136400 |
| 305.931 | 0.96738500 |
| 306.448 | 0.98795000 |
| 306.964 | 0.84189100 |
| 307.480 | 0.61712100 |
| 307.996 | 0.30021900 |
| 308.512 | 0.08087400 |
| 309.028 | 0.02253200 |
| 309.544 | 0.00905888 |
| 310.059 | 0.00489286 |

3.4.4 Responsecurve file *tuva.dat*

De file **tuva.dat** bevat de transmissiecurve van de filters in de UVA-meters (dus *niet* de responsecurve). De eerste kolom is weer de golflengte in nm, de tweede kolom bevat de bijbehorende waarden van de transmissies. De file **tuva.dat** is hier niet afgedrukt omdat het format precies hetzelfde is als dat van **tuvb.dat**, maar het aantal regels veel groter is, nl. 295. Dit komt doordat de transmissiecurve is gemeten met de diodearray, die om de 0.15 nm een meting doet van ongeveer 354 nm tot 390 nm.

3.4.5 IJkfactoren en uitgangsspanningen

De vierde regel van de inputfile bevat de tekst:

```
6.6667      -1.0      ijkfactor UVB, uitgangsspanning UVB
```

Zoals het commentaar aan het eind van de regel al aangeeft, is het eerste getal een ijfactor voor de UVB1-meter en het tweede getal een uitgangsspanning. Eén van de twee moet een waarde hebben die kleiner is dan nul omdat het programma één van de twee parameters gebruikt. In het

voorbeeld van hierboven, is de ijkfactor dus $6.6667 \text{ V}/(\text{Wm}^{-2})$, en de uitgangsspanning is op -1.0 V gezet. Met de ijkfactor als input voor het programma, berekend de software nu de uitgangsspanning die de UVB1-meter behoort te leveren. *Wanneer een CUVB2-meter geijkt wordt, moet de 6.6667 vervangen worden door de ijkfactor 20.0.*

Wanneer de ijkfactor op -1.0 gezet wordt, vraagt het programma (interactief) om de gemeten uitgangsspanning. Deze moet dan ingetypt worden, waarna de ijkfactor berekend en op het scherm geprint wordt.

Samenvattend, in de eerste optie wordt een ijkfactor aan het programma aangeboden via de file **cal.ini** en wordt de uitgangsspanning berekend; in de tweede optie wordt via het scherm om de uitgangsspanning gevraagd en berekend het programma de ijkfactor.

De laatste regel van **cal.ini** is identiek aan de vierde regel, met het verschil dat hier de ijkfactor/uitgangsspanning voor de UVA-meters staat. Aangezien deze precies hetzelfde doen voor de UVA-ijkingen als de vierde regel voor de UVB-ijkingen, wordt dit niet verder besproken.

3.5 Nauwkeurigheid van de ijkingen

De nauwkeurigheid van de ijkingen wordt door een groot aantal factoren bepaald. Dit zijn

1. nauwkeurigheid van het lampcertificaat,
2. nauwkeurigheid van de responsecurve,
3. nauwkeurigheid van de uitlijning bij de ijking,
4. nauwkeurigheid/stabiliteit stroom door de ijkklamp,
5. nauwkeurigheid instelling ijkfactor van de versterkers,
6. nauwkeurigheid van de bepaling van de ijkfactor.

3.5.1 Nauwkeurigheid lampcertificaat

De bij het KNMI gebruikte ijkklampen, zijn afkomstig van de Amerikaanse leverancier Optronics Laboratories Inc. De 1000W FEL lampen worden daar geijkt aan de hand van een ijkstandaard van NIST (National Institute of Standards and Technology). De nauwkeurigheid van de overdracht is golflengteafhankelijk en voor het UV is dit ongeveer 1.5%.

3.5.2 Nauwkeurigheid responsecurve

Het meten van de responsecurve van de UVB-meters is een lastige klus. Om een indruk te krijgen van hoe goed dit gaat, is het een aantal malen gedaan, waarbij de opstelling steeds opnieuw is opgezet en de uitlijning ook opnieuw uitgevoerd werd. De verschillen in de gemeten responsecurves lagen in de orde van 1 tot 2%. Echter, hoewel de absolute verschillen dus klein zijn, vond er ook een golflenteverschuiving plaats van ongeveer 0.5 nm bij één van de metingen. De overige vier metingen gaven wel een consistent beeld te zien voor de golflengtes en de waardes voor de responsecurves. Deze vier zijn gemiddeld en dit gemiddelde wordt nu als responsecurve gebruikt voor de UV-meters. De geschatte nauwkeurigheid op basis van de individuele metingen van de responsecurves is 3 tot 4%.

3.5.3 *Nauwkeurigheid in de uitlijning*

De lamp moet volgens de voorschriften op 50 cm van de sensor staan [Allen, 1996]. Het stukje lampbundel dat de diffuser van de sensor belicht, is een stukje bolgolf, hoewel het in eerste benadering op te vatten is als een stukje vlakke golf (constante intensiteit over het diffuserooppervlak). De intensiteit van een bolgolf verandert met het kwadraat van de afstand bron--detector. Een simpel rekensommetje toont aan dat een fout van ± 2 mm in de afstand, minder dan een procent fout levert in de irradiantie. De schatting van de fout in de afstand is ± 1 mm. De totale fout ten gevolge van de fout in de uitlijning is dus minder dan een procent.

3.5.4 *Nauwkeurigheid van de stroom door de ijklamp*

De fout in de irradiantie van de lamp door een fout in de ingestelde stroom kan groot zijn. Volgens de manual bij de ijklamp levert een fout van 1% in de stroom bij 300 nm, een fout in de irradiantie van 9%. De door gebruikte stroombron, een HP6675A, en de hoge precisie shunt van 0.1Ω kan de lampstroom van 8 A geleverd en gemeten worden met een nauwkeurigheid van ongeveer 1 mA, oftewel 0.01%. De fout in de irradiantie wordt daarmee ongeveer 0.1%.

3.5.5 *Nauwkeurigheid instelling versterker en bepaling ijkfactor*

De afregeling van de versterkers gaat met behulp van een 10-slagen potmeter. Een precieze schatting van hoe nauwkeurig dit gaat is moeilijk te geven. Echter, als het systematisch niet nauwkeurig genoeg gaat, dan moet dit er met de bepaling van de ijkfactor uit komen. Deze wordt als volgt bepaald.

Nadat de versterker is afgeregeld door met de ijklamp aan de potmeter zo te draaien dat de juiste uitgangsspanning geleverd wordt, wordt nog een serie metingen gedaan van de uitgangsspanning om statistisch een beeld te krijgen van de variatie in de ijkfactor. Hiertoe worden meetseries van de uitgangsspanning verricht, bestaande uit 10 individuele metingen. Het gemiddelde van deze spanningen met de standaarddeviaties is geregistreerd, en de ijkfactoren zijn hieruit berekend. Voor de UVB-sensoren kwamen de standaarddeviaties overeen met een fout in de ijkfactoren van -0.25% tot $+0.2\%$. Voor de UVA-sensoren was de ingestelde ijkfactor $0.25 \text{ V}/(\text{Wm}^{-2})$. Voor alle achteraf bepaalde ijkfactoren is weer $0.25 \text{ V}/(\text{Wm}^{-2})$ gevonden.

De afregeling van de versterkers en het bepalen van de ijkfactoren op de hiervoor geschetste manier levert dus slechts kleine fouten op.

3.5.6 *De totale fout in de ijking*

De grootste bijdrages aan de fout in de ijkingen komen van de onzekerheden in de ijklamp en de responsecurve. tellen we alle fouten op, dan kunnen we concluderen dat de totale fout ten gevolge van alle onzekerheden in de orde van 5 a 6% is.

3.6 *Frequentie van de ijkingen*

Zoals altijd met nieuwe instrumenten, kost het enige tijd om ze 'in de vingers te krijgen'. De UV-meters zijn nieuw voor het KNMI en daarnaast zijn het ook nieuwe instrumenten van de firma

Kipp & Zn. De ijkprocedures zijn uitgewerkt, maar in de wetenschappelijke wereld is men er nog druk over bezig wat de ideale manier van ijken is voor UV-instrumenten. Deze ontwikkelingen zullen op de voet gevolgd worden en, zo nodig, zullen de ijkprocedures aangepast worden.

Om inzicht te krijgen over de stabiliteit van de instrumenten dienen ze voor een periode van drie jaar ieder half jaar geijkt te worden. Wanneer er instrumentele veranderingen plaatsvinden, zal dit in eerste instantie liggen aan de continue blootstelling van de diffuser en de UV-filters, aan UV-straling van de zon. In deze periode van drie jaar zal dit blijken.

Indien de instrumenten stabiel genoeg zijn, kan de ijkperiode daarna bijgesteld worden naar bijvoorbeeld één jaar, of wellicht twee jaar, afhankelijk wat de beginperiode van drie jaar oplevert.

Allen, D.W., *Report of Calibration of One Standard of Spectral Irradiance*, Optronics Laboratories Inc., 1996.

Kipp & Zonen, *Instruction Manual, CUVA1/CUVB1, Scientific Narrowband UV Radiometers, Global Radiation*, 1995.

Kipp & Zonen, *Instruction Manual, CUVA2/CUVB2, Scientific Narrowband UV Radiometers, Global Radiation*, 1995.

Kuik, F., *Operationele Stralingsmetingen Fase II, een voorstudie*, 1996.

Kuik, F., *Global Radiation Measurements in the Operational KNMI Meteorological Network, Effects of pollution and ventilation*, TR-197, 1997.

| | | |
|--|--------------------|----------------|
| UVB-meter nr. | | |
| Lampnummer | | |
| Stroom door lamp | (A) | |
| Spanning (lampvoet) | (V) | |
| Spanning temperatuuruitlezing van de UV-meter | (V) | |
| Metingen | Signaal (V) | STD (V) |
| signaal donker | | |
| signaal met lamp | | |
| WG360 (strooilichtfilter) | | |
| KV408 (strooilichtfilter) | | |
| signaal donker | | |
| | | |
| signaal donker | | |
| signaal met lamp | | |
| WG360 (strooilichtfilter) | | |
| KV408 (strooilichtfilter) | | |
| signaal donker | | |

| | | |
|--------------------------------------|--------------------|----------------|
| UVA-meter nr. | | |
| Lampnummer | | |
| Stroom | (A) | |
| Spanning (lampvoet) | (V) | |
| Spanning temperatuuruitlezing | (V) | |
| Metingen | Signaal (V) | STD (V) |
| signaal donker | | |
| signaal met lamp | | |
| KV408 (strooilichtfilter) | | |
| GG435 (strooilichtfilter) | | |
| GG475 (strooilichtfilter) | | |
| signaal donker | | |
| | | |
| signaal donker | | |
| signaal met lamp | | |
| KV408 (strooilichtfilter) | | |
| GG435 (strooilichtfilter) | | |
| GG475 (strooilichtfilter) | | |
| signaal donker | | |