

A
09
B
69

09211

Stamboek no 2114

ENKELE METINGEN BETREFFENDE DE DIFFUSE STRALING
EN DE SPECTRALE VERDELING VAN DE ZONNESTRALING

D. Bokhorst
C.A. Ammerlaan

09211

Inhoud

1. Inleiding	1
2. Enkele factoren die een rol spelen	2
2.1 De globale straling	2
2.2 De zonshoogte	2
2.3 De gevoeligheid van de meter	3
2.4 De spectrale verdeling	4
3. Uitvoering en verwerking van de metingen	6
4. Resultaten	7
5. Slotopmerkingen	11
6. Samenvatting	12
Aanhangsel	
Programma voor het verwerken van de metingen	A1

ENKELE METINGEN BETREFFENDE DE DIFFUSE STRALING EN DE SPECTRALE VERDELING VAN DE ZONNESTRALING

1. Inleiding

De straling die van de zon komt wordt, voorzover het de kortgolvlige straling en het nabije infrarood (300 ... 3000 nm) betreft, gewoonlijk de globale straling genoemd. Bij betrokken lucht is deze straling geheel diffuus en heeft de straling vanuit elke richting een gelijke sterkte. Strikt genomen is het laatste niet geheel waar, maar voor ons doel volstaat het de hemelbol bij geheel betrokken hemel als een gelijkmatig stralend oppervlak te zien.

Als de zonnestraling niet door wolken tegengehouden en verspreid wordt komt er een portie gerichte straling bij. De straling die uit de richting van de zon komt heet de direkte straling. De som van de diffuse en de direkte straling is dan de globale straling. Ze wordt in de regel uitgedrukt in W/m^2 als het om bestralingssterkte gaat en in J/cm^2 als het een stralingssom betreft. Ook worden wel de eenheden $J/(cm^2.h)$ en kJ/m^2 gebruikt. In oudere literatuur vindt men meestal $cal/(cm^2.min)$ en $kcal/(m^2.h)$ voor bestralingssterkte en cal/cm^2 en $kcal/m^2$ voor een stralingshoeveelheid.

Het aandeel diffuse en het aandeel direkte straling in de globale straling gedurende een bepaalde tijd (uur, dag of maand) hangen vooral af van de relatieve zonneschijnduur en van de mate waarin de direkte straling verstrooid wordt door water, aerosolen enz. in de atmosfeer. Onder relatieve zonneschijnduur verstaan we de tijd waarin de zon werkelijk geschenen heeft in verhouding tot de tijd waarin de zon had kunnen schijnen in die periode, als er geen bewolking opgetreden was. Het aandeel van de diffuse straling is niet elk seizoen hetzelfde en verandert ook in de loop van de dag. Hoe lager de zon staat, hoe sterker de verstrooiing van de straling is.

De vraag naar het aandeel diffuse straling komt o.a. naar voren bij berekeningen omtrent de lichtdoorlating van kassen. Ook bij gevallen van schaduwgevende objecten kan het van belang zijn te weten, wat de lichtvermindering door schaduwwerking is. Meestal wordt gesproken over beschaduwing in verband met de direkte straling. Voor een juiste oordeelsvorming is het echter wel nodig geïnformeerd te zijn over het aandeel van de direkte straling.

Voorzover ons bekend zijn er voor het Westland geen cijfers bekend over het aandeel diffuse straling in het geheel. Het leek ons daarom nuttig, over het gehele jaar verdeeld, een reeks metingen die wat meer inzicht in deze materie geven, uit te voeren. In dit rapport zullen we in het kort aandacht besteden aan enkele factoren die bij de metingen meespelen. Ook de methodiek en de verwerking van de meetgegevens, benevens enkele resultaten zullen besproken worden.

2. Enkele factoren die een rol spelen

2.1 De globale straling

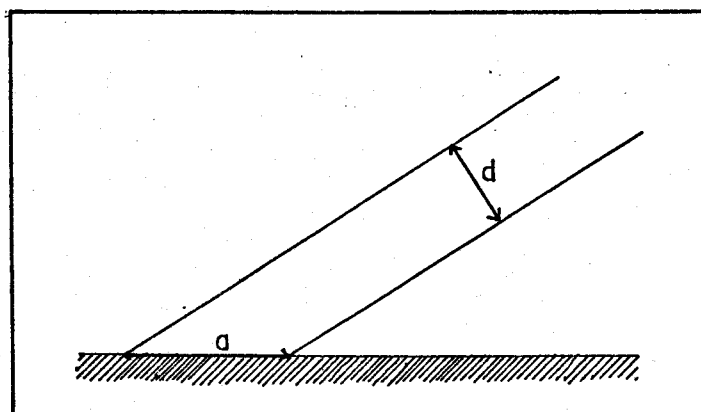
De globale straling wordt gemeten met een solarimeter. Dit instrument wordt exakt horizontaal opgesteld; zodoende is uit het uitgangssignaal direct de sterkte van de straling af te leiden. We gebruiken de solarimeter die op de weertoren van het proefstation staat en waarvan het signaal door de centrale computer verwerkt wordt. Voor ons onderzoek geeft de computer de straling elke tien minuten in $J/(cm^2.h)$. Dit moet omgerekend worden naar $W/m^2 (=J/(m^2.s))$.

$$1J/(cm^2.h) = \frac{1J}{1cm^2 \cdot 1h} \times \frac{1h}{3600s} \times \frac{1cm^2}{0,0001m^2} = 2,77778 W/m^2$$

De door de computer gegeven waarde voor de betreffende 10 minuten moet dus vermenigvuldigd worden met 2,77778.

2.2 De zonshoogte

De directe zonnestraling wordt gemeten met een pyrhelimeter, die tijdens de meting exakt op de zon gericht moet zijn. De meter ontvangt dan de straling op een voeler die een elektrisch signaal afgeeft. De grootte hiervan is evenredig met de sterkte van de ontvangen straling. Nu is het duidelijk, dat een stralenbundel die onder een hoek, kleiner dan 90° op aarde valt, zijn energie over een grotere oppervlakte moet verdelen, dan een stralenbundel die loodrecht op de aarde valt (fig. 1).



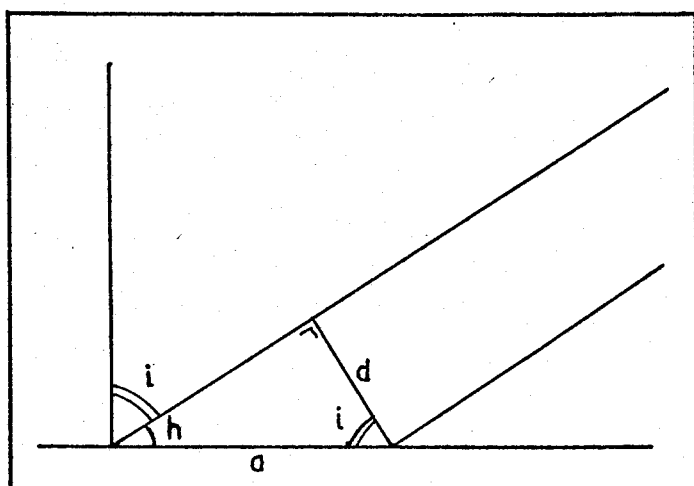
Figuur 1. Een ronde stralenbundel met doorsnede d wordt verspreid over een oppervlakte met een langste doorsnede a .

Wat we meten met de pyrhelimeter is de bestralingssterkte loodrecht op de bundel. Al naar de zonshoogte moet zodoende nog een correctiefactor aangebracht worden. Deze correctiefactor is gemakkelijk te bepalen als we figuur 2 bezien.

Uit deze figuur blijkt: $\sin h = \frac{d}{a}$.

De sterkte van de straling is omgekeerd evenredig met de grootte van de oppervlakken waarover ze verdeeld wordt. Noemen we de sterkte van de straling op a I_a en de sterkte van de straling op d I_d , dan geldt:

$$\frac{I_a}{I_d} = \frac{d}{a} = \sin h \quad \text{ofwel} \quad I_a = I_d \cdot \sin h$$



- h = zonshoogte
- i = invalshoek = 90°-h
- d = loodrechte doorsnede stralenbundel
- a = doorsnede van bundel met horizontaal vlak

Figuur 2. Zonshoogte en straling

In plaats van met de zonshoogte wordt ook veel gewerkt met de invalshoek van de straling. De invalshoek is de hoek tussen de normaal, dat is een lijn loodrecht op een vlak, en de richting van de stralenbundel op dat vlak. Wordt met de invalshoek (i) gewerkt dan is de verhouding d/a de cosinus van de invalshoek en op dezelfde wijze als boven met de zonshoogte gedaan is, vinden we:

$$I_a = I_d \cdot \cos i$$

Op de pyrheliometer zijn een gradenboog en een voorziening die het waterpas staan van het instrument controleert, aanwezig. De invalshoek kan daarmee direkt afgelezen worden en zo is tevens de zonshoogte bekend. Sinus en cosinus van de betreffende hoeken zijn uit een tabel gehaald.

Als tijd en plaats van waarneming bekend zijn is de zonshoogte ook uit diagrammen te halen of te berekenen. Vooralsnog leek ons de gevolgde methode direkter en eenvoudiger.

2.3 De gevoeligheid van de meter

De gevoeligheid van de meter tijdens de metingen moet ook nog berekend worden. Volgens de meegeleverde ijkgegevens is de gevoeligheid 11,3 mV per cal/(cm².min) bij 20 °C. De temperatuurgevoeligheid is -0,2 % per graad Celsius.

De huistemperatuur van de meter kan afgelezen worden; we noemen deze temperatuur T. Bij een temperatuur T is de gevoeligheid dan:

$$11,3(1 - 0,002(T - 20)) \text{ mV per cal/(cm}^2\text{.min)}, \text{ ook te schrijven als } 11,752 - 0,0226T \text{ mV per cal/(cm}^2\text{.min)}.$$

$$1 \text{ mV komt dan overeen met } \frac{1}{11,752 - 0,0226T} \text{ cal/(cm}^2\text{.min)}. \quad (1)$$

Van de niet meer geldige eenheid cal/(cm².min) maken we W/m², dat is J/(m².s).

1 cal = 4,1868 J; 1 cm² = 0,0001 m²; 1 min = 60 s; dus

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2\text{.min}} = \frac{1 \text{ cal}}{1 \text{ cm}^2 \cdot 1 \text{ min}} \times \frac{4,1868 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \times \frac{1 \text{ cm}^2}{0,0001 \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 697,8 \text{ W/m}^2 \quad (2)$$

Uit (1) en (2) volgt voor de gevoeligheid van de meter:

$$1 \text{ mV komt overeen met } \frac{697,8}{11,752 - 0,0226T} \text{ W/m}^2.$$

Bij 20 °C is de gevoeligheid 61,75 W/m² per millivolt. Voor overige waarden zie tabel 1. Bij deze tabel moet opgemerkt worden, dat het geven van waarden tot op twee cijfers achter de komma geen fysische betekenis heeft. In het algemeen hebben we echter zo weinig mogelijk afrondingen tijdens de berekeningen gebruikt en is pas de eindwaarde van de berekeningen op hele getallen afgerond.

Tabel 1. Gevoeligheid pyrheliometer bij verschillende temperaturen.

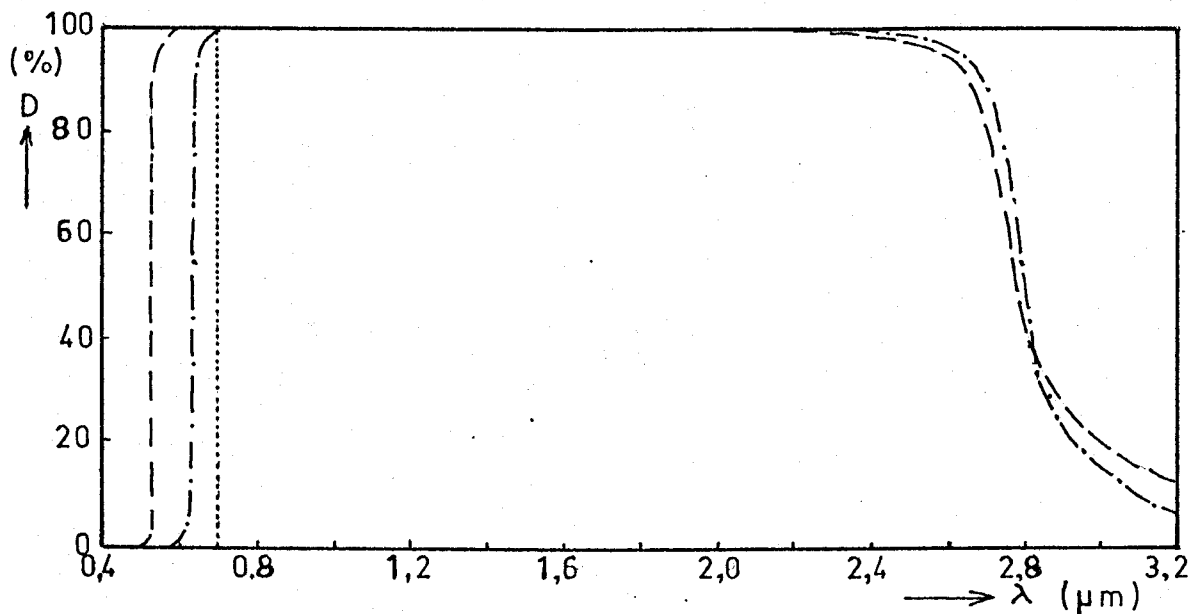
°C	W/m ² per mV	°C	W/m ² per mV	°C	W/m ² per mV
0	59,38	15	61,14	30	63,01
1	59,49	16	61,26	31	63,14
2	59,61	17	61,38	32	63,27
3	59,72	18	61,51	33	63,40
4	59,84	19	61,63	34	63,53
5	59,95	20	61,75	35	63,66
6	60,07	21	61,88	36	63,79
7	60,19	22	62,00	37	63,93
8	60,30	23	62,12	38	64,06
9	60,42	24	62,25	39	64,19
10	60,54	25	62,38	40	64,33
11	60,66	26	62,50	41	64,46
12	60,78	27	62,63	42	64,59
13	60,90	28	62,76	43	64,73
14	61,02	29	62,88	44	64,87

2.4 De spectrale verdeling

De globale straling bestaat uit straling van verschillende golflengten. Het deel tussen 400 en 700 nm is de zichtbare straling die we licht noemen. Zoals bekend is niet elke golflengte even sterk vertegenwoordigd en bovendien is de onderlinge verhouding tussen de verschillende componenten niet altijd dezelfde. Anders gezegd: in het zichtbare gebied van het spectrum is de verhouding tussen het aandeel blauw licht en het aandeel rood licht niet constant. Dat geldt zowel voor de globale straling als de directe straling. Door van geschikte filters gebruik te maken is de verhouding tussen de componenten te bepalen.

Bij onze meter zijn een kwartsglas filter (doorlatend van 250 tot 4000 nm), een geelfilter (doorlatend van 525 tot 2800 nm) en een roodfilter (doorlatend van 630 tot 2800 nm) aanwezig. Zie ook figuur 3. Een meting zonder filter geeft de directe straling.

De straling beneden de 525 nm (blauw en violet) kan berekend worden uit de directe straling minus de straling die door het geelfilter doorgelaten wordt. De hoeveelheid aan rode plus infrarode straling is te bepalen door de straling die door het roodfilter doorgelaten wordt te meten. Deze metingen geven een indicatie over de verstrooiing van het licht in de atmosfeer. Deze verstrooiing hangt onder meer af van de weglengte van de straling door de atmosfeer, vandaar



Figuur 3. Doorlatendheid (D) van standaardfilters bij verschillende golflengten (λ). — — — geelfilter, - . - . - roodfilter. De grens van het zichtbare gebied is met een stippellijn aangegeven.

de rode zon bij zonsopkomst en zonsondergang. Straling van korte golflengten wordt namelijk meer verstrooid dan straling van langere golflengten. Wellicht ten overvloede zij er nog op gewezen dat de hoeveelheid "blauw" of "rood", die we met deze methode bepalen, niet betrekking heeft op de gehele globale straling, maar op de direkte straling. Alleen bij de stralingsmetingen die betrekking hebben op de direkte straling gebruiken we filters.

Hiervoor is gesteld dat bijvoorbeeld het geelfilter doorlaatbaar is voor straling van 525 tot 2500 nm. Dat wil zeggen dat in dit gebied de doorlatendheid 100 % geacht wordt. In werkelijkheid is dat niet het geval; alleen al door reflectie aan de twee oppervlakken gaat een 10 % van de straling voor de meting verloren. Om vergelijkingen te trekken tussen de metingen met en zonder filter en om de waarnemingen om te rekenen naar een standaard, moeten de uitkomsten van de metingen met filter nog met een filterfaktor vermenigvuldigd worden. Deze factoren zijn 1,072 voor het kwartfilter, 1,104 voor het geelfilter en 1,089 voor het roodfilter. Figuur 3 betreft dan ook naar de standaard gecorrigeerde waarden.

Het aandeel blauw plus violet wordt tenslotte berekend als

$$\frac{\text{"direkt"} - \text{"geelfilter"}}{\text{"direkt"}} \times 100\%.$$

Evenzo volgt voor het aandeel rood plus infrarood dat dit gelijk is

aan
$$\frac{\text{"roodfilter"}}{\text{"direkt"}} \times 100\%.$$

Met het kwartfilter zijn ter controle wel metingen uitgevoerd, althans in het begin. Ze blijken echter weinig of geen extra informatie te geven, zodat deze metingen verder buiten beschouwing gelaten zijn.

3. Uitvoering en verwerking van de metingen

Een reeks metingen wordt in het algemeen gedurende 10 minuten uitgevoerd. In dit tijdsbestek kunnen ruimschoots drie à vijf waarnemingsreeksen voltooid worden. Het gemiddelde van deze metingen wordt dan, na verwerking, met de opgave van de straling zoals die door de solarimeter op de weertoren gemeten is, vergeleken. Deze laatste bestralingssterkte gedurende de betreffende tien minuten wordt door de computer berekend uit 10 waarnemingen om de minuut. De metingen met de pyrhelimeter vinden plaats op het meteoveldje van het proefstation.

Tot nu toe zijn alleen zeer zonnige dagen als meetdagen gekozen. Er treden dan geen snelle veranderingen op in de straling en zo kan ook een indruk van de reproduceerbaarheid van de metingen verkregen worden.

Waargenomen worden: het tijdstip van meten, de temperatuur van het meterhuis, de invalshoek en de richting waarin de zon staat, en het aantal millivolts dat de meter met en zonder filters afgeeft. Deze spanning wordt gemeten met een digitale universeelmeter. Bij de metingen moet het instrument steeds met de hand op de zon gericht worden.

Berekend worden nu:

- a. de gemiddelde metertemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
- b. de gemiddelde zonshoogte ($^{\circ}$)
- c. de globale straling (W/m^2)
- d. de direkte straling (W/m^2)
- e. het aandeel diffuse straling in de globale straling (%)
- f. het aandeel direkte straling in de globale straling (%)
- g. het aandeel violet + blauw in de direkte straling (%)
- h. het aandeel rood + infrarood in de direkte straling (%) .

Het aandeel diffuse straling wordt berekend als

$$\frac{\text{"globaal"} - \text{"direkt"}}{\text{"globaal"}} \times 100\% .$$

En op dezelfde wijze natuurlijk het aandeel direkte straling uit

$$\frac{\text{"direkt"}}{\text{"globaal"}} \times 100\% .$$

De overige berekeningen zijn in het voorgaande reeds voldoende toegelicht.

De waarnemingen zijn vrij tijdrovend en eveneens kost het rekenwerk veel tijd. Het leek ons daarom economisch wat tijd uit te trekken om een BASIC-programma voor deze metingen te ontwerpen. Daarmee kunnen de verwerkingen door een computer uitgevoerd worden. Dit leidt tot een aanzienlijke tijdsbesparing en bovendien is de kans op fouten kleiner. Voor geïnteresseerden is het programma als aanhangsel toegevoegd. Het programma is voorzien van vele opmerkingen (de REM-statements) om het toegankelijker te maken.

4. Resultaten

De resultaten van de waarnemingen en berekeningen zijn in tabel 2 vermeld. De waarnemingen werden in het algemeen gedurende tien minuten uitgevoerd; als tijd is dan de gemiddelde tijd aangegeven. De tijd 1225 in de tabel slaat dus op de waarnemingen die van 1220 ... 1229 uitgevoerd zijn. Het aantal waarnemingen in die tien minuten varieerde van 2 tot 7; gemiddeld waren het 4,7 waarnemingen op grond waarvan de gegevens uit de tabel berekend zijn. Soms is maar één waarneming gedaan, maar deze waarnemingen zijn niet in de tabel verwerkt. De tijden zijn in MET, met uitzondering van de tijden in september. Deze zijn in MEZT.

De vermelde temperatuur is de temperatuur van het meterhuis. Deze is niet dezelfde als de luchttemperatuur, maar ze geeft wel een indicatie of de metingen tijdens relatief warme of relatief koude dagen gedaan zijn. De thermometer die op het meterhuis zit is erg moeilijk af te lezen. Er werd daarom op hele graden Celsius afgelezen. In tien minuten verandert de temperatuur niet veel. Vandaar dat verreweg de meeste waarden ook op hele graden Celsius uitkomen.

De zonshoogte spreekt voor zichzelf. Toch moet nog op een kleine moeilijkheid gewezen worden. Al eerder is opgemerkt dat de voet van de meter exakt horizontaal opgesteld moet worden. Door middel van een libel op het instrument wordt dit gecontroleerd. Kleine afwijkingen zijn echter mogelijk, zowel door afleesfouten en afrondingen als door systematische fouten, inherent aan het instrument. De aflezingen blijken wel goed reproduceerbaar te zijn. Bezien we twee opeenvolgende dagen, 22 en 23 oktober, naar de zonshoogte om 1145 uur, dan lezen we af 28,1 en 27,7 °. Om 1345 uur vinden we 26,6 en 26,2 °. In deze periode van het jaar komt de zon elke dag wat lager. Dit elke dag wat lager zijn ligt in dezelfde orde van grootte als ook hier met de metingen gevonden is. De zonshoogten van 6 september 's morgens geven wat grotere afwijkingen. Door onervarenheid met het fijnregelmechanisme is hier wat grover afgelezen. De vermelde zonshoogte is de gemeten zonshoogte. De astronomische zonshoogte is wat lager. Tengevolge van de straalbreking in de atmosfeer zien we de zon wat hoger dan hij in werkelijkheid is. Het verschil hangt af van de temperatuur van de dampkring, de luchtdruk en de weglengte van de zonnestrallen van de atmosfeer. Als de zon niet dicht bij de kim staat is het verschil te verwaarlozen.

De globale straling beliep ruwweg 100 tot 700 W/m², de directe straling 11 tot 514 W/m² tijdens de metingen. Bij de lage waarden van de directe straling kunnen vrij grote meetfouten ontstaan zijn. Tot nu toe is gebruik gemaakt van een digitale universeelmeter, die tot op 0,1 millivolt af te lezen is. Uit tabel 1 blijkt dat 0,1 mV met ongeveer 6 W/m² overeenkomt. Het lijkt er dus op dat bij een directe straling van 60 W/m² er al een fout van 10% ontstaan kan. In werkelijkheid valt het wat mee, doordat de directe straling loodrecht op de richting van de zonnestraling gemeten wordt, maar later omgerekend moet worden naar een horizontaal vlak. De 6 W/m² moet nog met de sinus van de zonshoogte vermenigvuldigd worden. Tabel 3 geeft een indruk van de onnauwkeurigheid bij verscheidene zonshoogten. De 10% onnauwkeurigheidsgrens voor de afzonderlijke waarnemingen ligt, zoals uit de tabel blijkt, voor een zonshoogte van 30° bij 30 W/m² en bij 20° bij 21 W/m². De werkelijke waarden van de directe straling zijn bij deze zonshoogten in de regel vele malen groter. Bij een zonshoogte van 15° is echter wel 17 W/m² gevonden, dan zitten we wel in de

Tabel 2. Resultaten van metingen van september 1979 tot en met februari 1980.

datum	tijd	tempe- ratuur (°C)	zons- hoogte (°)	straling		straling		aandeel violet +blauw (%)	aandeel rood + infrarood (%)
				globaal (W/m ²)	direkt (W/m ²)	diffuus (%)	direkt (%)		
06-09	12 25	22,0	46,0	661	474	28	72	17	71
	12 35	22,0	46,0	653	469	28	72	16	71
	12 45	22,0	46,0	664	511	23	77	17	70
	12 55	22,0	46,0	683	514	25	75	17	71
	13 05	22,0	46,0	672	511	24	76	17	70
	15 05	22,0	37,5	536	376	30	70	14	74
	15 15	22,0	36,5	519	353	32	68	14	74
	15 25	22,0	35,3	494	348	30	70	14	74
	15 35	21,6	33,8	483	340	30	70	14	73
	15 45	22,0	32,3	456	304	33	67	12	75
22-10	11 15	15,0	26,8	431	388	10	90	18	69
	11 25	14,3	27,2	442	393	11	89	17	69
	11 35	14,0	27,7	450	404	10	90	17	69
	11 45	13,3	28,1	456	410	10	90	17	69
	11 55	13,0	28,4	461	417	10	90	18	69
	12 05	13,0	28,5	467	415	11	89	17	68
	12 15	13,0	28,6	467	419	10	90	18	69
	12 25	13,0	28,7	467	420	10	90	18	69
	13 07	13,0	28,3	458	411	10	90	18	69
	13 15	13,0	28,0	450	408	9	91	18	69
	13 25	13,8	27,5	442	400	10	90	17	69
	13 35	14,0	27,1	433	390	10	90	17	69
	13 45	14,0	26,6	422	383	9	91	17	69
	13 55	14,0	26,1	408	369	10	90	17	70
	14 05	14,0	25,4	386	356	8	92	17	69
	14 15	14,0	24,8	378	340	10	90	16	70
	14 25	14,0	24,0	364	327	10	90	16	71
	23-10	10 45	14,8	24,7	367	321	13	87	14
11 45		12,0	27,7	436	376	14	86	16	71
12 45		13,0	28,2	444	381	14	86	15	71
13 45		13,0	26,2	397	341	14	86	16	72
14 45		11,0	21,7	300	245	18	82	13	75
15 45		13,0	15,5	183	140	23	77	10	80
16 45		12,0	7,9	67	40	41	59	5	90
29-11	9 45	10,0	11,4	108	40	63	37	3	87
	10 45	8,0	14,1	186	84	55	45	13	77
	11 45	10,0	16,8	214	70	67	33	19	71
	12 45	10,0	17,2	189	51	73	27	18	73
19-12	10 45	13,0	12,0	139	11	92	8	14	85
	11 45	10,0	15,2	200	17	91	9	18	76
	12 45	10,0	16,3	194	14	93	7	14	74

Tabel 2. Resultaten van metingen van september 1979 tot en met februari 1980 (vervolg).

datum	tijd	tempe- ratuur (°C)	zons- hoogte (°)	straling		straling		aandeel violet +blauw (%)	aandeel rood + infrarood (%)
				globaal (W/m ²)	direkt (W/m ²)	diffuus (%)	direkt (%)		
18-01	10 25	-1,6	12,0	122	37	69	31	5	90
	11 25	-4,0	16,5	206	79	61	39	6	88
	12 25	-3,0	18,8	219	64	71	29	6	88
	13 25	-2,0	19,0	211	90	57	43	7	88
	14 25	-1,0	16,5	167	59	64	36	5	92
	15 25	-1,0	11,0	89	23	75	25	4	94
19-02	9 35	5,0	14,9	167	128	23	77	8	82
	10 35	4,5	21,1	292	232	20	80	12	77
	11 35	5,6	25,7	389	311	20	80	14	74
	12 35	7,1	27,9	444	342	23	77	14	74
	13 35	8,0	27,8	442	315	29	71	14	74
	14 35	9,0	24,9	378	269	29	71	13	77
	15 35	9,0	19,8	244	134	45	55	10	82
	16 35	7,5	13,1	94	23	76	24	-	-

Tabel 3. De onnauwkeurigheid die aflezen op 0,1 mV bij diverse zonshoogten veroorzaakt.

zonshoogte (°)	onnauw- keurigheid (W/m ²)	zonshoogte (°)	onnauw- keurigheid (W/m ²)
50	4,6	25	2,54
45	4,2	20	2,05
40	3,9	15	1,55
35	3,4	10	1,04
30	3,0	5	0,52

buurt van de 10% onnauwkeurigheid. Door het middelen over een aantal waarnemingen wordt de fout in het algemeen kleiner; wat gezegd is geldt voor de afzonderlijke waarnemingen. Voor toekomstige metingen bij lage zonnestanden zal geprobeerd worden met een gevoeliger analoge millivoltmeter te werken. Ook deze meters hebben echter hun bezwaren. Er kunnen grotere afleesfouten gemaakt worden, de aanwijzing is vaak wat onrustiger en de meetnauwkeurigheid is bovendien kleiner dan de afleesnauwkeurigheid.

De straling is tevens onderverdeeld in diffuse straling en directe straling, uitgedrukt in procenten van de globale straling. Als de zon stijgt gedurende de ochtend, kan men een afnemend aandeel diffuse straling verwachten; in de inleiding is daar al op geduid. 's Middags komt de zon lager en dan verwachten we een toenemend percentage.

Ook uit de meetresultaten blijkt dit het geval te zijn, soms zeer duidelijk, soms met wat goede wil. Zo is er op 22 oktober weinig variatie in het percentage diffuse straling. Toen is er echter ook maar gemeten van 11 10 tot 14 30 uur. De zonshoogte is in dit tijdsbestek weinig veranderd (van 26,8 over 28,7 naar 24°). Het blijkt dat er van dag tot dag een grote variatie in het percentage diffuse straling kan optreden, ongeacht de zonshoogte. Zo zijn bij zonshoogten van 11 tot 13° als percentages gevonden: 63 (29 nov), 92 (19 dec), 69 en 75 (18 jan) en 76 (19 feb). Op 23 oktober zal het ongeveer 32 % geweest zijn. De weersomstandigheden spelen dus ook een belangrijke rol. Cirrusstratusbewolking, bijvoorbeeld, laat nog wel directe straling door, maar geeft een sterke diffundering. De som van de percentages diffuus en direkt moet per definitie op 100 procent uitkomen, maar kleine afrondingsfouten zijn mogelijk.

Dat de som op 100 procent uitkomt is niet het geval bij de som van de aandelen violet plus blauw en rood plus infrarood in de directe straling. Deze som varieert van 85 tot 98% bij onze metingen. Dit komt doordat het aandeel violet plus blauw de straling beneden de 525 nm betreft en het aandeel rood plus infrarood de straling boven de 630 nm. Het deel van de directe straling tussen 525 en 630 nm, dat meestal een 13 tot 17% bedraagt, is zodoende niet meegerekend. Het valt op dat de som vooral bij lage waarden (< 100 W/m²) van de directe straling 90% of meer bedraagt. Dit kan niet steeds als reëel gezien worden. Wat hierboven opgemerkt is over de gevolgen van het niet nauwkeuriger dan op 0,1 mV kunnen aflezen, geldt voor dit onderdeel in nog sterkere mate, doordat we met lagere waarden te maken hebben. Aan de hand van een voorbeeld zullen we dit duidelijk maken.

We nemen hiervoor een waarneming uit de serie van 19 december. Waargenomen is toen:

tijd	11 47	aantal mV	zonder filter	1,1
metertemperatuur	10 °C		met roodfilter	0,7
invalshoek	74,7°		met geelfilter	0,8
globale straling	72 J/(cm ² .h)			

Dit geeft als uitkomsten o.a.:

globale straling	200 W/m ²	aandeel diffuus	91%
direkte straling	18 W/m ²	aandeel direkt	9%
		aandeel viol. + bl.	20%
		aandeel rood + i.r.	69%

Wordt nu de aflezing zonder filter (1,1 mV) veranderd in 1,0 mV, dan zouden de uitkomsten geweest zijn:

globale straling	200 W/m ²	aandeel diffuus	92%
direkte straling	16 W/m ²	aandeel direkt	8%
		aandeel viol. + bl.	12%
		aandeel rood + i.r.	76%

Was in plaats van de aflezing 1,1 mV zonder filter, de aflezing voor het roodfilter (0,7 mV) verlaagd met 0,1 mV dan waren de uitkomsten voor de aandelen "blauw" en "rood" veranderd in achtereenvolgens 20 en 59%. Het percentage rood plus infrarood zou dan gedaald zijn van 69 naar 59 procent. Het is dus duidelijk dat bij geringe bestralingssterktes niet teveel waarde gehecht moet worden aan de percentages blauw en rood. Het is zelfs mogelijk dat er een negatief percentage voor blauw uit de berekeningen rolt. Dit gebeurde in feite

op 19 februari eenmaal. Deze waarde is in de tabel opengelaten. Ook hier geldt dat in het algemeen het middelen over meer waarnemingen de resultaten betrouwbaarder maakt.

Waar de waarnemingen wat betrouwbaar geacht kunnen worden blijkt dat het aandeel rood plus infrarood toeneemt met afnemende zonshoogte; voor het aandeel blauw geldt het tegenovergestelde. Dat is ook wel logisch, doordat de mate van verstrooiing in de atmosfeer afhangt van de weglengte van de stralen door de dampkring en bovendien samenhangt met de golflengte van het licht. Hoe kleiner de golflengte, hoe sterker de verstrooiing. Onder punt 2.4 is hier al eerder over gesproken.

De variatie van dag tot dag in de aandelen blauw en rood in de directe straling vertoont minder grote schommelingen dan de variatie in het aandeel difuse straling in de globale straling.

5. Slotopmerkingen

De globale straling vertoont vrij grote verschillen in de verhouding diffuus en direct licht, zelfs bij zonnig weer. Tot nu toe is op zonnige dagen gemeten. Een moeilijkheid bij de planning van de meetdagen is dat pas op zeer korte termijn geweten kan worden of een dag zonnig zal zijn. Het komt ook voor dat een zonnige dag voorspeld wordt en halverwege de dag de hemel gaandeweg betreft. Van een onverwacht zonnige dag kan vaak geen gebruik gemaakt worden in verband met de planning van andere werkzaamheden.

De verhoudingen die berekend worden veranderen maar langzaam gedurende de dag. Het blijkt voldoende om eenmaal per uur een meetcyclus van een tien minuten uit te voeren. Het is dan wel aan te bevelen in deze tien minuten een 5 tot 7 waarnemingen te doen. In de waarnemingen van zo'n cyclus zit onderling wel een kleine spreiding en door het herhalen wordt de invloed van toevallige fouten verkleind. Op systematische fouten, zoals afwijkingen in de millivoltmeter in het lage bereik, heeft het herhalen uiteraard geen invloed.

Het is ook mogelijk de diffuse straling te meten met behulp van een solarimeter, waarbij de baan van de zon door een ring afgeschermd wordt. Deze ring moet verschoven worden al naar de hoogste zonnestand in de loop van het jaar verandert, om de schaduwbaan van de ring op de voeler van de solarimeter te houden. Bij deze methode ontstaat een kleine fout doordat ook dat deel van de zonnebaan, waar de zon op een bepaald moment niet staat, afgeschermd wordt. Ook is de ring wat breder dan voor een precieze beschaduwning nodig is, om de ring niet al te frequent te hoeven te verschuiven. Er wordt zodoende wat te weinig diffuus licht gemeten. De metingen met een dergelijke opstelling kunnen met de meetgegevens van een normaal opgestelde solarimeter vergeleken worden. Het verschil van deze twee geeft dan de directe straling. Een dergelijk instrument is van het IMAG geleend en we zullen proberen het apparaat hier opgesteld te krijgen.

Door vergelijken van de uitkomsten die met de twee methodieken verkregen worden hopen we ook nauwkeuriger uitkomsten te krijgen. Overigens is het wel een onderzoek van langere duur. Het aantal zonnige dagen is speciaal in het winterhalfjaar niet bijster groot. Het onderzoek is echter juist in de wintermaanden van belang. Het licht is dan in het minimum voor de teelten, de oriëntatie van de kas is dan het belangrijkste bij veel directe straling en de schaduwen zijn in de winter het

langst. Er is nu nog niet genoeg cijfermateriaal voorhanden om een uitspraak te doen over de verhouding tussen direkte en diffuse straling voor een gehele maand.

6. Samenvatting

Het rapport behandelt enkele aspecten van het bepalen van de diffuse en de direkte straling, waar de globale straling in onderverdeeld is. De verhouding tussen deze twee te kennen is van belang bij berekeningen omtrent de lichtdoorlating van kassen en bij schaduwbepalingen.

Gemeten is tijdens zonnige dagen. Bij zonshoogten boven de 20° varieerde het percentage diffuse straling van 8 tot 33%. Beneden de 15° zonshoogte werden hiervoor waarden van 41 tot 93% gevonden. Met behulp van filters is tevens naar de verhouding tussen kortgolvlige en langgolvlige straling in de direkte straling gekeken. Ook deze verhouding is afhankelijk van o.a. de toestand van de atmosfeer. Bij lage zonnestand, d.w.z. bij een lage waarde van de bestralingssterkte wordt het meetsignaal zo zwak, dat vrij grote meetfouten kunnen ontstaan.

Het aandeel diffuse straling over een maand gerekend, hangt af van de verhouding diffuus/direkt tijdens zon en van de relatieve zonneschijnduur. De metingen zullen langer voortgezet moeten worden om hier betrouwbare uitspraken over te doen. Mede met behulp van een instrument dat van het IMAG geleend is, hopen we het onderzoek voort te zetten.

Naaldwijk
April 1980

Programma voor het verwerken van de metingen

```
50 PRINT CHR$(12)
100 PRINT TAB(9); "PROGRAMMA DIFFUSE STRALING"
110 PRINT TAB(9); "=====
120 PRINT:PRINT:PRINT
130 INPUT "HET AANTAL WAARNEMINGEN IS";A
135 PRINT
140 REM *** SOLARIMETER WEERTOREN, NAAR W/M2 (S)
150 W=500: INPUT "DE WEERTOREN GEEFT IN J/(CM2.H)"; W
160 IF W=INT(W) AND W>0 AND W<360 GOTO 185
170 PRINT "INVOERFOUT, NIET GEACCEPTTEERD"
180 GOTO 150
185 S=2.77778*W
190 PRINT
200 REM *** METERTEMPERATUUR (T)
210 H=0
220 FOR J=1 TO A
230 PRINT "METERTEMPERATUUR, AFLEZING";J;
240 T=100: INPUT T
250 IF T<0 OR T>40 GOTO 280
260 H=H+T
270 GOTO 300
280 PRINT "INVOERFOUT, NIET GEACCEPTTEERD"
290 GOTO 230
300 NEXT J
310 T=H/A
340 REM *** BEREKENEN GEVOELIGHEID METER (G)
350 REM *** D.W.Z. AANTAL W/M2 PER MILLIVOLT
360 G=697.8/(11.752-.0226*W)
370 PRINT
390 REM *** INVALSHOEK (I) EN ZONSHOOGTE (Z)
400 H=0
410 FOR J=1 TO A
420 PRINT "INVALSHOEK, AFLEZING";J;
430 I=100: INPUT I
440 IF I<25 OR I>90 GOTO 470
450 H=H+I
460 GOTO 490
470 PRINT "INVOERFOUT, NIET GEACCEPTTEERD"
480 GOTO 420
490 NEXT J
500 I=H/A
510 Z=90-I
520 REM *** COSINUS INVALSHOEK (C), EERST RADIALEN (RAD)
530 RAD=I*.017453
540 C=COS(RAD)
550 PRINT
```

```
560 REM *** DIREKTE STRALING, EERST MILLIVOLT, DAN W/M2 (D)
570 H=0
580 FOR J=1 TO A
590 PRINT "GEEN FILTER, AFLEZING";J;
600 MD=100: INPUT MD
610 IF MD<0 OR MD>30 GOTO 640
620 H=H+MD
630 GOTO 660
640 PRINT "INVOERFOUT, NIET GEACCEPTTEERD"
650 GOTO 590
660 NEXT J
670 MD=H/A
680 D=MD*GXC
690 PRINT
700 REM *** ROODFILTER, EERST MILLIVOLT, DAN W/M2 (R)
710 H=0
720 FOR J=1 TO A
730 PRINT "ROODFILTER, AFLEZING";J;
740 MR=100: INPUT MR
750 IF MR<0 OR MR>30 GOTO 780
760 H=H+MR
770 GOTO 800
780 PRINT "INVOERFOUT, NIET GEACCEPTTEERD"
790 GOTO 730
800 NEXT J
810 MR=H/A
820 R=MR*GXCX1.089
830 PRINT
850 REM *** GEELFILTER, EERST MILLIVOLT, DAN W/M2 (Y)
860 H=0
870 FOR J=1 TO A
880 PRINT "GEELFILTER, AFLEZING";J;
890 MY=100: INPUT MY
900 IF MY<0 OR MY>30 GOTO 930
910 H=H+MY
920 GOTO 950
930 PRINT "INVOERFOUT, NIET GEACCEPTTEERD"
940 GOTO 880
950 NEXT J
960 MY=H/A
970 Y=MY*GXCX1.104
1000 REM *** AANDEEL DIFFUUS, DIREKT, BLAUW EN ROOD+INFRAROOD
1010 DF=INT(100*(S-D)/S+.5)
1020 PD=INT(100*D/S+.5)
1030 PB=INT(100*(D-Y)/D+.5)
1040 PR=INT(100*R/D+.5)
1050 PRINT:PRINT
1100 REM *** NU DE GEWENSTE GEGEVENS UITPRINTEN
1105 PRINT CHR$(12)
1110 PRINT "DE METERTEMPERATUUR IS";INT(10*T+.5)/10;" GR. CELSIUS"
1120 PRINT
1130 PRINT "DE ZONSHOOGTE IS          ";INT(10*Z+.5)/10;" GRADEN"
1140 PRINT
```



```
1150 PRINT "DE GLOBALE STRALING IS";INT(S+.5);" W/M2"  
1160 PRINT  
1170 PRINT "DE DIREKTE STRALING IS";INT(D+.5);" W/M2"  
1180 PRINT  
1190 PRINT "HET AANDEEL DIFFUUS IS";DF;" %"  
1200 PRINT  
1210 PRINT "HET AANDEEL DIREKT IS ";PD;" %"  
1220 PRINT  
1230 PRINT "HET AANDEEL VIOLET+BLAUW IS";PB;" %"  
1240 PRINT  
1250 PRINT "HET AANDEEL ROOD+INFRAROED IS";PR;" %"  
1260 PRINT  
1270 PRINT  
1280 PRINT INT(10*XT+.5)/10;SPC(3);INT(10*Z+.5)/10;SPC(3);  
1290 PRINT INT(S+.5);SPC(3);INT(D+.5);SPC(3);DF;SPC(3);  
1300 PRINT PD;SPC(3);PB;SPC(3);PR  
1310 PRINT:PRINT:PRINT  
1320 INPUT "NOG EEN SERIE WAARNEMINGEN";A$  
1330 IF LEFT$(A$,1)="N" THEN 1400  
1350 PRINT CHR$(12)  
1370 GOTO 120  
1400 END
```