

# een controleprogramma voor globale stralingsmetingen

W.R. Raaff en C.A.Velds

technische rapporten TR-100

Inhoud

|  | blz. |
|--|------|
| 1. Inleiding   | 2    |
| 2. Een controleprogramma voor de dagelijkse uurwaarden                       | 2    |
| 3. Controle van grotere stralingsbestanden                                   | 6    |
| 4. Referenties   | 11   |
| 5. Aanhangsels   | 12   |
| 5.1 Te gebruiken formules  | 12   |
| 5.2 Frequenties van verdachte waarden  | 13   |
| 5.3 Computerprogramma van Koopstra voor de detectie van<br>verdachte waarden | 15   |
| 5.4 Symbolenlijst  | 18   |

## 1. Inleiding

Het KNMI beschikt thans over de resultaten van globale stralingsmetingen op een aantal stations over een reeks van jaren. Deze metingen worden nog steeds voortgezet.

Ofschoon grote zorgvuldigheid wordt betracht bij de uitvoering van deze metingen is behoefte gebleken aan een programma waarmee mogelijke fouten in de meetresultaten kunnen worden gesignaleerd, die dan nader moeten worden bekeken, waarna beslist moet worden of en hoe een correctie moet worden toegepast.

De meetresultaten bestaan in elementaire vorm uit uurwaarden, verkregen met een Kipp en Zonen-pyranometer en Sodeco-teller.

De controle van de uurwaarden van de globale straling bestaat daaruit dat de gegeven waarde wordt beoordeeld op plausibiliteit, dat wil zeggen dat eigenlijk alleen uitschieters door de controle worden gesignaleerd.

Hulpmiddelen bij de beoordeling zijn de astronomische factoren (het tijdstip van zonsopkomst en zonsondergang, zonshoogte, de aan de rand van de atmosfeer invallende straling), de bewolking en de zonneshijnggegevens. Bovendien zijn er nog statistische hulpmiddelen zoals het gebruik van het gemiddelde, de standaardafwijking, regressie en correlatie.

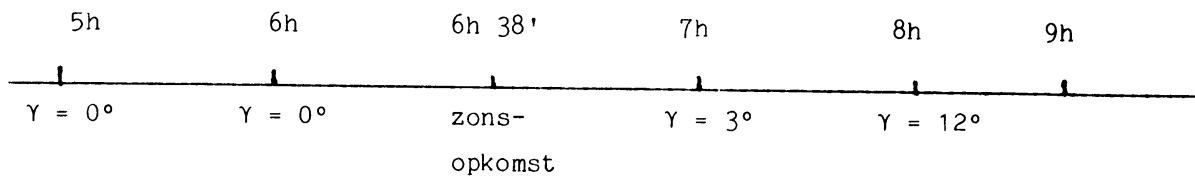
## 2. Een controleprogramma voor de dagelijkse uurwaarden

Dagelijks worden met de formules van Dogniaux (zie 5.1) de declinatie  $\delta$ , de tijdvereffening  $e$  en de aan de rand van de atmosfeer invallende straling  $I_0$  berekend.

Voor elke gewenste plaats kunnen dan vervolgens de daglengte  $2H$  en daaruit de tijdstippen van zonsopgang en zonsondergang worden bepaald, waarmee de indeling in dag- en nachturen vastligt.

Daarna wordt voor elk daguurvak  $t$ , waarbij onder uurvak  $t$  wordt verstaan het tijdvak tussen  $t - 1$  en  $t$  uur, de gemiddelde zonshoogte (of de zonshoogte op het midden van het uurvak),  $\gamma$ , en de uursom van de aan de rand van de atmosfeer op het horizontale vlak invallende straling  $Q = I_0 \sin \gamma$  berekend. Hierbij moet  $I_0$ , die in  $\text{Wm}^{-2}$  is gegeven, worden omgerekend naar  $\text{J cm}^{-2}$  via vermenigvuldiging met 0,36. Voor het uurvak van zonsopkomst en zonsondergang

wordt  $Q$  berekend als gegeven in het volgende voorbeeld:



$$\text{uurvak 5-6: } \gamma = (0 + 0)/2 = 0^\circ \quad Q = 0$$

$$\text{uurvak 6-7: } \gamma = (0 + 3)/2 = 1,5^\circ$$

$$Q = \left(\frac{60 - 38}{60}\right) I_0 \sin 1,5^\circ$$

$$\text{uurvak 7-8: } \gamma = (3 + 12)/2 = 7,5^\circ \quad Q = I_0 \sin 7,5^\circ$$

In het volgende wordt de globale straling aangeduid met  $G$ . Per uurvak dient de verhouding  $K_t = G_t/Q_t$  berekend te worden, benevens een theoretische maximumwaarde hiervan, aangeduid met  $K_{t0}$ , die bepaald wordt met de volgende formule:

$$K_{t0} = T \exp(-a/\sin \gamma). \quad (1)$$

Deze formule is verkregen met behulp van een model, waarbij geringe hoeveelheden ozon, waterdamp en aerosol in de atmosfeer zijn verondersteld (Raaff, 1987) met  $T = 0,85$  en  $a = 0,05$ . De verhouding  $K_t = G_t/Q_t$  wordt opgevat als een soort transmissiefactor.

De volgende controles en correcties kunnen dan op het datamateriaal worden uitgevoerd:

- A) Controle of de globale straling in de nachturen nul is. Indien  $G \neq 0$ , dan is  $G = 0$  te stellen, maar de originele waarnemingen blijven behouden om achteraf de nulpuntsdrijf te bepalen. De nachtwaarden niet meenemen in de berekening van de dagsom.
- B) Controle op de globale straling in de daguren. Zoek de uren met  $G$  ontbrekend,  $G = 0$ , dan wel  $K_t > K_{t0}$ . In deze gevallen moet  $G$  geschat worden.

Vergelijking (1) geeft een maximale transmissie weer; voor een zo goed mogelijke schatting van  $G$  zal rekening moeten worden gehouden met de

werkelijke transparantie T van de atmosfeer bepaald uit niet-verdachte uurwaarden en de aanwezige bewolking. Dan wordt de globale straling  $G_t$  in het uurvak t als volgt geschat:

$$G'_t = Q_t \cdot T \cdot \exp(-0,05/\sin \gamma_t) \cdot F_c, \quad \text{mits } \gamma_t > 5^\circ,$$

waarbij de bewolkingsfactor,  $F_c$ , is ontleend aan Kasten en Czeplak (1980) (zie ook Holtslag en Van Ulden, 1983):

$$F_c = (1 - 0,75 C_t^{3,4}),$$

met  $C_t = N/8$ , waar N is de totale bewolkingsgraad in achtsten. N wordt aan de SYNOP ontleend en is dus een momentane waarde; gemiddeld over het uurvak t:

$C_t = (N_t + N_{t-1})/16$ .  $Q_t$  en  $\gamma_t$  zijn voor het uurvak te berekenen. Voor uurvakken waarbij  $\gamma_t < 5^\circ$  is kan eenvoudig gesteld worden dat

$$G'_t = Q_t K_{t0}$$

daar een verfijnde methode hier weinig zin heeft.

T wordt geschat uit een niet-verdachte uurwaarde van de globale straling op dezelfde dag, liefst uit het naaste uurvak, i, mits  $\gamma_i > 5^\circ$  is.

$$T = G_i \cdot \exp(0,05/\sin \gamma_i) / (F_{ci} \cdot Q_i).$$

Eventueel wordt T geschat als het geometrisch gemiddelde uit het voorgaande en volgende uurvak:

$$T = \sqrt{T_{t-1} \cdot T_{t+1}}.$$

Zonodig wordt T geschat uit de G-waarden op een nabijgelegen station.

Er zij opgemerkt dat hier aanbevolen is om G te schatten (dus de gemeten waarde van G te verwerpen) wanneer  $K_t > K_{t0}$ . Men zou ook kunnen overwegen G te verwerpen wanneer  $K_t > K_{t0} \cdot F_c$ . Aangezien  $F_c < 1$ , zou men dan G eerder verwerpen. Teneinde aan de veilige kant te blijven en geen correcties in te voeren, die mogelijk niet terecht zijn, mede omdat de functie  $F_c$  een gemiddelde transmissie door de bewolking voorstelt zodat de werkelijke transmissie hoger dan deze kan zijn, is de eerste ongelijkheid hier

aangehouden.

Er is van afgezien om behalve T ook a te schatten, omdat enerzijds de invloed van de a-waarde in de formule hoofdzakelijk van belang is bij de  $K_{to}$ -waarden bij zonshoogte  $\gamma < \text{ongeveer } 20^\circ$ , anderzijds in de praktijk onhanteerbare waarden van T en a verkregen kunnen worden. Belangrijker is de invloed van de T-waarde, zodat gekozen is voor een vaste waarde  $a = 0,05$ .

De hier gegeven controle en correctie is de belangrijkste. Als de uurwaarden in orde zijn zullen in de dagsommen geen fouten meer voorkomen, tenzij incorrect wordt gesommeerd.

Voorbeeld

Als voorbeeld moge dienen de globale straling op 22 april 1976 (tabel 1).

Op deze vrij zonnige dag met wind uit het noordoosten werden op alle 5 stations hoge uurwaarden van de globale straling geregistreerd. Een controleprogramma met  $K_{to} = 0,85 \exp(-0,05/\sin \gamma)$  zou de in tabel 1 vetgedrukte waarden als verdacht signaleren. Het is opmerkelijk dat vooral in de begin- en einduren de gemeten waarden te hoog zijn. Verder vertoont De Bilt een uitschieter in uurvak 11, terwijl ook de globale straling in uurvak 10 aan de hoge kant is. De oorzaak hiervan is niet na te gaan. Mogelijk was het registratie-apparaat ietwat gestoord, maar het is niet helemaal uit te sluiten dat reflecties aan de opkomende cumulusbewolking wat extra straling hebben opgeleverd.

Hieronder zijn de verdachte en de gecorrigeerde waarden van de globale straling naast elkaar vermeld:

| Station       | uurvak | G              |              |
|---------------|--------|----------------|--------------|
|               |        | ongecorrigeerd | gecorrigeerd |
| De Kooy       | 5      | 2              | 1            |
| De Bilt       | 5      | 2              | 1            |
| Eelde         | 5      | 4              | 3            |
| Vlissingen    | 5      | 2              | 0            |
| LH Z.-Limburg | 5      | 2              | 1            |
| De Kooy       | 19     | 12             | 7            |
| Eelde         | 19     | 9              | 4            |
| LH Z.-Limburg | 19     | 5              | 4            |
| De Bilt       | 10     | 261            | 258          |
|               | 11     | 305            | 282          |

Voor de uurvakken 5 en 19 is gewoon  $G = Q \cdot K_{t_0}$  toegepast, daar de zonshoogte  $\gamma$  minder dan  $5^\circ$  bedroeg.

De globale straling in de uurvakken 10 en 11 te De Bilt zijn berekend m.b.v. de gegevens in uurvak 9:

$$N = 1 \text{ dus } F_c = 1 - 0,75(1/8)^{3,4} = 0,999$$

$$T = (218/280) \exp(0,05/\sin 35,1)(0,999)^{-1} = 0,850.$$

Dan in:

$$\text{uurvak 10: } G = 328 \cdot 0,850 \cdot \exp(-0,05/\sin 42,4) \cdot 0,997 = 258$$

$$\text{uurvak 11: } G = 360 \cdot 0,850 \cdot \exp(-0,05/\sin 47,7) \cdot 0,986 = 282.$$

### 3. Controle van grotere stralingsbestanden

Bij een tweede controle van de stralingsgegevens, bijvoorbeeld voor de publikatie van het maandoverzicht van het weer in Nederland of van normalen en frequentieverdelingen voor een standaardtijdvak kunnen nog andere methoden worden gebruikt om verdachte waarden te detecteren.

Ten eerste staan voor sommige stations andere meteorologische grootheden, zoals zonneshijnduur en bewolking ter beschikking. Ten tweede kunnen statistische toetsen, regressie- en correlatieberekeningen als hulpmiddel worden gebruikt.

Tabel 1 Globale straling op 22 april 1976. Q en G in  $J\ cm^{-2}\ uur^{-1}$  (WRR), tijdsvereffening 1,67 min., zonsdeclinatie 12,06°,  $I_0 = 487\ J\ cm^{-2}\ uur^{-1}$ .

| uurvak<br>GMT | De Kooy |      |     |     | De Bilt |     |   |      | Eelde |     |    |     | Vlissingen |     |     |    | LH. Z.-Limburg |      |     |     |    |     |      |     |     |    |
|---------------|---------|------|-----|-----|---------|-----|---|------|-------|-----|----|-----|------------|-----|-----|----|----------------|------|-----|-----|----|-----|------|-----|-----|----|
|               | S       | Y    | G   | Q   | K(%)    | S   | N | Y    | G     | Q   | K  | S   | Y          | G   | Q   | K  | S              | Y    | G   | Q   | K  | S   | Y    | G   | Q   | K  |
| 5             | 0,0     | 1,9  | 2   | 7   | 29      | 0,2 | 1 | 1,9  | 2     | 7   | 29 | 0,0 | 2,4        | 4   | 12  | 33 | 0,0            | 1,4  | 2   | 3   | 67 | 0,0 | 1,9  | 2   | 7   | 29 |
| 6             | 0,7     | 8,2  | 32  | 70  | 46      | 1,0 | 1 | 8,3  | 38    | 71  | 54 | 0,9 | 9,3        | 42  | 79  | 53 | 0,8            | 7,3  | 31  | 62  | 50 | 0,5 | 8,5  | 25  | 72  | 35 |
| 7             | 1,0     | 17,2 | 93  | 144 | 65      | 1,0 | 1 | 17,5 | 97    | 146 | 66 | 0,9 | 18,3       | 84  | 153 | 55 | 1,0            | 16,6 | 89  | 139 | 64 | 0,9 | 17,9 | 93  | 150 | 62 |
| 8             | 0,7     | 26,2 | 122 | 214 | 57      | 1,0 | 1 | 26,6 | 137   | 218 | 63 | 0,9 | 27,1       | 146 | 222 | 66 | 1,0            | 25,8 | 153 | 212 | 72 | 1,0 | 27,3 | 158 | 233 | 71 |
| 9             | 0,9     | 34,5 | 183 | 276 | 66      | 1,0 | 1 | 35,1 | 218   | 280 | 78 | 1,0 | 35,3       | 191 | 282 | 68 | 1,0            | 34,6 | 212 | 276 | 77 | 1,0 | 36,0 | 217 | 286 | 76 |
| 10            | 0,8     | 41,7 | 225 | 324 | 69      | 1,0 | 1 | 42,4 | 261   | 328 | 80 | 1,0 | 42,3       | 195 | 327 | 60 | 1,0            | 42,2 | 259 | 327 | 79 | 1,0 | 43,5 | 253 | 335 | 76 |
| 11            | 0,3     | 46,9 | 128 | 355 | 36      | 1,0 | 2 | 47,7 | 305   | 360 | 85 | 0,5 | 47,1       | 133 | 357 | 37 | 1,0            | 47,9 | 286 | 361 | 79 | 1,0 | 48,9 | 273 | 367 | 74 |
| 12            | 0,9     | 49,1 | 250 | 368 | 68      | 0,9 | 3 | 49,9 | 195   | 372 | 52 | 0,4 | 48,9       | 117 | 367 | 32 | 1,0            | 50,5 | 297 | 376 | 79 | 1,0 | 51,1 | 286 | 379 | 75 |
| 13            | 1,0     | 47,9 | 284 | 361 | 79      | 0,7 | 6 | 48,6 | 206   | 365 | 56 | 0,3 | 47,3       | 138 | 358 | 39 | 1,0            | 49,5 | 292 | 370 | 79 | 1,0 | 49,6 | 275 | 370 | 74 |
| 14            | 1,0     | 43,5 | 265 | 335 | 79      | 0,8 | 6 | 44,0 | 189   | 338 | 56 | 0,9 | 42,7       | 252 | 330 | 76 | 1,0            | 45,1 | 187 | 345 | 54 | 1,0 | 44,7 | 219 | 342 | 64 |
| 15            | 1,0     | 36,9 | 225 | 292 | 77      | 0,8 | 6 | 37,1 | 203   | 294 | 69 | 1,0 | 35,9       | 199 | 285 | 70 | 0,9            | 38,3 | 169 | 302 | 56 | 0,9 | 37,4 | 189 | 296 | 64 |
| 16            | 1,0     | 28,8 | 179 | 234 | 76      | 0,6 | 3 | 28,8 | 102   | 235 | 43 | 1,0 | 27,7       | 153 | 226 | 68 | 0,7            | 30,0 | 94  | 243 | 39 | 0,7 | 28,9 | 133 | 235 | 57 |
| 17            | 1,0     | 20,0 | 106 | 166 | 64      | 0,0 | 3 | 19,9 | 47    | 165 | 28 | 1,0 | 18,9       | 98  | 158 | 62 | 0,6            | 20,9 | 86  | 174 | 49 | 0,8 | 19,6 | 78  | 163 | 48 |
| 18            | 1,0     | 11,0 | 57  | 93  | 61      | 0,0 | 7 | 10,7 | 35    | 90  | 39 | 0,8 | 9,9        | 40  | 84  | 48 | 0,6            | 11,6 | 37  | 98  | 38 | 0,7 | 10,2 | 36  | 86  | 42 |
| 19            | 0,5     | 3,2  | 12  | 20  | 60      | 0,0 | 6 | 3,0  | 6     | 18  | 33 | 0,4 | 2,7        | 9   | 15  | 60 | 0,1            | 3,4  | 8   | 22  | 36 | 0,0 | 2,7  | 5   | 14  | 36 |



## Maandelijkse controle

- A) Controle of de maandsom gelijk is aan de som van de dagsommen.  
 B) Vergelijking met de relatieve zonneshijnduur  $S/S_0$ .

Deze procedure is ook toegepast bij de controle van het stralingsbestand 1971-1982, zie het computerprogramma van Koopstra in Aanhangsel 3.

Maandelijks worden de uren uitgeprint, waarvoor:

- 1)  $S/S_0 = 0$  en  $G/Q > 0,40$ , waarbij  $G > 40 \text{ J cm}^{-2}$ ;
- 2)  $S/S_0 \neq 0$  en  $G = 0$ .

In deze gevallen is òf S fout òf G fout.

Voor het onderzoek of de verdachte waarde van G werkelijk fout is kan naar de waarden van omliggende uurvakken of nabij gelegen stations worden gekeken, terwijl tevens bewolkingsgegevens in de beschouwing kunnen worden betrokken.

- C) Controle op verdachte dagsommen kan gebeuren met de relatie van Frantzen en Raaff (1982):

$$G' = a_0 + a_1 S/S_0 \quad \text{indien } S > 0$$

$$G' = G_c \quad \text{indien } S = 0.$$

De constanten  $a_0$ ,  $a_1$  en  $G_c$  zijn voor iedere decade in het jaar bepaald:

$$a_0 = 606,5 + 444,1 \sin(0,1745 t - 1,4827) \text{ J cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$$

$$a_1 = 1221,7 + 915,0 \sin(0,1745 t - 1,4504) \text{ J cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$$

$$G_c = 390,5 + 292,9 \sin(0,1745 t - 1,4682) \text{ J cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$$

waarbij  $t = 1, 2, \dots, 36$  het nummer van de decade in het jaar is en de hoeken in radialen zijn uitgedrukt.

Signalering als verdachte dagsom, wanneer

$$\|G' - G\| > 2 E$$

waarbij  $G'$  = de geschatte dagsom volgens de formule,

$G$  = de gemeten dagsom

$$E = 119,0 + 75,78 \sin(0,1754 t - 1,2718) \text{ J cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}.$$

- D) Tenslotte kunnen ook maandsommen op verdachte waarden worden getoetst met de methode van Prescott (Frantzen en Raaff, 1982):

$$G'/Q = 0,21 + 0,61 S/S_0 \quad \text{voor kuststations,}$$

$$G'/Q = 0,20 + 0,60 S/S_0 \quad \text{voor landstations.}$$

Signalering als verdachte waarde, wanneer

$$\|G' - G\| > 0,048 Q.$$

Hierin is:  $G'$  = de geschatte maandirradiantie volgens de formule in  $Wm^{-2}$ ,  
 $G$  = de gemeten maandirradiantie in  $Wm^{-2}$ ,  
 $Q$  = het maandgemiddelde van de straling op een horizontaal vlak aan de rand van de atmosfeer in  $Wm^{-2}$  (zie tabel 2),  
 $S$  = de maandsom van de zonneshijnduur in uren,  
 $S_0$  = de maximaal mogelijke zonneshijnduur in uren per maand (zie tabel 3).

#### Statistische toetsen

De stralingsgegevens worden in de vorm van een puntenwolk in een  $F - t$  coördinatensysteem uitgezet. Hierbij is  $F$  een geschikte functie van de te toetsen stralingsuursom en  $t$  een tijdsafhankelijke parameter, zoals het uur van de dag, de zonshoogte of de maand van het jaar.

Voor nadere gegevens wordt verwezen naar Schmid (1976), die deze methode heeft uitgewerkt voor uurwaarden van de globale straling  $G$ , de diffuse straling  $D$  en van  $G - D$  als functie van  $\gamma$  bij zes verschillende  $S/S_0$ -klassen.

Abbott (1986) geeft richtlijnen voor de kwaliteitscontrole van klimatologische gegevens. Deze betreffen echter alleen grootheden, die een hoge tijd- of ruimtecorrelatie hebben, zoals temperatuur, luchtdruk en wind. Voor de relatieve zonneshijnduur  $S/S_0$  wordt één ruimtelijke kwaliteitscontrole besproken, die echter geen waarde geeft waarboven de gemeten  $S/S_0$  verworpen zou moeten worden.

Een nader onderzoek van het Nederlandse stralingsbestand zal moeten uitwijzen of het mogelijk is, langs de lijnen die door Schmid en Abbott zijn uitgezet, criteria te vinden voor het toetsen van stralingsgegevens op basis van de ruimtelijke correlatie.

Tabel 2. Maandgemiddelden van de straling op een horizontaal vlak aan de rand van de atmosfeer in W/m<sup>2</sup>.

| GEOGR. BR | JAN  | FEB   | MRT   | APR   | MEI   | JUNI  | JULI  | AUG   | SEP   | OKT   | NOV   | DEC  |
|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 53°       | 86,1 | 149,3 | 246,5 | 354,1 | 439,6 | 479,2 | 459,8 | 388,0 | 278,8 | 183,8 | 104,2 | 69,4 |
| 52°       | 92,6 | 156,4 | 252,8 | 358,5 | 441,7 | 479,8 | 461,0 | 391,4 | 293,1 | 190,6 | 111,0 | 75,9 |
| 51,5°     | 96,3 | 159,9 | 255,9 | 360,5 | 442,7 | 480,2 | 461,6 | 393,0 | 295,8 | 194,0 | 114,6 | 79,3 |
| 51°       | 99,7 | 163,5 | 259,1 | 362,7 | 443,6 | 480,5 | 462,2 | 394,5 | 289,6 | 197,3 | 118,0 | 82,7 |

Tabel 3. Maximaal mogelijke zonneshijnduur in uren per maand.

| STATION               | JAN             | FEB   | FEB   | MRT   | APR   | MEI   | JUNI  | JULI  | AUG   | SEP   | OKT   | NOV   | DEC   |
|-----------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | (schrinkeljaar) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| De Kooy               | 253,6           | 274,6 | 285,4 | 367,8 | 419,2 | 490,9 | 505,3 | 507,2 | 456,3 | 380,9 | 328,5 | 261,2 | 237,8 |
| Belde                 | 252,4           | 274,0 | 284,8 | 367,8 | 419,9 | 491,6 | 506,6 | 508,1 | 456,8 | 381,0 | 328,4 | 260,9 | 236,9 |
| De Bilt               | 256,7           | 276,2 | 287,0 | 368,6 | 416,5 | 486,6 | 500,6 | 502,3 | 453,3 | 380,1 | 330,3 | 264,0 | 242,0 |
| Vliss.                | 260,4           | 277,6 | 288,4 | 368,1 | 415,9 | 483,9 | 496,2 | 499,3 | 451,5 | 379,6 | 330,9 | 267,1 | 245,8 |
| L.H. Zuid-<br>Limburg | 262,6           | 279,1 | 290,0 | 368,0 | 414,9 | 481,8 | 493,5 | 497,0 | 449,9 | 379,4 | 332,1 | 269,2 | 248,2 |

#### 4. Referenties

- Abbott, P.F. (1986). Guidelines on the quality control of surface climatological data. World Climate Programme Report WCP-85. WMO/Technical Document No. 111, WMO, Genève.
- Frantzen, A.J. en W.R. Raaff (1982). De relatie tussen de globale straling en de relatieve zonneshijnduur in Nederland. KNMI-Wetenschappelijk Rapport WR 82-5.
- Holtslag, A.A.M., and A.P. van Ulden (1983). A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. J. Climate and Appl. Meteor. 22 (4), 517 - 529.
- Kasten, F., and G. Czeplak (1980). Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud. Solar Energy, 24 (2), 177-189.
- Raaff, W.R. (1987). De maximale globale straling bij onbewolkt weer. KNMI-memorandum FM 87-21, (ongepubliceerd manuscript).
- Schmid, W. (1976). Aufbereitung und Qualitätskontrolle langjähriger Messunterlagen der Globalstrahlung und Himmelsstrahlung. Arbeitsber. der Schweiz. Meteor. Zentralanst. 59, Zürich, Juli 1976.

## 5 Aanhangsels

### 5.1 Te gebruiken formules

De declinatie  $\delta$  (in  $^\circ$ ) is alleen een functie van het dagnummer  $d$ , waarbij 1 januari  $d = 1$ .

$$\delta = 0,33281 - 22,984 \cos \frac{2\pi d}{366} - 0,34990 \cos \frac{4\pi d}{366} - 0,13980 \cos \frac{6\pi d}{366} \\ + 3,7872 \sin \frac{2\pi d}{366} + 0,03205 \sin \frac{4\pi d}{366} + 0,07187 \sin \frac{6\pi d}{366}$$

De tijdvereffening  $e$  (in hr) is alleen een functie van het dagnummer  $d$ , waarbij 1 januari  $d = 1$ .

$$e = 0,0072 \cos \frac{2\pi d}{366} - 0,0528 \cos \frac{4\pi d}{366} - 0,0012 \cos \frac{6\pi d}{366} \\ - 0,1229 \sin \frac{2\pi d}{366} - 0,1565 \sin \frac{4\pi d}{366} - 0,0041 \sin \frac{6\pi d}{366} .$$

De straling aan de rand van de atmosfeer  $I_0$  (in  $\text{Wm}^{-2}$ ) is alleen een functie van het dagnummer  $d$ , waarbij 1 januari  $d = 1$ .

$$I_0 = 1367 + 45,326 \cos \frac{2\pi d}{366} + 0,88018 \cos \frac{4\pi d}{366} - 0,00461 \cos \frac{6\pi d}{366} \\ + 1,8037 \sin \frac{2\pi d}{366} + 0,09746 \sin \frac{4\pi d}{366} + 0,18412 \sin \frac{6\pi d}{366} .$$

De daglengte  $2H$  (in hr) is een functie van de declinatie  $\delta$  en de breedtegraad  $\phi$ .

$$2H = \frac{2}{15} \text{bg} \cos \left[ \frac{\sin(-50') - \sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \right] .$$

De tijden van zonsopkomst en zonsondergang liggen  $H$  uren voor, resp.  $H$  uren na 12 uur ware zonnetijd (WT).

$$12 \text{ uur WT} = 12 \text{ uur UT} + e - \lambda/15 \quad (\lambda < 0 \text{ voor oosterlengte!}).$$

De tijden van zonsopkomst en zonsondergang in UT:

$$\text{zonsopkomst } z_{\text{op}} = 12 - e + \lambda/15 - H \quad (\lambda < 0 \text{ voor oosterlengte!})$$

$$\text{zonsondergang } z_{\text{on}} = 12 - e + \lambda/15 + H \quad " \quad " \quad " \quad "$$

De zonshoogte  $\gamma$ , (in graden), is een functie van uur, dag, breedte- en lengtegraad.

$$\sin \gamma = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos (t - 12 + e - \lambda/15)$$

met  $\phi$  de breedtegraad,  $t$  in UT en  $\lambda < 0$  voor oosterlengte.

## 5.2 Frequenties van verdachte waarden

Het komt heel vaak voor dat in de begin- en einduren  $G > Q$  is; dit zijn gevallen waarin  $G$  een kleine waarde heeft. Blijkbaar kan het instrument de globale straling bij deze lage zonshoogte niet goed meten.

Bij zonshoogten boven, zeg  $5^\circ$ , moet het instrument betrouwbare waarden leveren. Om een indruk te krijgen hoe vaak het voorkomt dat het quotient  $G/Q = K_t$  verdacht hoog uitvalt, is in tabel 4 voor een vijftal jaren de frequentie van hoge uurwaarden van dit quotient te De Bilt geturfd.

Tabel 4 Frequentie van uurlijkse waarden  $K_t > 0,73$  te De Bilt, per jaar, bij een zonshoogte  $\gamma \geq 5^\circ$ .

---

| $K_t$     | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| 1,00      | -    | -    | 1    | -    | 3    |
| 0,90-0,99 | 2    | 1    | -    | -    | 1    |
| 0,89      | -    | -    | -    | -    | 1    |
| 0,88      | -    | -    | 1    | -    | -    |
| 0,87      | -    | -    | 1    | -    | -    |
| 0,86      | -    | -    | 1    | -    | -    |
| 0,85      | -    | -    | -    | -    | 1    |
| 0,84      | 1    | -    | 2    | -    | 1    |
| 0,83      | -    | -    | 1    | 2    | -    |
| 0,82      | -    | -    | 5    | 1    | 2    |
| 0,81      | -    | -    | 1    | 1    | 6    |
| 0,80      | 1    | 2    | 5    | 7    | 4    |
| 0,79      | 2    | 3    | 6    | 20   | 7    |
| 0,78      | 1    | 5    | 12   | 19   | 15   |
| 0,77      | 5    | 7    | 13   | 23   | 13   |
| 0,76      | 10   | 6    | 28   | 25   | 19   |
| 0,75      | 16   | 15   | 25   | 30   | 31   |
| 0,74      | 36   | 17   | 26   | 29   | 34   |
| Totaal    | 74   | 56   | 128  | 157  | 138  |

---

Men krijgt de indruk dat waarden van  $K_t \leq 0,79$  heel goed mogelijk zijn en dat waarden van  $K_t > 0,84$  verworpen moeten worden, terwijl waarden  $0,79 < K_t \leq 0,84$  twijfelachtig zijn.

Waarden van  $K_t \geq 0,80$  zijn dus verdacht hoog. In tabel 5 is opgegeven op hoeveel dagen zo'n waarde is voorgekomen.

Tabel 5 Aantallen dagen met één of meer uren waarop  $K_t \geq 0,80$  is bij  $\gamma \geq 5^\circ$ .

|            | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| De Bilt    | 3    | 2    | 9    | 5    | 13   | 9    | 5    | 9    | 5    | 2    |
| Eelde      | 40   | 36   | 4    | 5    | 14   | 9    | 15   | 13   | 17   | 17   |
| Vlissingen | 6    | 2    | 12   | 6    | 7    | 7    | 4    | 15   | 10   | 8    |
| Z.-Limburg | 3    | 0    | 3    | 6    | 3    | 7    | 9    | 10   | 8    | 7    |

Het blijkt dat tussen de stations deze aantallen dagen nogal kunnen verschillen. Opvallend zijn de grote aantallen te Eelde in 1971 en 1972; daar moeten in de metingen fouten zijn gemaakt.

Nemen we voorlopig aan dat waarden  $K_t \geq 0,85$  op foutieve metingen berusten dan geeft tabel 6 de aantallen uren en daarachter tussen haakjes de aantallen dagen waarop  $K_t \geq 0,85$  was.

Tabel 6 Aantallen uren (aantallen dagen) waarop de waarde  $K_t \geq 0,85$  voorkwam bij  $\gamma \geq 5^\circ$ .

|                  | 1971   | 1972   | 1973  | 1974  | 1975   | 1976   | 1977   | 1978 | 1979  | 1980  |
|------------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|------|-------|-------|
| De Bilt          | 2( 2)  | 1( 1)  | 4( 3) | -     | 6( 4)  | 10( 7) | 5( 3)  | 4(2) | 7(3)  | 1(1)  |
| Eelde            | 16(11) | 22(12) | 3( 3) | 1( 1) | 13( 8) | 1( 1)  | 16(10) | 5(3) | 14(5) | 13(6) |
| Vlis-<br>singen  | 4( 4)  | -      | 2( 2) | 2( 1) | 2( 2)  | 4( 3)  | 1( 1)  | 5(5) | 5(4)  | 1(1)  |
| Zuid-<br>Limburg | 3( 2)  | -      | 1( 1) | -     | 5( 2)  | 11( 6) | 6( 3)  | 3(2) | 16(6) | 7(4)  |
| De Kooy          | 3( 3)  | 1( 1)  | 1( 1) | -     | 4( 3)  | 2( 2)  | 6( 5)  | 3(2) | 3(3)  | 4(3)  |

Op de meeste stations zijn dus de aantallen dagen met foutieve metingen betrekkelijk gering, alleen te Eelde zijn de aantallen duidelijk groter dan op de andere stations.

### 5.3 Computerprogramma van Koopstra voor de detectie van verdachte waarden

Voor het project stralingsklimaat is door Koopstra een controlecomputerprogramma geschreven. Dat programma kan in de toekomst gebruikt worden bij de controle van meerjarenbestanden, b.v. voor de normaalperiode 1961 - 1990.

Het programma signaleert de volgende verdachte gevallen en print die uit met datum-tijdgroep.

Programmaregel:

|               |   |
|---------------|---|
| 149100        | $I_{0,h}$ ontbreekt (in de gevallen dat $I_{0,h} = 0$ ) en G ontbreekt niet;  |
| 149200        | $I_{0,h}$ ontbreekt niet (dus $I_{0,h} > 0$ ), maar G ontbreekt (G aanvullen);  |
| 149300-150000 | $I_{0,h}$ ontbreekt niet, G ontbreekt niet,<br>$I_0 < 1000$ (om dagsommen uit te sluiten)<br>$G > 0,8 I_{0,h}$ (G is verdacht hoog);        |
| 153000        | $S \neq 0$ , maar $G = 0$ (wel zon maar geen globale straling);   |
| 154000-155000 | $I_{0,h} \neq 0$ , $G/I_{0,h} > 0,40$ , $S = 0$ , $G \geq 40$<br>(geen zon, maar wel vrij hoge globale straling)                            |
| 156200-156400 | $\gamma$ ontbreekt niet (dus $I_{0,h}$ ontbreekt ook niet),<br>G ontbreekt niet, $\gamma \geq 5^\circ$ , maar $G = 0$ (G is verdacht laag). |



```

00100000 $SET LIST
00101000 $SET LINEINFO
00102000 $RESET XREF
00103000 BEGIN%
00104000 % PROGRAMMA LEEST "STRALING7182..." TAPE EN VOERT EEN AANTAL KON-
00105000 % TROLES UIT (ZIE KOMMENTAAR IN PROGRAMMA TEKST) EN PRINT DE VER-
00105500 % DACHTE WAARNEMINGEN UIT.
00107000 % ER WORDT VIA TAKVALUE MEEGEGEVEN: STATIONSNUMMER EN EEN GRENS-
00108000 % WAARDE VOOR DE DERDE KONTROLE, B.V. 260040.
00109000 % PROJEKT: --- S T R A L I N G S K L I M A A T ---
00110000 % PROGRAMMA AANGEMAAKT: 30-08-1983.
00111000 % DATUM LAATSTE WIJZIGING: 06-02-1985.
00112000 % PROGRAMMEUR: J.M. KOOPSTRA.
00113000
00114000 REAL%
00114100 RN,% REGELNUMMER
00115000 I;% HULPVARIABELE
00116000
00117000 EBCDIC ARRAY%
00118000 L{0:53},% LEESARRAY
00119000 R{0:131};% PRINTARRAY (1 REGEL)
00120000
00121000 FILE%
00122000 LT(KIND=PETAPE,FILETYPE=7),% LEESFILE
00123000 PR(KIND=PRINTER,UNITS=CHARACTERS);% PRINTERFILE
00124000
00125000 DEFINE%
00125500 U =INTEGER(L{6},2)*,%
00126000 RP(X,Y,Z)=REPLACE R{X} BY L{Y} FOR Z*;%
00127000
00127100 PROCEDURE KOP;%
00127110 BEGIN%
00127120 WRITE(PR(SKIP 1));%
00127130 WRITE(PR,<"UITVOER KONTROLE-PROGRAMMA">);%
00127140 WRITE(PR,<"GEKONTROLEERD STATION=",I4>,MYSELF.TASKVALUE DIV 1000);%
00127150 WRITE(PR,<"GETEST OP GRENSWAARDE (DREMPELWAARDE):",I4>,MYSELF.TASKVALUE MOD 1000);%
00127160 WRITE(PR,<"EN G/IOH GROTER 0.40">);%
00127170 WRITE(PR(SPAC 2));%
00127180 REPLACE R BY " " FOR 132;%
00127200 REPLACE R{3} BY%
00127210 "DATUM IO Y IOH S G BEWOLKING ",%
00127220 "VVWW DDF T";%
00127230 WRITE(PR,132,R);%
00127240 WRITE(PR(SPAC 1));%
00127250 RN:=9;%
00127260 END;% K O P
00127270
00128000 PROCEDURE PRINT(X,Y); VALUE X,Y; REAL X,Y;%
00129000 BEGIN%
00130000 REPLACE R BY " " FOR 132;% REGEL BLANK
00131000 RP(0,0,8);% DATUMTIJD GROEP
00132000 RP(9,8,4);% ET STRALING
00133000 RP(15,12,3);% ZONSHOOGTE
00134000 RP(20,15,4);% STRALING HOR. VLAK BUITEN ATMOSFEER
00135000 RP(26,19,3);% ZONNESCHIJNDUUR
00136000 RP(31,22,4);% GLOBALE STRALING
00137000 RP(37,26,5);% BEWOLKING
00138000 FOR I:=0,1,2,3,4 DO RP(44+I*5,31+I*4,4);% WOLKENGROEPEN,VVWW,DDFF
00139000 RP(70,51,3);% TEMPERATUUR
00140000 REPLACE R{X} BY "*"; REPLACE R{Y} BY "*";% VERDACHTE WAARDEN
00141000 WRITE(PR,132,R);%
00141100 RN:=*+1;%
00141200 IF RN>55 THEN KOP;%
00142000 END;%
00143000

```

```

00146000
00146100 KOP;%
00147000 WHILE NOT READ(LT,54,L) DO%
00148000 BEGIN%
00149000     IF LT.RECORD=0 THEN WRITE(PR,("BEINDATUM=",19>,INTEGER(L(0),6));%
00149100     IF (L(15)=" " AND L(22) NEQ " ") OR%
00149200         (L(15) NEQ " " AND L(22)=" ") THEN PRINT(24,35);%
00149300     IF L(15) NEQ " " AND L(22) NEQ " " AND%
00149400         INTEGER(L(8),4) LSS 1000 THEN%
00149500     BEGIN%
00150000         IF INTEGER(L(22),4) GTR .8*(INTEGER(L(15),4))%
00150100         THEN PRINT(24,35);%
00151000         %%% KONTROLE GLOBALE STRALING MET STRALING HOR. VLAK BUITEN ATM
00152000
00153000         IF INTEGER(L(19),3) NEQ 0 AND INTEGER(L(22),4)=0%
00153100         THEN PRINT(29,35);%
00154000     % IF INTEGER(L(15),4) NEQ 0 THEN%
00154100     % BEGIN%
00154200     %     I:=INTEGER(L(22),4)/INTEGER(L(15),4);%
00154300     %     IF I>.40 AND INTEGER(L(19),3)=0 AND%
00154400     %     INTEGER(L(22),4) GEQ%
00155000     %     MYSELF.TASKVALUE MOD 1000 THEN%
00155100     %     PRINT(29,35);%
00155200     %     END;%
00156000     %%% KONTROLE ZONDUUR MET GLOBALE STRALING %%%
00156100     END;%
00156200     IF L(12) NEQ " " AND L(22) NEQ " " THEN%
00156300     IF INTEGER(L(12),3)>=50 AND INTEGER(L(22),4)=0 THEN%
00156400     PRINT(18,35);%
00156500     %%% CONTROLE ZONSHOOGTE>=5 GRADEN EN GLOBALE STRALING=0 %%%
00157000 END;%
00158000
00159000 WRITE(PR,("EINDDATUM=",19>,INTEGER(L(0),6));%
00160000
00161000END.

```

5.4 Symbolenlijst

|           |  |
|-----------|--|
| $a_0$     | constante in de relatie globale straling relatieve zonneshijnduur                    |
| $a_1$     | constante in de relatie globale straling relatieve zonneshijnduur                    |
| $d$       | dagnummer in het jaar, waarbij $d = 1$ betekent 1 januari                            |
| $e$       | tijdvereffening in uren  |
| $t$       | index voor aanduiding van het uurvak; tijd   |
| $C_t$     | bewolkingsfactor(= $N/8$ )   |
| $D$       | diffuse straling   |
| $F_c$     | bewolkingsfactor in de relatie van Kasten en Czeplak<br>(= $1 - 0,75 C_t^{3,4}$ )    |
| $G$       | globale straling   |
| $G_c$     | constante in de relatie globale straling relatieve zonneshijnduur                    |
| $G_t$     | globale straling in het uurvak $t$   |
| $H$       | halve daglengte in uren  |
| $I_0$     | straling aan de rand van de atmosfeer, loodrecht op de stralings-<br>richting        |
| $I_{0,h}$ | straling aan de rand van de atmosfeer, op het horizontale vlak                       |
| $K_t$     | $G_t/Q_t$ voor het uurvak $t$  |
| $K_{t0}$  | maximale waarde van $K_t$ , bepaald door $0,85 \exp(-0,05/\sin \gamma)$              |
| $N$       | bewolkingsgraad in achtsten  |
| $Q$       | straling aan de rand van de atmosfeer op het horizontale vlak =<br>$I_0 \sin \gamma$ |
| $Q_t$     | straling aan de rand van de atmosfeer op het horizontale vlak in het<br>uurvak $t$   |
| $S$       | opgetreden zonneshijnduur  |
| $S_0$     | maximale zonneshijnduur  |
| UT        | Universal Time, de vroegere Greenwich Mean Time GMT                                  |
| WT        | ware zonnetijd   |
| $\gamma$  | zonshoogte in graden   |
| $\delta$  | declinatie van de zon in graden  |
| $\lambda$ | lengtegraad  |
| $\phi$    | breedtegraad   |