



Vergelijking van diverse methodes voor de berekening van zonneschijnduur uit globale straling

Jarno Schipper

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Technical Report = Technisch Rapport; TR-258

De Bilt, 2004

PO Box 201, 3730 AE De Bilt
The Netherlands
Wilhelminalaan 10
<http://www.knmi.nl>
Telephone +31 30 22 06 911
Telefax +31 30 22 10 407

Author: Schipper, J.

UDC: 551.501.721
551.521.1

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2244-5



Technisch Rapport

Vergelijking van diverse methodes voor de berekening van zonneshijnduur uit globale straling.

Jarno Schipper

KNMI, De Bilt, 2004

Inhoud

Summary	3
1. Inleiding	4
2. Theorie	6
2.1 Ontwikkeling Slob algoritme	6
2.2 Berekening van de diverse stralingscomponenten	6
2.3 Bepaling van weerssituatie	8
2.3.1 Onbewolkte situatie	8
2.3.2 Geheel bewolkte situatie	8
2.3.3 Gedeeltelijk bewolkt. Af en toe zon	8
2.3.4 Gedeeltelijk bewolkt; af en toe een wolk voor de zon; echter $(G/G_0)_{\min} \geq 0,4$	9
2.4 Zonneschijn	9
2.4.1 $\sin(h) < 0,1$	9
2.4.2 $0,1 \leq \sin(h) < 0,3$	9
2.4.3 $\sin(h) \geq 0,3$	10
2.4.3.1 Geen zon	10
2.4.3.2 Geheel zonnig	10
2.4.3.3 Af en toe bewolkt	10
2.5 Slob-algoritme; een overzicht	11
3. Data	12
3.1 Instrumentatie	12
3.2 Bewerking; Algoritme Slob	12
4. Resultaten	14
4.1 Vergelijking met Campbell-Stokes.	14
4.2 Verschillen in dagsommen	16
4.2.1 Verschil in dagsommen: Situatie 1	16
4.2.2 Verschil in dagsommen: Situatie 2	17
4.2.3 Verschil in dagsommen: Situatie 3	17
4.3 Jaarlijkse gang	18
4.4 Dagelijkse gang van de seizoenen	20
4.5 Vergelijking met directe straling	23
5. Voorstel tot verbetering	26
5.1 Diffuse component bij onbewolkte situatie	26
5.2 Diffuse component bij bewolkte situatie	26
5.3 Gedeeltelijk bewolkt; af en toe zon.	27
5.4 Gemiddelde turbiditeit bij verschillende zonshoogten.	27
5.5 Zonneschijnduur; Algoritme Schipper	28
5.6 Resultaten; Algoritme Schipper	28
6. Conclusie en aanbevelingen	33
6.1 Algoritme Slob	33
6.2 Algoritme Bergman	33
6.3 Algoritme Schipper	34
6.4 Aanbeveling	34
7. Dankbetuiging	36
Literatuur	37
Appendix A	

Summary

For many years sunshine hours have been recorded using manually operated meteorological stations. This measurement was originally developed as a means of recording integrated global solar radiation, before the advent of electronics. By using modern instruments and datalogging systems, there are now often more appropriate ways of recording solar radiation for scientific applications. However, because there is an archive of historical sunshine data, and also because sunshine hours are now commonly used as a measure which the public can relate to (normally in weather forecasts and tourist brochures), there is a requirement to continue making these measurements.

Traditionally this has been done using a Campbell-Stokes recorder, which consists of a glass sphere with a piece of card held at a defined distance behind the glass. The card is graduated with time intervals which match the movement of the image of the sun as it tracks across the sky. If the sun is strong enough then the focused beam carbonises the card leaving a trace. The length of the trace equates to sunshine duration. However, reading the cards always involves a degree of subjectivity and the design does not lend itself to automation.

A formal definition of sunshine duration by the World Meteorological Organisation (WMO) has allowed the development of automatic instruments for measuring sunshine hours. This defines sunshine hours as 'the sum of the time intervals (in hours) during which the direct (normal) solar irradiance exceeds a threshold of 120Wm^{-2} '. The most complex (and most accurate) of these instruments are tracking pyrheliometers, where a collimated sensor automatically moves to track the movement of the sun. This reads the direct beam radiation only. Any reading over 120Wm^{-2} is defined as being sunshine. However, as this type of sensor does not truly track the sun it requires regular adjustment to take into account the seasonal changes in solar declination. Also, this sensor is relatively expensive and has moving parts requiring extra power. A much simpler approach is to try to estimate sunshine hours from the single pyranometer/solarimeter of the type normally installed on most weather stations. As these sensors measure total global radiation the normal definition of 'sunshine' cannot be used. Simple fixed thresholds, as often used in low grade weather stations, do not give reliable answers either, as diffuse radiation from a completely cloudy sky in the summer will often exceed direct beam radiation in the winter. An alternative algorithm has been suggested by workers at the Royal Dutch Meteorological Institute (KNMI). They have proposed and tested an algorithm (Slob-algorithm) which defines sunshine as being when the measured global radiation (G) is greater than 0.4 times the potential solar radiation outside the earth's atmosphere on a horizontal surface (G_0). One long term test of this algorithm showed that estimates of sunshine hours were on average within 0.9 hours of the daily total (Slob, 1991). While this might appear to give rather poor accuracy compared to that one would expect for totalised solar radiation, they consider it accurate enough for normal non-scientific use of sunshine hour data. As the sensor can also be used to make accurate solar radiation measurements, scientific data can be collected at the same time. Further development resulted in an alteration of this algorithm in 1993 (Algorithm Bergman). In this study the results for "sunshine-duration" calculated by both algorithms will be compared to measurements from the Campbell-Stokes. The results of the comparison will be discussed and concluding remarks will be given.

1. Inleiding

Het KNMI heeft de uurlijkse waarden van zonneshijnduur vanaf 1899 opgeslagen in de klimatologische database. Deze waarden zijn de basis voor tal van klimatologische producten. Per 1-1-1993 is op alle KNMI-stations overgeschakeld op een andere methode om de zonneshijnduur te bepalen. Sinds die datum wordt niet langer de oude en vertrouwde Campbell-Stokes (brandspoor) methode gebruikt, maar is overgeschakeld op een indirecte methode, gebaseerd op globale straling.

Redenen voor vernieuwing waren de nieuwe richtlijnen van het WMO (WMO, 1986). Deze trok in september 1989 de Campbell-Stokes terug als standaard meetinstrument voor de bepaling van zonneshijnduur vanwege de te grote meetonzekerheid en de klimaatgevoeligheid van de Campbell-Stokes. Hiertoe kwam men door een meer uniforme fysische interpretatie voor zonneshijnduur te gaan hanteren, nl. de tijd waarover de directe straling (gemeten op een oppervlak loodrecht op de zonsrichting) groter is dan 120 W m^{-2} . Met de Campbell-Stokes methode kan deze scherpe grens niet gehanteerd worden, ook de arbeidsintensiviteit van uittrekken van de stroken waren aanleiding tot afschaffing van de Campbell-Stokes. Er was geen mogelijkheid tot automatiseren van het Campbell-Stokes proces. Gezien deze feiten ontstond de noodzaak te gaan meten via een andere methode.

Het KNMI heeft er niet voor gekozen om de meting van zonneshijnduur te baseren op de directe straling. Een belangrijk argument hierbij was dat op de directe stralingsmeter, de zogeheten *pyrheliometer*, een kostbare zonnevolger gemonteerd diende te worden. Het volgen van de rechteklimning gebeurt weliswaar automatisch, maar de declinatie moest tot voor kort nog handmatig ingesteld worden. Dit maakt een hierop gebaseerde methode ongeschikt voor automatische stations. Het KNMI heeft daarom gekozen voor een meer indirecte methode. Slob ontwikkelde hiertoe een methode waarbij de zonneshijnduur wordt bepaald met behulp van een herleiding uit metingen van de globale straling, in het bijzonder uit de 10-minuten registraties van de waarden gemiddelde, maximum en minimum globale straling, het zogeheten "algoritme Slob" (Slob, 1991). Met het algoritme wordt uit de genoemde informatie de zonneshijnduur per 10'-vak bepaald. De 10'-waarden zijn de basis voor de berekening van de uurwaarden en de etmaalwaarden zonneshijnduur. De methode is in de periode 1991 – 1993 operationeel ingevoerd. De nieuwe technieken van inzamelen maakte het mogelijk om m.b.v. hogere tijdsresolutie (10'-basis) een nauwkeurige waarde voor de zonneshijnduur te bepalen.

Tot en met de operationele invoering van de bovengenoemde methode gebruikte het KNMI een Campbell-Stokes autograaf voor de bepaling van de zonneshijnduur. De registratie is continu maar het uitlezen van de strook geschiedt éénmaal per etmaal. Alleen op waarnemstation De Bilt is, parallel aan de operationele berekeningsmethode van de zonneshijnduur op dit station, nog een Campbell-Stokes "actief". De registratie zal nog enkele jaren op dagbasis worden voortgezet. Deze wordt echter niet gebruikt voor de bepaling van de zonneshijnduur. De metingen van de Campbell-Stokes zijn in mijn onderzoek gebruikt om de alternatieve methodes te toetsen.

Om operationeel uit de globale straling de zonneshijnduur te berekenen is op basis van het Slob-Algoritme door U. Bergman een PC-programma geschreven (Bergman, 1993). De in het PC-programma gebruikte methode wijkt iets af van het algoritme Slob. Enkele empirische constanten zijn aangepast om een betere overeenstemming te krijgen met de Campbell-Stokes; daarmee wijken de waarnemingen dus af van het internationale voorschrift.

Het is echter nog steeds niet gegarandeerd dat de metingen volgens de algoritmes en de oude meting volgens de Campbell-Stokes methode vergelijkbare resultaten opleveren. Vooral in de zomermaanden blijken er verschillen op te treden. Doel van dit onderzoek was dan ook om deze en eventueel andere verschillen in kaart te brengen.

In hoofdstuk 2 wordt de theorie m.b.t. zonneshijnduur en het tot stand komen van het algoritme Slob beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de gebruikte instrumenten, de data en de

bewerking hiervan. In hoofdstuk 4 worden de resultaten weergegeven. De verschillen tussen de output van de algoritmen en de Campbell-Stokes worden beschreven en verklaard. Tevens wordt een aantal dagen beschreven waarop specifiek is nagegaan waardoor er verschillen ontstaan. In hoofdstuk 5 worden enkele aanbevelingen gedaan t.a.v. het algoritme in de vorm van een nieuw algoritme. In hoofdstuk 6 worden conclusies getrokken op basis van dit onderzoek.

2. Theorie

Op het KNMI wordt op de synoptische stations de zonneshijnduur herleidt uit de metingen van de globale straling. Hoewel meting van de directe straling met een pyrhelio-meter de norm die gehanteerd wordt door het WMO het best benaderd is toch gekozen voor een meer indirecte methode.

Een belangrijk argument dat bij deze keuze meegespeeld heeft zijn de kosten die bij meting met een pyrhelio-meter gemoeid zijn. Voor meting met een directe stralingsmeter is een kostbare zonnevolger nodig.

Teneinde te besparen op een kostbare investering, maar toch voor alle stations dezelfde methode te kunnen hanteren voor het bepalen van de zonneshijnduur werd een methode gebruikt, ontwikkeld door Slob (1991), om de zonneshijnduur te schatten uit de globale straling. Sinds 1960 wordt op een aantal Nederlandse stations op routinebasis de globale straling gemeten, onder andere t.b.v. de landbouw (als referentie voor de berekening van de gewasverdamping uit globale straling en de temperatuur).

2.1 Ontwikkeling Slob algoritme

Bij de inzameling van globale stralinggegevens werd vroeger met een resolutie van een uur gearchiveerd. Modernere technieken in de jaren tachtig leenden zich er toe om deze resolutie te verhogen naar 10 minuten. Sinds April 1986 wordt op De Bilt op 10-minuut basis de globale straling, alsmede de maximum en de minimum globale straling geregistreerd. Parallel hieraan wordt sinds 1995 de directe en diffuse component van de globale straling geregistreerd.

De dataset die hierbij verkregen werd was basis voor het onderzoek van Wouter Slob (1991). Hij heeft getracht de diffuse alsmede de directe component te schatten uit de gegevens van de globale straling. Bovendien werd de zonneshijnduur geschat, waarbij als verificatie de directe stralingsmeting is gebruikt om te zien wanneer de door de WMO gehanteerde drempelwaarde van 120 W m^{-2} wordt overschreden. De geschatte waarden werden vergeleken met de Campbell-Stokes om homogeniteit te verkrijgen. De relatie tussen zonneshijnduur en de globale straling was reeds in 1982 onderwerp van onderzoek op het KNMI (Frantzen en Raaff, 1982).

2.2. Berekening van de diverse stralingscomponenten

De zonneconstante, I_0 , is de ontvangen stralingsflux van de zon, gemeten op een afstand van één Astronomische éénheid (gemiddelde afstand zon-aarde) op een vlak loodrecht op de invallende straling, en geïntegreerd over het gehele spectrum (Velds, 1992). I_0 bedraagt gemiddeld 1367 W m^{-2} (Fröhlich, 1988). De in werkelijkheid aangeboden straling kan tot ca. 3.5% meer of minder bedragen ten gevolge van de elliptische baan van de aarde om de zon. Bij de berekening met het algoritme wordt rekening gehouden met dit verschijnsel.

In de atmosfeer wordt straling voor een gedeelte geabsorbeerd, verstrooid en ook weerkaatst door bewolking. De straling die uiteindelijk het aardoppervlak bereikt, G , bestaat nu uit een directe component I uit de richting van de zon en uit een diffuse component D uit alle andere richtingen. De relatie tussen de globale, diffuse en de directe straling kan beschreven worden in de volgende vergelijking:

$$G = I \sin(h) + D \quad (2.1)$$

Hierin is D de diffuse component en $I \sin(h)$ de bijdrage van de directe straling op een horizontaal vlak. Waarbij h de zonshoogte is in graden.

Naast de zonshoogte is ook de mate van verstrooiing relevant. De directe straling aan het aardoppervlak is wat aan intensiteit overblijft na verstrooiing en absorptie in de atmosfeer. Een maat voor deze verstrooiing is de Linke-turbiditeit, T_L (Linke, 1922). Dit is een dimensieloze grootheid die een maat is voor de troebelheid van de atmosfeer ten opzichte van een droge schone atmosfeer.

Met gegeven I_0 is het mogelijk I uit te rekenen als T_L en h bekend zijn. Uit de parameterisatie van Kasten (1980) volgt:

$$I = I_0 \exp [-T_L / 0,9 + 9,4 \sin(h)] \quad (h > 10^\circ) \quad (2.2)$$

Uit deze vergelijking volgt dat bij een hogere turbiditeit er minder directe straling beschikbaar zal zijn. Ook is af te leiden dat bij een grotere zonshoogte de directe straling ook toeneemt. Dit is begrijpelijk omdat de weglengte van de straling door de atmosfeer af zal nemen bij toenemende zonshoogte, waardoor er meer directe straling aangeboden kan worden.

Voor het bepalen van de diffuse component zijn ook de zonshoogte h en de turbiditeit, T_L , de belangrijkste factoren. Bij de verzamelde dataset van de Bilt kon door middel van regressie voor onbewolkte periodes tussen mei 1986 en mei 1988 bij de uurgemiddelden het volgende verband voor de diffuse straling gevonden worden.

$$D = 40,3 + 41,3 T_L \sin(h) \quad (\text{W m}^{-2}) \quad (T_L < 12,5 ; h > 5^\circ) \quad (2.3)$$

Hierbij moet opgemerkt worden dat bij de ontwikkeling van dit algoritme er geen metingen waren waarbij $h > 60^\circ$ en evenmin metingen met T_L gelijk aan 2. Waarden van T_L kleiner dan 4 in combinatie met hoge waarden voor h komen zelden voor. Vergelijking 2.3 kan dus nog verfijnd worden.

Voor het schatten van de directe en die van de diffuse component wordt veelal genormeerd met de straling G_0 . Dit is de straling die buiten de atmosfeer op een horizontaal vlak valt. Hiervoor geldt:

$$G_0 = I_0 \sin(h) \quad (2.4)$$

In de verdere presentatie van het algoritme zullen we G/G_0 , eventueel met toevoeging van "max" en "min", en D/G_0 , eventueel met toevoeging van "gem" (=gemeten) of "ber" (=berekend) vaker tegen komen. Het voordeel van deze dimensieloze presentatie is de onafhankelijkheid van de zonshoogte. Hierdoor is het mogelijk om verschillende tijdstippen en seizoenen met elkaar te vergelijken. Echter door het verband tussen de weglengte door de atmosfeer en de zonshoogte blijft er nog wel enige invloed van de zonshoogte over.

De voorgaande vergelijkingen kunnen dus omgeschreven worden tot:

$$D/G_0 = 0,2 + \sin(h)/3 \quad (2.5)$$

Vergelijking 2.5 is afgeleid uit 2.3. Waarbij de turbiditeit empirisch uit de metingen is bepaald, $T_L = 6$ en de zonshoogte immer lager is dan $17,5^\circ$. Feitelijk kan je niet spreken van een empirische bepaalde turbiditeits, maar moet je spreken van een regressiefactor die afhankelijk is van de zonshoogte, het al dan niet (tijdelijk) voorkomen van een wolkenbedekking en een genormeerde waarde voor de turbiditeit.

Directe straling wordt andermaal bepaald met de parameterisatie van Kasten (1980):

$$I (\sin(h))/G_0 = \exp [-T_L / 0,9 + 9,4 \sin(h)] \quad (2.6)$$

In deze voorstelling wordt de vergelijking gebruikt voor kleinere zonshoogten dan in 2.1 beschreven werd. De grenswaarde $(G/G_0)_{gr}$ wordt nu berekend met een iets anders geschreven vorm van (2.1):

$$(G/G_0)_{gr} = D/G_0 + (I \sin(h))/G_0 \quad (2.7)$$

De voorgaande vergelijkingen gelden alleen voor onbewolkte situaties. In de volgende paragraaf zal duidelijk worden dat uit de maximum- en minimumwaarden van G andere weerssituaties herkend kunnen worden. Voor een wisselend bewolkte situatie ontwikkelde Slob de volgende relatie.

$$D = 1,2 G_0 (G/G_0)_{min} \quad (2.8)$$

In deze vergelijking is $(G/G_0)_{min}$ het quotiënt van G_{min} en G_0 . Waarbij G_{min} de minimum waarde van de globale straling opgetreden in een bepaald tijdsinterval.

De factor 1,2 is gebaseerd op de dataset die Slob gebruikte. Enige verfijning is zeker mogelijk, zeker aangezien Slob slechts een dataset van 2 jaar gebruikte.

2.3 Bepaling van weerssituatie

Het algoritme is gebaseerd op de classificatie van “bewolkingssituaties”, elk met een eigen kenmerk en herleiding (Slob, 1991). Uit de metingen van de globale straling kan bepaalt worden om welke weerssituatie het gaat en welk van de vergelijkingen van toepassing zijn om de stralingscomponenten te berekenen.

2.3.1 Onbewolkte situatie

Een criteria om over een wolkenloze hemel te spreken is als er directe straling aanwezig is. Dit is vrijwel zeker het geval als $(G/G_0)_{max} > 0,4$. Voor een volledig zonnige periode is dan tevens nodig dat alle waarden van G/G_0 groter zijn dan 0,4, dus als $(G/G_0)_{min} > 0,4$. Een volledig zonnige periode hoeft dus niet wolkenloos te zijn. Op de aanwezigheid van bewolking kan getest door extreme waarden van G/G_0 binnen een interval van 10 minuten met elkaar te vergelijken. De reflectie tussen wisselende situaties met bewolking zorgt voor een groter verschil tussen de extremen dan bij een onbewolkte situatie. In de praktijk geldt dat voor het ontbreken van bewolking $(G/G_0)_{max} - (G/G_0)_{min} \leq 0,05$

2.3.2 Geheel bewolkte situatie

Bij geheel bewolkt weer is de berekening van de verschillende stralingscomponenten simpel. De directe straling zal gelijk zijn aan 0. Hierdoor is de zonnenschijnduur ook gelijk aan 0. De diffuse component D is gelijk aan de gemeten globale straling.

2.3.3 Gedeeltelijk bewolkt. Af en toe zon

Voor de berekening van de diffuse component is vergelijking 2.4 niet geldig en moet er een andere methode gehanteerd worden. Een wolk in een verder wolkenloze hemel zal middels reflectie meer straling afgeven dan het blauwe stukje lucht dat het afschermt. Dus zowel D als $(G/G_0)_{max}$ zullen i.h.a. groter zijn dan bij een onbewolkte hemel. Als halverwege op een dag de bewolking binnen trekt dan zal $(G/G_0)_{min}$ altijd optreden als er een wolk voor de zon is. Op zo'n moment geldt dat D gelijk is aan G . In feite is dus is in zo'n geval de registratie van $(G/G_0)_{min}$ in het betreffende tijdvak ook een registratie voor de minimumwaarde van de diffuse straling. De gemiddelde diffuse straling over het betreffende tijdsinterval zal dan wat hoger liggen. Een wolk die zicht naast de zon bevindt zal bijvoorbeeld ook een bijdrage leveren aan de diffuse straling. Deze bijdrage valt weg als de wolk voor de zon schuift. Voor dit soort situaties ontwikkelde Slob het volgende algoritme om de diffuse component te schatten uit de globale straling. De situatie van gedeeltelijk bewolkt met af en toe zon wordt gekarakteriseerd door duidelijke verschillen tussen $(G/G_0)_{max}$ en $(G/G_0)_{min}$ (van de orde 0,1 of meer). In het algemeen geldt dat $(G/G_0)_{max} > 0,4$ en $(G/G_0)_{min} < 0,4$.

2.3.4 Gedeeltelijk bewolkt; af en toe een wolk voor de zon; echter $(G/G_0)_{\min} \geq 0,4$

Voor de schatting van de diffuse straling heeft Slob met de voorgaande situaties al een goede schatting kunnen geven. Echter kan in ca. 13% procent van de gevallen geen van de hiervoor beschreven procedures gebruikt worden. Het gaat hierbij om situaties waarvoor geldt dat $(G/G_0)_{\min} > 0,4$, wat aangeeft dat we over een onbewolkte hemel spreken, terwijl $(G/G_0)_{\max} - (G/G_0)_{\min} > 0,05$, wat juist weer wel weer op bewolking wijst. Voor al deze gevallen heeft Slob een onderscheid gemaakt in 2 situaties.

- De diffuse straling ligt dicht bij de waarde die voor een onbewolkte hemel geldt (weinig bewolking), en de directe straling wordt gedeeltelijk onderschept.
- De diffuse straling is aanmerkelijk groter dan de waarde die voor een onbewolkte hemel geldt als het gevolg van sterk reflecterende wolken. D/G_0 is dan van de orde 0,4 of zelfs groter (maximale waarden van D/G_0 zijn 0,6). In zulke situaties kan zelfs $G/G_0 > 1$ voorkomen.

Voor de eerste situatie kan vergelijking 2.5 gebruikt worden om de diffuse component te schatten. Voor de tweede situatie heeft Slob geen algoritme gevonden. Geen methode werd ontwikkeld door Slob om de situaties van elkaar te onderscheiden. Wellicht kan de extra informatie die aanwezig is in het verschil tussen maximum en minimum waarde, en de hoogte van de maximum waarde in de toekomst gebruikt worden om een algoritme te ontwikkelen.

2.4 Zonneschijn

Bij de bepaling van zonneschijn is het herkennen van stralingssituaties het belangrijkste en bovendien moet er rekening gehouden worden met het WMO-criterium van 120 W m^{-2} . Deze legden de basis voor het algoritme ontwikkeld door Slob. Bij het hanteren van het algoritme wordt allereerst een indeling gemaakt naar de zonshoogte, $\sin(h)$.

2.4.1 $\sin(h) < 0,1$

Bij zeer kleine zonshoogten is de verzwakking door de atmosfeer zo groot dat de $I = 120 \text{ W m}^{-2}$ grens alleen bij zeer heldere atmosfeer overschreden wordt. Deze zonshoogten komen slechts korte tijd voor. De geringe bijdrage aan de fractie zonneschijnduur is verwaarloosbaar, waardoor de fractie zonneschijnduur (Fr) gelijk is aan 0.

2.4.2 $0,1 \leq \sin(h) < 0,3$

De categorie zonshoogten tussen de $5,7^\circ$ en de $17,5^\circ$ komt in de winter bijna de gehele dag voor en daarbuiten uitsluitend bij zonsopkomst en kort voor zonsondergang. Bij deze zonshoogten is het moeilijk om de verschillende stralingssituaties te classificeren. Een verklaring die hierbij speelt is bijvoorbeeld de snelle toe- en/of afname van de zonshoogte in de zomer, resulterend in grote verschillen tussen $(G/G_0)_{\max}$ en $(G/G_0)_{\min}$. Ook de grote weglengte door de atmosfeer en het effect van bewolking die van onderen beschenen wordt door de zon maken het moeilijk onderscheid te maken. Slob loste dit in zijn algoritme op door een grof criterium te hanteren waarbij slechts onderscheid gemaakt wordt tussen totaal zonnig en totaal geen zon. Een verfijning van dit criterium is in de toekomst wellicht mogelijk en wenselijk.

Met de aanname van een gemiddelde turbiditeit kan voor een onbewolkte weerssituatie uit de vergelijkingen 2.5, 2.6 en 2.7 kunnen de verschillende stralingscomponenten berekend worden. Voor de werkelijk gemeten globale straling geldt vanaf nu dat als deze groter is dan de grenswaarde uit vergelijking (2.7) er sprake is van zonneschijn.

2.4.3 $\sin(h) \geq 0,3$

Bij zonshoogten vanaf $17,5^\circ$ wordt er door Slob onderscheid gemaakt tussen de volgende categorieën: geen zon, geheel zonnig en af en toe bewolkt (af en toe zon).

2.4.3.1 Geen zon

Voor deze zonshoogten kan een bewolkte situatie met de reeds eerder geïntroduceerde criteria van $(G/G_0)_{\max} < 0,4$ vastgesteld worden. In een periode van 10 minuten geldt bij deze weersituatie dat Fr immer gelijk is aan 0.

2.4.3.2 Geheel zonnig

Voor een onbewolkte situatie veronderstelde Slob dat $D/G_0 = 0,3$ (afgeleid uit vergelijking 2.5, waarbij $\sin(h) = 0,3$ is genomen). Een grenswaarde voor de globale straling wordt opnieuw berekend met (2.6) en (2.7), waarbij voor de turbiditeit $T_L = 10$ is genomen. In het algemeen kan deze grenswaarde alleen overschreden worden als er sprake is van directe straling. Als er gekeken wordt naar de minimum opgetreden waarde $(G/G_0)_{\min}$ en deze is groter dan de grenswaarde $(G/G_0)_{gr}$, dan is er sprake van continu aanwezigheid van directe straling en is $Fr = 1$. In situaties met zeer hoge diffuse straling, in combinatie met af en toe directe straling gaat deze test niet op en zal ten onrechte zonneshijn worden geregistreerd.

Voor de overgebleven gevallen met een hoge turbiditeit waarbij $(G/G_0)_{\min}$ de grenswaarde niet haalt, wordt vervolgens getest of $(G/G_0)_{\max} > (G/G_0)_{gr}$, en als dit het geval is, dan wordt ook gekeken of $(G/G_0)_{\max} - (G/G_0)_{\min} < 0,1$. Als dit het geval is dan wordt dit tijdsinterval ook als geheel zonnig beschouwd en wordt $Fr = 1$. Situaties met continu directe straling, maar met bewolking krijgen door deze test ook $Fr = 1$.

2.4.3.3 Af en toe bewolkt

Als alle voorgaande testen geen uitsluitel gegeven hebben, dan is de volgende test de laatste categorie om nog een bijdrage aan de zonneshijnduur te leveren. Met af en toe zon, zal de fractie zonneshijnduur tussen de 0 en de 1 liggen. Slob berekende Fr door de werkelijk gemiddelde directe straling te delen door de fictieve waarde voor het geval de zon continu zou hebben geschinen. Beide waarden worden geschat uit de gemeten globale straling.

De werkelijk directe straling wordt berekend door van de berekende diffuse straling (2.8) de gemeten globale straling af te trekken. Indien met vergelijk (2.8) een waarde van $D/G_0 > 0,4$ gevonden wordt, dan stelt Slob dat $D/G_0 = 0,4$. Grotere waarden zouden er toe kunnen leiden dat in situaties met weinig globale straling, maar een relatief grote bijdrage van de diffuse component, het hele tijdsinterval als $Fr = 0$ wordt geclassificeerd, terwijl er wel sprake was van directe straling. De fictieve maximale waarde van de directe straling wordt geschat met vergelijkingen (2.2) en (2.4). Voor de fractie zonneshijnduur geldt dan het volgende:

$$Fr = G/G_0 - D/G_0 / (I \sin(h)) / G_0 \quad 0 \leq Fr \leq 1 \quad (2.11)$$

In vergelijking (2.2) wordt voor de turbiditeit door Slob de waarde van $T_L = 4$ genomen. Hiermee probeert Slob te corrigeren voor het feit dat in de schatting van zonneshijnduur alle perioden met directe straling meetellen, dus ook voor de gevallen dat de intensiteit lager is dan de door het WMO gehanteerde norm van 120 W m^{-2} .

2.5 Slob-algoritme; een overzicht

De procedure voor het schatten van zonneshijnduur is in onderstaand schema stap voor stap uitgewerkt. In dit schema staat "Fr" voor de fractie zonneshijnduur en "gr" voor de grenswaarde.

- a) Situatie: $\sin(h) < 0,1$
geen zonneshijnwaarde, fractie zonneshijnduur $Fr = 0$;
- b) Situatie: $0,1 \leq \sin(h) < 0,3$
 $T_L = 6$;
 $G_{\text{grens}} = G_0 \times [0,2 + (\sin(h)/3 + \exp(-T_L/(0,9 + 9,4 \sin(h))))]$

als $G_{\text{gem}} < G_{\text{grens}}$: fractie zonneshijnduur $Fr = 0$;
als $G_{\text{gem}} \geq G_{\text{grens}}$: fractie zonneshijnduur $Fr = 1$;
- c) Situatie $\sin(h) \geq 0,3$
 $T_L = 10$; en $G_{\text{grens}} = G_0 \times [0,3 + \exp\{-T_L/(0,9 + 9,4\sin(h))\}]$

als $G_{\text{max}} < 0,4 \times G_0$: fractie zonneshijnduur $Fr = 0$;
als $G_{\text{max}} \geq 0,4 \times G_0$ en $G_{\text{min}} > G_{\text{grens}}$: fractie zonneshijnduur $Fr = 1$;

als $G_{\text{max}} \geq 0,4 \times G_0$ en $G_{\text{min}} \leq G_{\text{grens}}$ en $G_{\text{max}} > G_{\text{grens}}$
en $(G_{\text{max}} - G_{\text{min}}) < 0,1 \times G_0$: fractie zonneshijnduur $Fr = 1$;
- d) Overige gevallen bij $\sin(h) \geq 0,3$
 $T_L = 4$ en
Fractie zonneshijnduur $Fr = \frac{(G_{\text{gem}} / G_0) - (1,2 \times G_{\text{min}} / G_0)}{\exp\{-T_L/(0,9 + 9,4\sin(h))\}}$

3. Data

3.1 Instrumentatie

Op diverse locaties op het terrein van het KNMI in De Bilt is sinds april 1986 continu de globale straling op 10-minuten basis gemeten en geregistreerd. De meting geschiedt door een Kipp CM11 pyranometer (Slob, 1981; WMO, 1986). Dit instrument is momenteel voorzien van een ventilatiesysteem. Het ventilatiesysteem, waarbij verwarming in de winter mogelijk is, voorkomt dichtsneeuwen en rijpvorming op de glazen bolletjes, en zorgt er ook voor dat deze sneller drogen na regen. Op andere waarneemlocaties in Nederland vindt geen ventilatie plaats van de CM11.

Voor de meting van de diffuse component wordt eveneens gebruik gemaakt van een Kipp CM11 pyranometer. Dit instrument is voorzien van een schaduwscijf. Het instrument is niet voorzien van een ventilatiesysteem.

De meting van de directe straling op De Bilt wordt gemeten met een Eppley Normal Incidence Pyrheliometer (WMO, 1986).

De relevante meetwaarden van de 3 instrumenten worden elke 10 minuten op een PC weggeschreven. Per 10' wordt zo het gemiddelde, het maximum en het minimum in W m^{-2} opgeslagen. De gehele opstelling wordt met uitzondering van de weekeindes dagelijks gecontroleerd. Registratie met de tijdsresolutie van 10-minuten is in april 1986 begonnen. Voor de schatting van de zonneshijnduur zijn in dit onderzoek metingen van de globale straling gebruikt van de periode tussen januari 1995 en juli 2003. Om tot een onderlinge vergelijking te komen zijn de resultaten van deze schatting ook vergeleken met de zonneshijnduur van de Campbell-Stokes en de gemeten zonneshijnduur van de pyrheliometer (directe straling).

3.2 Bewerking; Algoritme Slob

Om het algoritme te kunnen gebruiken is per 10 minutenvak 100% data-aanwezigheid vereist. Als dit niet het geval is, dan zal de corresponderende zonneshijnduur ook ontbreken. De procedure dan is om niet handmatig te corrigeren. Voor het algoritme is de volgende input per waarneemstation nodig:

- Per 10' tijdvak: de 10' waarden gemiddelde, maximum en minimum globale straling (W m^{-2}): resp. G_{gem} , G_{max} , G_{min} ; indien waarden afwezig zijn wordt dit door middel van een indicatie aangegeven;
- De coördinaten van het betreffende station: de lengte- en breedtegraad (graden/minutes) wordt hierbij geëxtraheerd uit een tabel.

Voordat het algoritme doorlopen wordt, zijn er eerst wat berekeningen vooraf:

- De berekening van de dagnummer van het jaar, uit de ingelezen datum;
- De bepaling van het tijdstip op de dag (in UTC). Waarbij gerekend wordt met het tijdstip halverwege het betreffende 10-minuten tijdvak;
- De berekening van enkele andere relevante parameters voor de bepaling van de zonshoogte zoals de tijdcorrectie en declinatie, m.b.v. het zojuist berekende dagnummer
- De berekening van de (sinus van de) zonshoogte uit de lengte- en breedtegraad, en de zojuist berekende waarden voor de declinatie, het tijdstip op de dag en de tijdcorrectie
- De berekening van de actuele afstand van de aarde tot de zon, welke afstand gerelateerd is aan het dagnummer in het jaar.
- De berekening van de waarde van de extraterrestrische straling I_0 (= straling aan de rand van de atmosfeer) met behulp van de formule van Dogniaux, de waarde van de zonneconstante (1367 W m^{-2}) en de actuele afstand van de aarde tot de zon (Velds, 1992)

- $G_0 = I_0 \times \sin(h)$ (= vector extraterrestrische straling loodrecht op het aardoppervlak)

Voor de procedure van inlezen van de tijd, G , G_{\max} en G_{\min} , alsmede de berekeningen vooraf en het algoritme is een Fortran-programma geschreven (Appendix A). Voor het algoritme van Bergman is dezelfde programmastructuur gebruikt. In de methode van Bergman zijn de volgende aanpassingen t.o.v. het algoritme van Slob gekomen.

- Minimale zonshoogte, h , met waarde $\sin(h) = 0,05$ in plaats van $\sin(h) = 0,1$
- Een opdeling werd gemaakt in het interval van $0,05 \leq \sin(h) < 0,3$. Voor de zonshoogte tussen $0,05 \leq \sin(h) \leq 0,087$ wordt $T_L = 3,5$ genomen. Voor $0,087 < \sin(h) < 0,3$ wordt $T_L = 6$ genomen.
- In het geval dat $\sin(h) \geq 0,3$ en wisselend bewolkt is voor de turbiditeit de waarde 8 genomen in plaats van 4.

Deze aanpassingen door Bergman waren nodig om meer overeenstemming te krijgen met de metingen van de Campbell-Stokes en aldus homogeniteit van de langjarige reeks te waarborgen. Deze gewijzigde parameters zijn gegrond op een statistische vergelijking van berekeningen van de zonnenschijnduur met parallelle Campbell-Stokes waarnemingen van de periode mei 1991 tot december 1991 (Bergman, 1993).

4. Resultaten

Om een indruk te geven van de bruikbaarheid van het algoritme is voor 8 jaar uit de globale straling volgens de methode Slob en de methode Bergman de zonneshijnduur berekend. In deze fase van het onderzoek is het belangrijk om een referentie te kiezen voor vergelijk. Als men de namelijk de klimatologie van de zonneshijnduur homogeen wil houden is het van belang om de berekende waarden te vergelijken met die van de Campbell-Stokes. Het ligt voor de hand om de WMO-norm voor zonneshijnduur te hanteren en de waarden uit het algoritme te vergelijken met die van de pyrhelometer. Teneinde de homogeniteit van de langjarige klimatologische tijdreeks zonneshijnduur te toetsen is het verantwoord om in eerste instantie de met de algoritmen berekende waarden te vergelijken met de waarden zoals geregistreerd met de Campbell-Stokes. In een later stadium kan upgrading van de hele reeks van de WMO-norm plaatsvinden d.m.v. een vergelijking van de berekende waarden, resp. met de Campbell-Stokes en de gemeten waarden volgens de WMO-norm. In dit hoofdstuk zal met beide rekening gehouden worden en vergeleken worden.

4.1. Vergelijking met Campbell-Stokes.

In figuur 4.1 vinden we de dagsommen van de zonneshijnduur van de metingen met de Campbell-Stokes uitgezet tegen de uitgerekende zonneshijnduur van het algoritme van Slob.

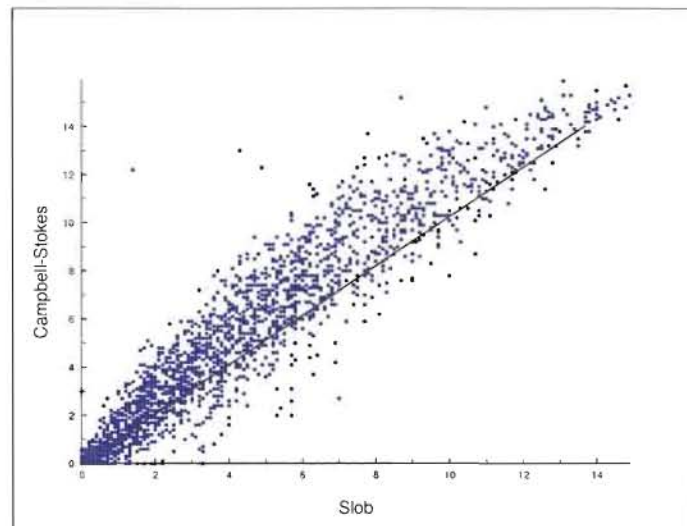


Fig. 4.1 Dagsommen van de berekende zonneshijnduur uit het algoritme Slob uitgezet tegen de zonneshijnduur bepaald uit de Campbell-Stokes in de periode van 1995 - 2002.

Wat meteen opvalt is dat de meeste waarden boven de 1:1 lijn komen te vallen. Dit geeft aan dat het algoritme van Slob t.o.v. de Campbell-Stokes een onderschatting heeft. Enkele punten vallen ruim boven de 1:1 lijn. Dit kan komen door meetfouten en uitleesfouten van de Campbell-Stokes enerzijds, maar ook door het algoritme anderzijds. Het is bekend dat in sommige gevallen (bijv. wisselend bewolkt) ook het algoritme niet goed functioneert. Verderop in dit hoofdstuk zal er een verklaring gegeven worden voor enkele van deze punten om na te gaan waarom het algoritme niet goed functioneerde.

Een soortgelijk figuur kan ook gemaakt worden voor het algoritme van Bergman (fig. 4.2). In

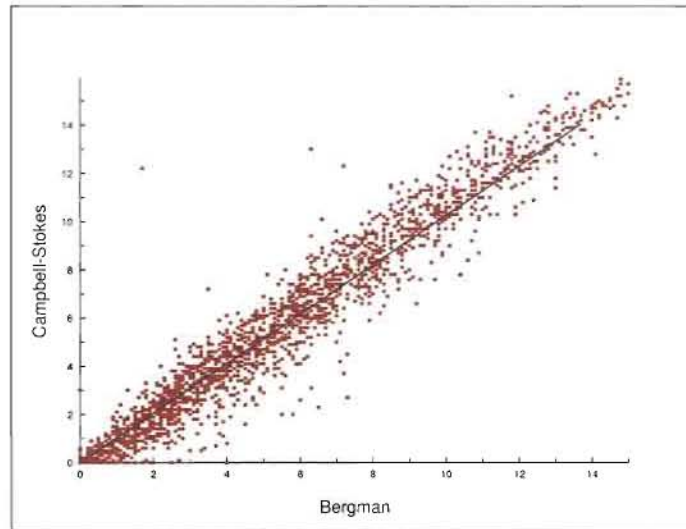


Fig. 4.2 Dagsommen van de berekende zonneshijnduur uit het algoritme Bergman uitgezet tegen de zonneshijnduur bepaalt uit de Campbell-Stokes.

figuur 4.2 zijn wederom de dagsommen van de zonneshijnduur van de Campbell-Stokes uitgezet tegen die van de berekende zonneshijnduur volgens het algoritme van Bergman. Opvallend is dat in tegenstelling tot figuur 4.1 de meeste waarden wel rond de 1:1 lijn liggen. Dit geeft aan dat het algoritme van Bergman de Campbell-Stokes goed benadert en dat er wel degelijk sprake was van een onderschatting van het algoritme Slob t.a.v. de Campbell-Stokes. Enkele waarden in figuur 4.2 vallen hier ook ruim boven en onder de 1:1 lijn. Later zal ook hier een verklaring voor gegeven worden.

Om de onderschatting van Slob andermaal nog eens aan te tonen is er ook een vergelijking gemaakt tussen het algoritme van Bergman en Slob (fig. 4.3).

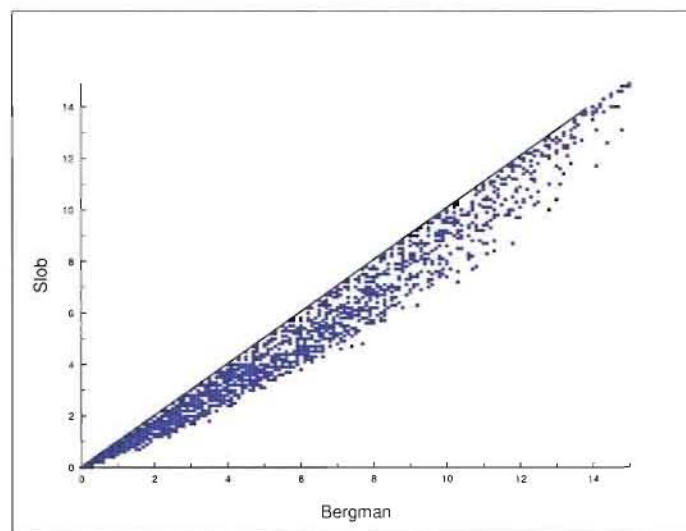


Fig. 4.3 Dagsommen van de berekende zonneshijnduur volgens Bergman uitgezet tegen de berekende zonneshijnduur volgens algoritme Slob.

De 1:1 valt duidelijk op doordat de meeste waarden eronder liggen. Dit geeft aan dat door het algoritme van Slob de berekende zonneshijnduur altijd gelijk of lager zal zijn dan die van het algoritme Bergman. Oorzaak hiervan is de turbiditeit. Bij een zonshoogte boven de 17.5° heeft de turbiditeit bij het algoritme van Slob de waarde 4, in plaats van de 8 bij het algoritme van Bergman. Deze zonshoogten leveren relatief gezien de meeste zonneshijnduur. Bij deze zonshoogten wordt de fractie zonneshijnduur berekend met de volgende vergelijking.

$$Fr = \frac{\{(G_{gem} / G_0) - (1,2 \times G_{min} / G_0)\}}{\exp \{-T_L / (0,9 + 9,4 \sin(h))\}} \quad (4.1)$$

Het exponent en het minteken zorgen ervoor dat bij een lagere turbiditeit en gelijke stralingsintensiteit de fractie zonneshijnduur ook lager zal zijn. Door dit verschil in turbiditeit zal het algoritme van Slob nooit hogere waarden geven voor de zonneshijnduur dan het algoritme van Bergman. De aanpassing die Bergman maakte t.a.v. de turbiditeit, bij een zonshoogte van boven de 17.5° , was dan ook om meer homogeniteit met de Campbell-Stokes metingen te verkrijgen.

Tevens zien we de uitschieters die we in de twee voorgaande figuren zagen niet meer terug. Dit betekent dat de uitschieters van Slob en Bergman gelijk optreden. In de volgende paragraaf zullen we een verklaring geven voor deze uitschieters door de verschillen nader te bespreken.

4.2 Verschillen in dagsommen

De analyse van de dagsommen van de Campbell-Stokes en het algoritme van Slob en Bergman lieten zien (figuur 4.1, 4.2 en 4.3) dat de meeste waarden rond de 1:1 lijn lagen. Er waren echter enkele situaties waarbij het algoritme niet goed functioneert (uitschieters). Om deze verschillen te verklaren zullen we er enkele analyseren.

Bij deze analyse maken we een onderscheid in 3 situaties.

- Situatie 1 – Verschil dat bestaat tussen de Campbell-Stokes methode en het algoritme. Dit is een verschil dat vooral optreedt in de winter wanneer de waarden van de Campbell-Stokes << Algoritme. Het strookje brandt niet genoeg in en Campbell-Stokes methode geeft een onderwaardering, hetgeen duidt op een meetfout. Deze situatie deed zich ook voor op 13-3-1999 en op 16-5-2000.
- Situatie 2 – Verschil tussen Campbell-Stokes methode en algoritme dat zich meestal voordoet in de zomer. Het strookje brandt teveel in en door overschatting bij het interpreteren wordt er teveel zonneshijntoegekend. Deze situatie wordt gekenmerkt door Campbell-Stokes >> Algoritme en deed zich voor op 8-8-2002 en op 20-8-1997.
- Situatie 3 – Het verschil tussen gebruik van methode Bergman en Slob. Slob heeft de neiging om te onderschatten.

4.2.1 Verschil in dagsommen: Situatie 1

Op 13 maart 1999 registreerde de Campbell-Stokes slechts 2.3 uur zonneshijnduur terwijl het algoritme van Bergman een waarde van 6.8 uur gaf. De situatie van die dag was half tot zwaar bewolkt en een bedekkinggraad van 5 octa's. Analyse van de satellietfoto's geven aan dat de meeste bewolking laaghangend was en dat het infrarood kanaal weinig tot geen hoge bewolking aangaf. Door het ontbreken van deze hoge bewolking wordt er relatief veel globale straling ontvangen (waarvan veel diffuse t.o.v. directe straling), waardoor het algoritme zonneshijntoegekend. De Campbell-Stokes registreert weinig zonneshijntoegekend vanwege de lage bewolking (hoge luchtvochtigheid) waardoor de stroken niet genoeg inbranden. Omdat het algoritme alleen analyseert of er bewolking aanwezig is, maar niet analyseert om welk type bewolking het gaat, geeft het meer zonneshijnduur dan de Campbell-Stokes. Een soortgelijke situatie deed zich ook voor op 16 mei. De Campbell-Stokes geeft op deze dag ook een veel lagere waarde aan voor de zonneshijnduur dan het algoritme. Ook op deze dag hadden we te maken met half tot zwaar bewolkt weer, echter wel met alleen laaghangende bewolking.

4.2.2 Verschil in dagsommen: Situatie 2

Deze situatie is anders dan de voorgaande omdat de Campbell-Stokes hier een overschatting geeft t.o.v. het algoritme. Dit doet zich voor bij wisselend bewolkte situatie. Bij zonneschijn geeft de Campbell-Stokes geen scherp inbrandingspunt, maar een brandvlek. Door de breedte van het brandspoor kan in geval van een snelle afwisseling van bewolking en zon, de strook de indruk geven dat het de gehele dag zonnig was. De inbrandingsvlekken staan dan zo dicht op elkaar dat ze elkaar overlappen. Op 20-8-1997 en op 8-8-2002 deed zich deze situatie voor. Aannemelijk is dat als de zon 10 seconde op een strook inbrandt per 6 minuten, dit al genoeg is om voor een brandspoor te zorgen. Het is dus in deze situaties dat de Campbell-Stokes een overschatting geeft van de werkelijke zonneschijnduur en eigenlijk dus géén geschikte referentie is.

4.2.3 Verschil in dagsommen: Situatie 3

In deze situatie wordt alleen gekeken naar een verschil tussen het algoritme van Slob en Bergman en niet gekeken naar verschillen t.o.v. de Campbell-Stokes. In beide algoritmes wordt dezelfde input gebruikt, dus het verschil om deze uitschieters te verklaren ligt in de algoritme. De situatie met grote verschillen doen zich vooral in de zomermaanden voor. Die dagen werden veelal gekenmerkt door een onderschatting van het algoritme van Slob t.o.v. algoritme Bergman,

In tegenstelling tot de wintermaanden staat de zon al hoger aan de hemel. Voor zonshoogten boven de $17,5^\circ$ gebruikt het algoritme Bergman een waarde van 8 i.p.v. de 4 die Slob gebruikt voor de turbiditeit. Door dit verschil treedt er een consequent verschil op tussen de beide algoritmes bij zonshoogten groter dan $17,5^\circ$. Bij dezelfde inkomende straling maar een hogere turbiditeit 'denkt' het algoritme dat er meer directe straling beschikbaar aanwezig moest zijn voor zonneschijnduur. Dit is af te leiden bij het bekijken van vergelijking 4.1. Vooral in de zomermaanden (als de sinus van de zonshoogte bijna de gehele dag boven de 0,3 komt) is dit een verklaring waarom er door Bergman meer zonneschijnduur berekend wordt dan door Slob. Een typisch geval voor deze situatie deed zich voor op 29-6-2000. Uitgewerkt is deze dag terug te zien in figuur 4.4.

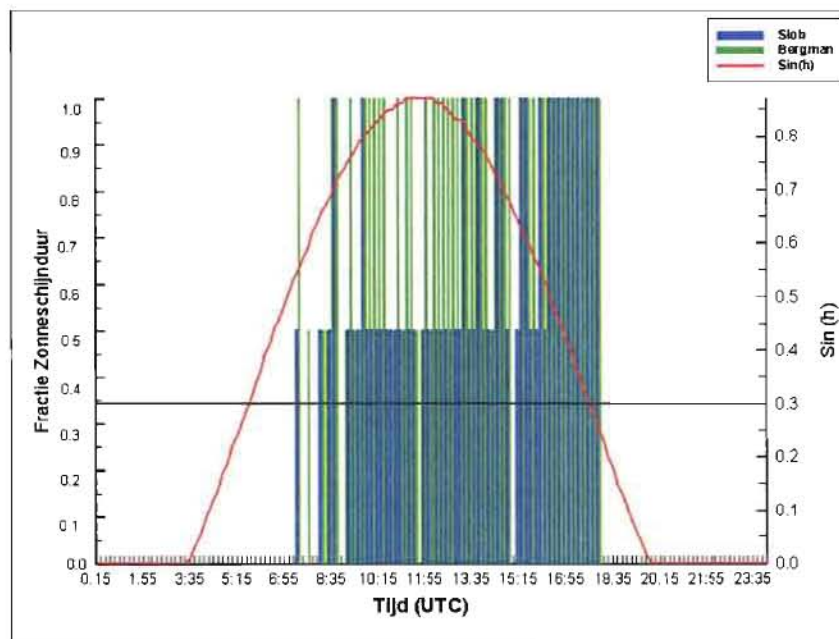


Fig. 4.4 Het verloop van de zonneschijnduur van 29-6-2002 volgens Bergman en Slob en de corresponderende zonshoogte.

In bovenstaand figuur zien we dat het algoritme Slob bij $\sin(h) > 0,3$ minder zonneschijn berekent dan het algoritme Bergman. Dit verschijnsel doet zich over de gehele linie voor in de zomermaanden (fig. 4.5).

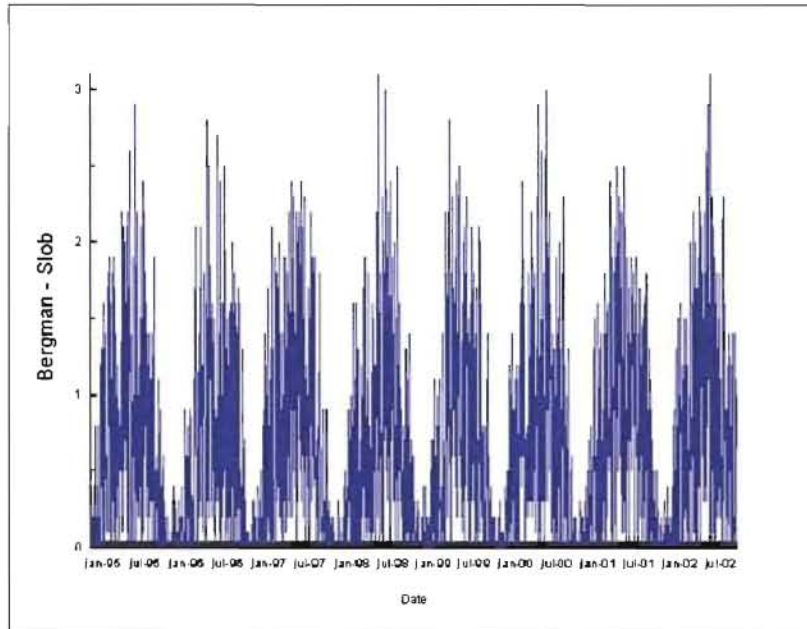


Fig. 4.5 Dagsommen van algoritme Bergman minus Slob.

Een ander verschijnsel dat in figuur 4.4 ook opvalt is dat de meeste zonneshijnduur aan het eind van de dag berekend wordt. Een verklaring voor dit verschijnsel zullen we verderop in dit hoofdstuk bespreken.

4.3 Jaarlijkse gang

Als de tijdsresolutie verlaagt wordt door naar maandsommen te kijken komt de onderschatting van het algoritme Slob in de zomermaanden als gevolg van de te lage turbiditeit wederom naar voren (Fig. 4.6).

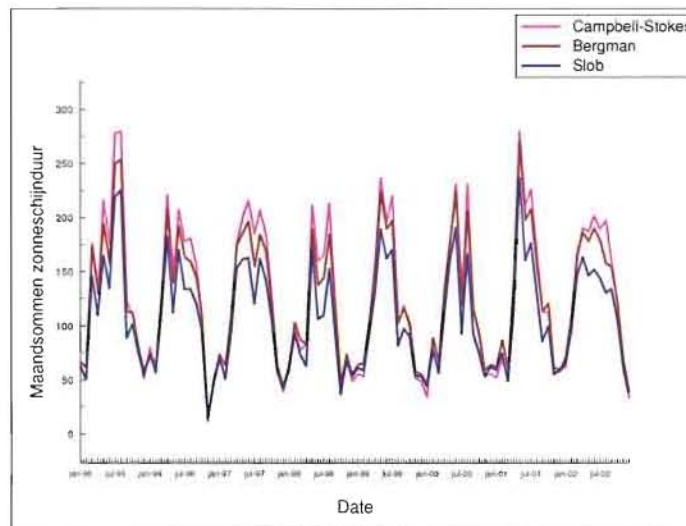


Fig. 4.6 Maandsommen van de berekende zonneshijnduur volgens Bergman, Slob en de metingen van de CS.

In bovenstaand figuur zien we dat de beide algoritmes in de wintermaanden de Campbell-Stokes zeer goed benaderen, in de zomermaanden daarentegen laten de maandsommen berekend met het algoritme het afweten tegen de Campbell-Stokes. Vooral het algoritme van Slob geeft t.o.v. de Campbell-Stokes te weinig zonneshijnduur weer in de zomermaanden.

Het verschil tussen de beide algoritmes en de Campbell-Stokes vallen ook duidelijk af te lezen uit de volgende figuren (figuur 4.7 en 4.8). Figuur 4.7 en figuur 4.8 zijn berekend door van de dagsommen van de Campbell-Stokes de berekende dagsommen van de algoritmes af te trekken en die te middelen over de maand. Van het verschil per dag wordt het zojuist berekende gemiddelde verschil per maand afgetrokken om vervolgens de standaard deviatie van die maand uit te kunnen rekenen. Deze standaard deviatie is als error-bar in beide figuren meegeplot.

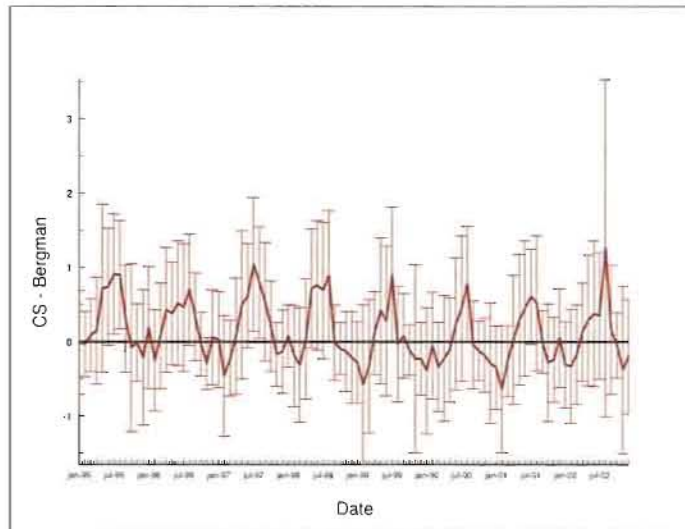


Fig. 4.7 Gemiddelde dagsom per maand van de Campbell-Stokes minus de maandsommen van het algoritme van Bergman en de daarbij horende standaard deviatie

In de zomer blijkt de spreiding het grootst te zijn. De bias van het algoritme ligt vrijwel altijd boven de 0. Vooral in de zomermaanden blijkt dit verschil groter te zijn. Ten aanzien van de Campbell-Stokes geeft het algoritme van Bergman in de zomer een onderschatting. Dit hadden we reeds opgemerkt in figuur 4.6.

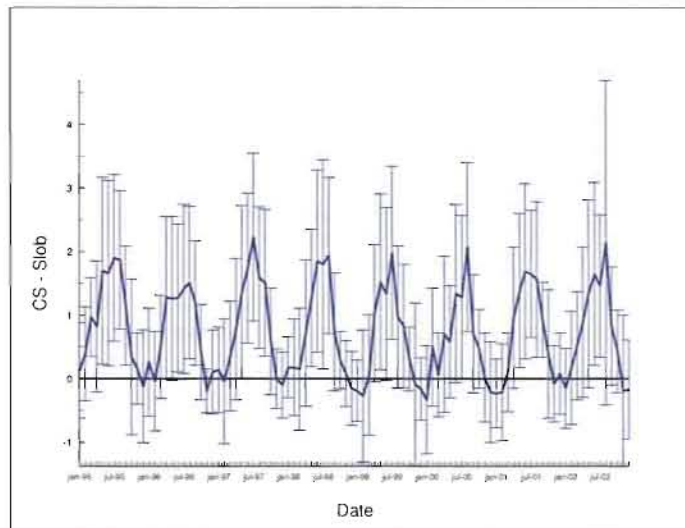


Fig. 4.8 Gemiddelde dagsom per maand van de Campbell-Stokes minus de maandsommen van het algoritme van Slob en de daarbij horende standaard deviatie

In figuur 4.8 is het duidelijk te zien dat in vergelijking tot de Campbell-Stokes de waarden van de zonnenschijnduur berekend door algoritme Slob te laag zijn. In de zomermaanden zijn deze verschillen relatief groter dan in de wintermaanden. Het algoritme van Bergman (4.7) lijkt het beter te doen en geeft in vergelijking tot het algoritme Slob een lagere spreiding.

4.4 Dagelijkse gang van de seizoenen

In de twee voorgaande paragrafen hebben we dagsommen en maandsommen van de Campbell-Stokes en de algoritmes met elkaar vergeleken. Het meest opvallende was de onderschatting van de beide algoritmes t.o.v. de Campbell-Stokes in met name de zomermaanden. Men kan ook specifiek naar deze seizoenen gaan kijken door de gemiddelde dag uit te rekenen voor de lente, zomer, herfst en winter. Deze berekende gemiddelde dag van de verschillende seizoenen zijn weergegeven in figuur 4.9 a t/m d. Waarbij de tijd in uren UTC zijn weergegeven.

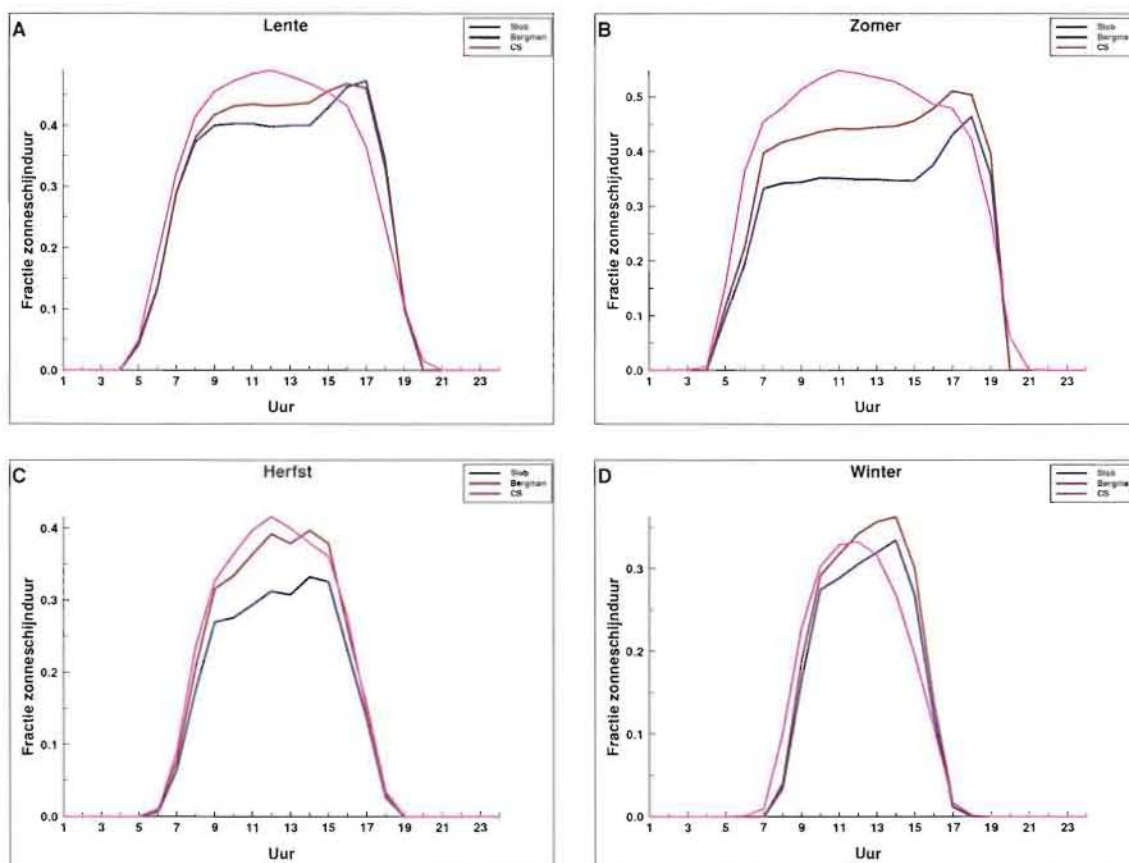


Fig. 4.9a t/m d Gemiddelde lente-, zomer-, herfst- en winterdag in de periode januari 1995 tot juni 2003.

De onderschatting van Slob t.o.v. de Campbell-Stokes valt vooral duidelijk op in de zomer en in de herfst. Een ander aspect wat direct opvalt is dat de berekende zonneshijnduur uit het algoritme niet symmetrisch loopt met de dag. Deze symmetrie is wel aanwezig bij de metingen van de zonneshijnduur volgens de Campbell-Stokes. Bij de berekende zonneshijnduur lijkt het alsof de meeste zonneshijnduur er aan het eind van de dag bij komt. Dit hadden we reeds opgemerkt bij figuur 4.4. Oorzaak van deze asymmetrie is een faseverschil, d.w.z het maximum in de globale straling en de maximum zonshoogten vinden niet tegelijk plaats. De registratie van de globale straling loopt niet symmetrisch met de zonshoogte. Dit wordt duidelijk bij het kijken naar de volgende zelf gegenereerde figuren.

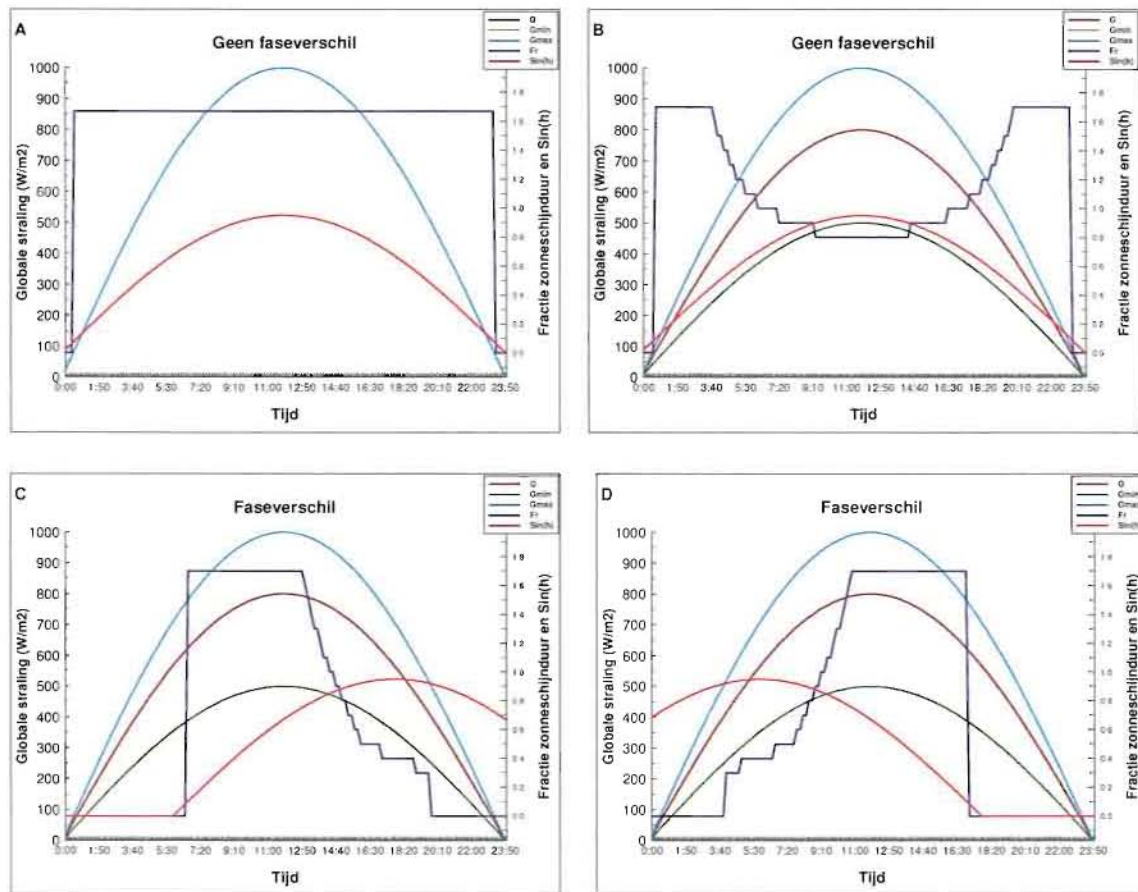


Fig. 4.10a t/m d Faseverschillen tussen zonshoogte en globale straling en de berekende zonneshijnduur.

Figuur 4.10 is een fictieve situatie met zelf gegenereerde waarden voor G , G_{\max} en G_{\min} . Figuur 4.10.a laat de situatie zien voor een onbewolkte dag ($G = G_{\min} = G_{\max}$) waarbij er geen faseverschil is tussen de zonshoogte en de globale straling. Een zelfde situatie doet zich voor in figuur 4.10.b, met het verschil dat het hier wel een wisselend bewolkte dag betreft ($G_{\min} < G < G_{\max}$). Als gevolg van de verhoogde T_L vinden we bij zonshoogten groter dan $17,5^\circ$ de laagste zonneshijnduur. Dit is logisch, immers doordat de atmosfeer minder schoon is, er tevens minder directe straling beschikbaar is voor zonneshijjn.

Probleem van asymmetrie doet zich voor bij figuren 4.10.c en d. In deze twee figuren zijn twee faseverschillen gegenereerd tussen de globale straling en de zonshoogte ($-\frac{1}{4}\pi$ en $\frac{1}{4}\pi$; wat overeenkomt met $\pm 1\frac{1}{2}$ uur) en daarbij is de fractie zonneshijnduur berekend en weergegeven. In figuur 4.10.c wordt het maximum in de globale straling eerder bereikt dan de maximale zonshoogten. Dit heeft als gevolg dat de meeste zonneshijnduur aan het begin van de dag geregistreerd wordt. Het maximum in de straling wordt bereikt bij lagere zonshoogten, dus als de turbiditeit lager is, dit heeft tot gevolg dat er meer zonneshijnduur berekend en geregistreerd wordt. Een faseverschuiving de andere kant op zoals in figuur 4.10.d heeft tot gevolg dat de meeste zonneshijnduur geregistreerd wordt aan het eind van de dag.

Figuur 4.11 laat de G , G_{\max} en G_{\min} met bijbehorende gemiddelde zonshoogte zien van een gemiddelde zomerdag in de periode 1995 tot 2002. Als gevolg van het faseverschil tussen de zonshoogte en de globale straling wordt de meeste zonneshijnduur aan het eind van de dag geregistreerd. Dit tijdsverschil kan ook opgemerkt worden in figuur 4.9. De Campbell-Stokes registreert in de vier figuren telkens eerder zonneshijnduur dan het algoritme. Het faseverschil tussen de globale straling en de zonshoogte wordt veroorzaakt door een verschil tijd van meting en registratie van de globale straling (pers. com.: U.Bergman).

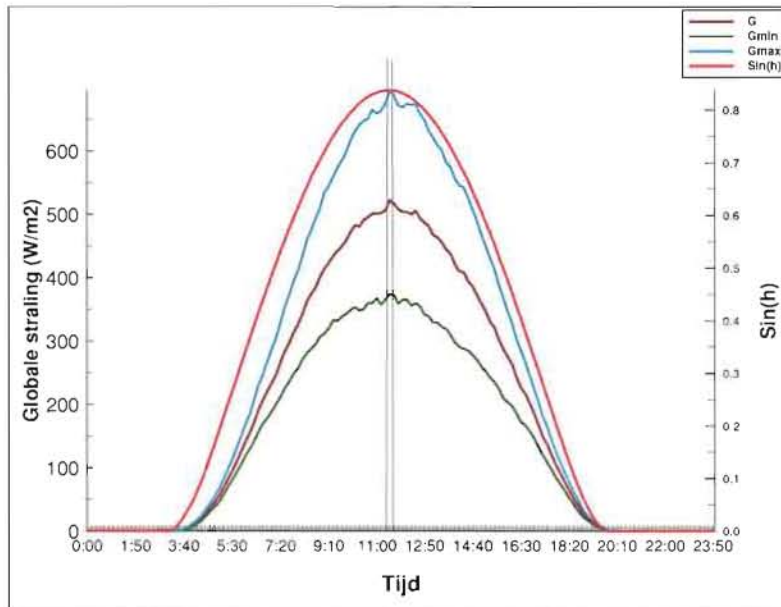


Fig. 4.11. Faseverschil tussen de zonshoogte en de globale straling voor de gemiddelde zomerdag tussen 1995 en 2002

Dit tijdsverschil in meting en registratie wordt ook duidelijk als men naar het volgende figuur kijkt. In figuur 4.12 is het faseverschil tussen $\sin(h)$ en de meting van de globale straling handmatig bijgesteld en de daarbij horende fractie zonschijnduur uitgerekend.

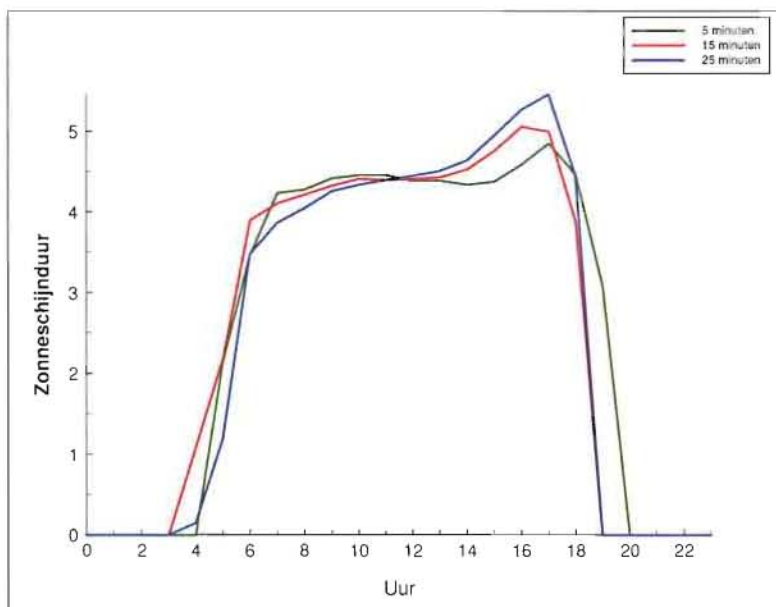


Fig. 4.12. Verschil in tijd tussen meting en registratie wordt bijgesteld.

Omdat militaire meetstations met het doorgeven van de metingen 10 minuten achter lopen op het normale meetnet wordt hiervoor gecorrigeerd bij de berekening van de zonschijnduur met het algoritme. Omdat de metingen van de globale straling altijd plaats vinden over een interval van 10 minuten wordt voor de berekening van de zonshoogte er vanuit gegaan wordt dat de meting op het midden van dat interval plaats heeft gevonden, dus op 5 minuten. Bij de huidige berekeningen van de zonschijnduur volgens het algoritme wordt voor deze twee verschijnselen gecorrigeerd door een tijdcorrectie van 15 minuten toe te passen.

Een verlaging van het tijdsverschil komt de symmetrie ten goede. De extra zonneshijnduur die aan het eind van de dag geregistreerd wordt lijkt minder te worden. De dagsommen blijven echter hetzelfde. Dit probleem in verschil tussen meting en registratie van de globale straling zou in de zomer van 2003 opgelost zijn (pers. com.: U.Bergman). Een analyse van de data van de zomer van 2003 gaf hier echter nog geen uitsluitsel over.

Ook de turbiditeit die middels regressie bepaald is, kan in het algoritme meespelen. Dit wordt duidelijk aan de hand van het volgende figuur.

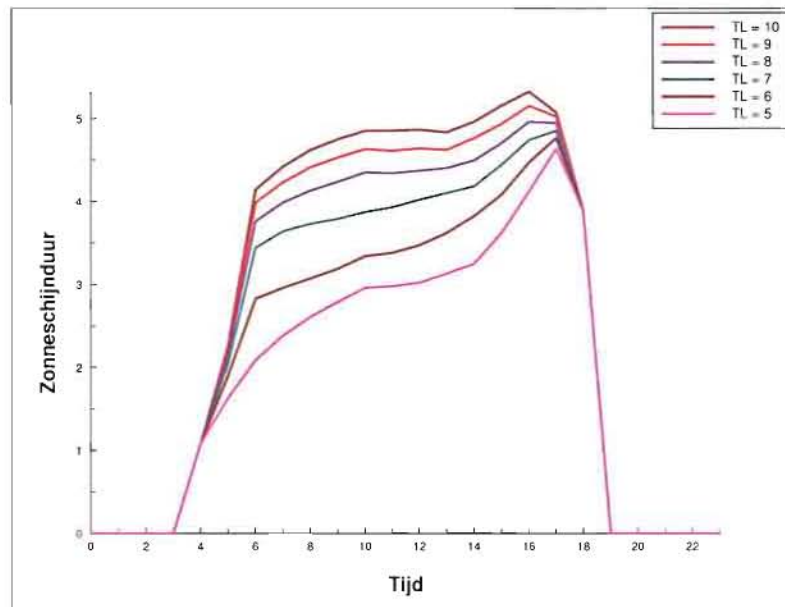


Fig. 4.13. Turbiditeit voor de zonhoogte groter dan 17.5° wordt verhoogd.

In figuur 4.13 wordt voor $\sin(h) > 0,3$ de turbiditeit elke keer verhoogd van $T_L = 5$ tot $T_L = 10$. De asymmetrie neemt af. Probleem is wel dat de totale zonneshijnduur bij verhoging van de turbiditeit ook verhoogd wordt, en dus de dagsom ook hoger wordt.

4.5 Vergelijking met directe straling

Tot dusver hebben we het algoritme steeds vergeleken met de Campbell-Stokes. Deze referentie is gekozen omwille van de klimatologie. Om de zonneshijnduur die berekend is ook te toetsen aan de 'echte' zonneshijnduur, conform de norm van het WMO, is het van belang de directe straling als referentie te nemen. De waarden verkregen m.b.v het algoritme worden vergeleken met de corresponderende waarden verkregen uit de directe straling.

Een figuur als 4.14 hebben we reeds eerder gezien in de vorm van figuur 4.6. Door de maandsommen van de zonneshijnduur van het algoritme van Bergman en Slob en de directe straling uit te zetten tegen de tijd kan redelijk eenvoudig afgeleid worden wanneer en welk algoritme tekort komt of teveel zonneshijnduur weergeeft. Opvallend in figuur 4.14 is wederom de onderschatting van het Slob algoritme in de zomermaanden. Het algoritme Bergman lijkt het in deze maanden beter te doen, echter geven beide algoritmes te weinig zonneshijnduur weer. In de wintermaanden ligt dit anders, als beide algoritmes bijna gelijke maandsommen berekenen als die bepaald uit de directe straling.

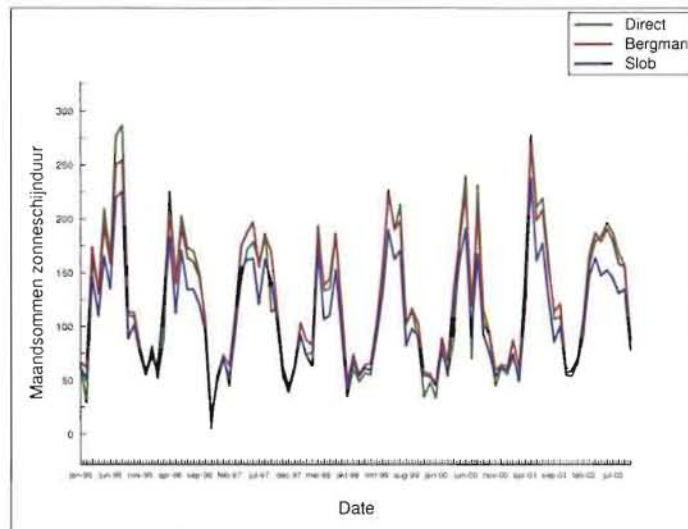


Fig. 4.14 Maandsommen van de berekende zonneshijnduur volgens Bergman, Slob en de metingen van de directe straling.

Bovenstaand figuur geeft echter ook een enigszins vertekend beeld aangezien we naar de verschillen in absolute zin kijken. Het is nl. in de wintermaanden dat relatief de minste zonneshijnduur geregistreerd wordt, en in de zomer dat de meeste zonneshijnduur geregistreerd wordt. Verschillen tussen de algoritmes en de directe straling zullen in de winter daarom ook relatief lager zijn, dan in de zomer.

Om tot een beter vergelijk te komen tussen het algoritme en de directe straling is het ook van belang om de standaard deviatie van het verschil uit te rekenen. In figuur 4.7 en 4.8 hadden we dit reeds eerder gedaan toen de Campbell-Stokes als referentie diende. Figuur 4.15 is berekend door van de dagsommen van de directe straling de berekende dagsommen van de directe straling de waarden van het algoritme Bergman af te trekken en die te middelen. Van het verschil wordt het gemiddelde verschil per maand afgetrokken om vervolgens de standaard deviatie van die maand uit te rekenen. Deze standaard deviatie wordt als error-bar meegeplot.

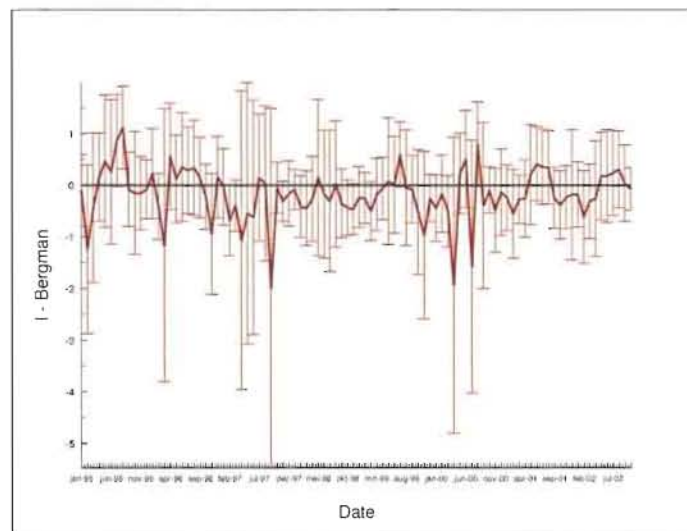


Fig. 4.15 Gemiddelde dagsom per maand van de directe straling minus de maandsommen van het algoritme van Bergman en de daarbij horende standaard deviatie

In figuur 4.15 zien we dat de bias van het algoritme van Bergman ten opzichte van de directe straling lager is dan bij de Campbell-Stokes (Fig. 4.7). Oorzaak hiervan is dat, zeker in de zomermaanden, de Campbell-Stokes de neiging had om te overschatten.

In de zomermaanden vinden we nog steeds de meeste spreiding en lijkt het algoritme nog te weinig zonneshijnduur weer te geven. In de wintermaanden daarentegen berekent het algoritme meer zonneshijnduur. Dit komt omdat in deze maanden de sinus van de zonshoogte dan zelden boven de waarde van 0.3 komt. Onder deze grens herkent het algoritme alleen onbewolkte situaties waardoor het teveel zonneshijn kan registreren. Het is tevens in deze maanden dat de minste spreiding geregistreerd wordt, wat aangeeft dat de benadering van de 'echte' zonneshijnduur door het algoritme Bergman redelijk te noemen is. Een soortgelijk figuur als 4.15 kan ook voor het algoritme van Slob gemaakt worden.

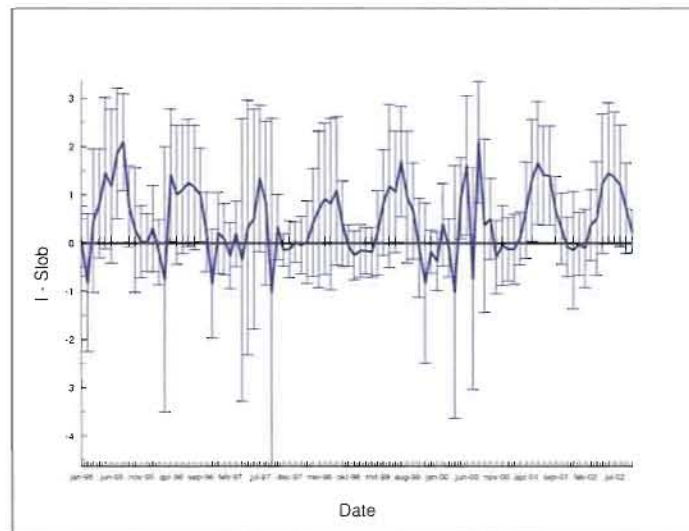


Fig. 4.16 Gemiddelde dagsom per maand van de directe straling minus de maandsommen van het algoritme van Slob en de daarbij horende standaard deviatie

De bias van het algoritme Slob t.o.v. de zonneshijn gemeten uit de directe straling is groter dan die voor het algoritme Bergman. Vooral in de zomermaanden komt het algoritme Slob tekort t.o.v. de zonneshijn gemeten uit de directe straling. Dit tekort kwamen we reeds eerder tegen in figuur 4.8 toen we een vergelijking deden met de Campbell-Stokes. In de wintermaanden "doet" het algoritme van Slob het beter dan het algoritme van Bergman. In deze maanden wordt het algoritme Slob gekenmerkt door een bias die nagenoeg gelijk is aan 0, en een relatief lage spreiding. In deze maanden, als de sinus van de zonshoogte laag is, berekent het algoritme van Slob alleen zonneshijnduur als $\sin(h)$ tussen de 0,1 en de 0,3 ligt. Bij het algoritme van Bergman ligt dit interval tussen de 0,05 en 0,3.

5. Voorstel tot verbetering

De ontwikkeling van het algoritme van Slob was gebaseerd op een dataset van twee jaar van station Cabauw de basis. Via lineaire regressie werden uit de dataset de vergelijkingen 2.3, 2.5 en 2.8 afgeleid om de diffuse component voor verschillende situaties te schatten. Het latere algoritme van Bergman is een doorontwikkeling van dit Slob algoritme, op basis van data van De Bilt, waarbij enkele empirische constanten veranderd zijn teneinde meer overeenstemming te krijgen met de parallelmetingen van de Campbell-Stokes. In het voorgaande hoofdstuk hebben we gezien dat in sommige gevallen het algoritme van Slob noch dat van Bergman goed functioneerde. Dit was vooral in de zomermaanden het geval. Er is dus nog immer de behoefte om een algoritme te ontwikkelen dat het in deze situaties beter doet. Met het door mij ontwikkelde algoritme Schipper proberen we aan deze behoefte te voldoen. Uitgangspunt is nog steeds het algoritme van Slob, echter is bij het algoritme Schipper gebruik gemaakt van een grotere dataset (jan-95 tot dec-01) en is de directe straling als referentie gekozen. Door middel van lineaire regressie worden de vergelijkingen 2.3, 2.5 en 2.8 verfijnd en geïmplementeerd in het nieuwe algoritme.

5.1 Diffuse component bij onbewolkte situatie

Voor een onbewolkte situatie gelden de vergelijkingen 2.5, 2.6 en 2.7. Door gebruik te maken van het criterium dat voor G_{\max} en G_{\min} geldt bij deze onbewolkte situatie (par. 2.3.1) kan een dataset ontwikkeld worden met waarden van G en I bij een onbewolkte situatie. Via vergelijking 2.1 kan de diffuse component berekend worden uit G en I en via vergelijking 2.2 de corresponderende turbiditeit. Middels lineaire regressie kan uit de verkregen dataset met de diffuse component en de turbiditeit vergelijking 2.3 verfijnd worden tot:

$$D = 38,8 + 40,2 T_L \sin(h) \quad (5.1)$$

De spreiding van de diffuse component in vergelijking 5.1 wordt veroorzaakt door een spreiding in de turbiditeit en bedraagt $\pm 31 \text{ W m}^{-2}$.

Om verschillende tijdstippen in het jaar met elkaar te kunnen vergelijken normeerde Slob de diffuse component, D , met G_0 . Met de introductie van G_0 kan vergelijking 5.1 voor een zonshoogte lager dan $17,5^\circ$ nog verfijnd worden tot:

$$D/G_0 = 0,17 + 0,17 \sin(h) \quad (5.2)$$

In vergelijking 5.2 is de turbiditeit niet meer opgenomen. Uit de ontwikkelde dataset voor onbewolkte situaties met een zonshoogte lager dan $17,5^\circ$ is een gemiddelde turbiditeit berekend van $T_L = 3,24$. Men kan ook opmerken dat vergelijking 5.2 een verfijning is van vergelijking 2.5.

5.2 Diffuse component bij bewolkte situatie

Voor deze situatie is de berekening van de stralingscomponenten simpel. Er is geen directe straling en dus geldt hiervoor dat de diffuse component gelijk is aan de gemeten globale straling. Door gebruik te maken van de criteria die gelden voor G_{\max} en G_{\min} (par. 2.3.2) kan ook deze situatie makkelijk herkend worden.

5.3 Gedeeltelijk bewolkt; af en toe zon.

De vergelijkingen 2.3, 5.1 en 5.2 gelden niet voor deze situatie. Deze situatie wordt vooral gekarakteriseerd door grote verschillen tussen G_{\max} en G_{\min} . Uit de dataset kan met behulp van het verschil tussen $(G/G_0)_{\max}$ en $(G/G_0)_{\min}$ (van de orde 0.1 of meer) en het criteria dat $(G/G_0)_{\max} > 0,4$ en $(G/G_0)_{\min} < 0,4$ een dataset ontwikkeld worden met waarden van de globale straling en de diffuse straling. Voor elk van de tijdstippen kan dan de zonshoogten berekend worden en vervolgens G_0 . Door uit te gaan van het lineaire verband tussen D , G_0 en $(G/G_0)_{\min}$ kan vergelijking 2.8 verfijnd worden tot:

$$D = 1,27 G_0 (G/G_0)_{\min} \quad (5.3)$$

5.4 Gemiddelde turbiditeit bij verschillende zonshoogten.

In de paragrafen 5.1 tot en met 5.3 hebben we de vergelijkingen die het algoritme Slob gebruikt voor het schatten van de diffuse component verfijnd. Bij de berekening van de zonneschijnduur maakt het algoritme Slob een opdeling in zonshoogten waarbij het die vergelijkingen gebruikt. Per zonshoogten is de turbiditeit telkens via regressie bepaald. In het algoritme Schipper is het dus van belang dat deze turbiditeit andermaal wordt nagerekend.

Voor de zonshoogten onder de $17,5^\circ$, ($\sin(h) < 0,3$) gaat het algoritme van Slob uit van een geheel onbewolkte situatie of een geheel bewolkte situatie gedurende de beschouwde $10'$ periode. De snelle toe- en afname in de zonshoogte alsmede de grote weglengte door de atmosfeer waren aanleiding hiertoe. Voor een zonshoogte lager dan $17,5^\circ$, en de aannames voor zonneschijn, kan met vergelijking 2.2 de turbiditeit berekend worden. Door nog een opdeling in zonshoogten gemaakt wordt, kunnen per sector de volgende gemiddelde 'turbiditeiten' berekend worden:

- $0 < \sin(h) < 0,05$
Geen zonneschijnduur, T_L is niet van belang
- $0,05 \leq \sin(h) \leq 0,087$
 $T_L = 2,25$
- $0,087 < \sin(h) < 0,3$
 $T_L = 3,24$

Voor de zonshoogten groter dan $17,5^\circ$ kan voor een onbewolkte situatie een gemiddelde turbiditeit berekend worden met de vergelijkingen 2.1 en 2.2. Voor deze situatie en deze zonshoogten geldt dat $T_L = 4,36$. Ook kan de waarde 0,3 die Slob gebruikt voor D/G_0 in zijn algoritme voor $\sin(h) > 0,3$ gecorrigeerd worden met vergelijking 5.2 tot $D/G_0 = 0,22$.

In de situatie met wisselend bewolkt veronderstelt Slob dat de zon een tijd geschenen heeft en een tijd niet. De fractie zonneschijnduur kan berekend worden door:

$$Fr = \frac{G - D}{I \times \sin(h)} \quad (5.4)$$

Door het criterium te hanteren dat geldt voor G_{\max} en G_{\min} bij deze situatie en bij de aangegeven zonshoogten kan een gemiddelde turbiditeit van 13,03 berekend worden.

5.5 Zonneschijnduur; Algoritme Schipper

Door alle voorgaande vergelijkingen en gemiddelde 'turbiditeiten' mee te nemen kan, met als basis het algoritme van Slob, een nieuw algoritme ontwikkeld worden:

- a) Situatie: $\sin(h) < 0,05$
geen zonneschijnwaarde, fractie zonneschijnduur $Fr = 0$;
- b) Situatie: $0,05 \leq \sin(h) \leq 0,087$
 $T_L = 2,25$;
- Situatie: $0,087 < \sin(h) < 0,3$
 $T_L = 3,24$;
 $G_{grens} = G_0 \times [0,17 + 0,17 \sin(h) + \exp \{-T_L / (0,9 + 9,4 \sin(h))\}]$
- als $G_{gem} < G_{grens}$: fractie zonneschijnduur $Fr = 0$;
als $G_{gem} \geq G_{grens}$: fractie zonneschijnduur $Fr = 1$;
- c) Situatie $\sin(h) \geq 0,3$
 $T_L = 4,36$; en $G_{grens} = G_0 \times [0,22 + \exp \{-T_L / (0,9 + 9,4 \sin(h))\}]$
- als $G_{max} < 0,4 \times G_0$: fractie zonneschijnduur $Fr = 0$;
als $G_{max} \geq 0,4 \times G_0$ en $G_{min} > G_{grens}$: fractie zonneschijnduur $Fr = 1$;
- als $G_{max} \geq 0,4 \times G_0$ en $G_{min} \leq G_{grens}$ en $G_{max} > G_{grens}$
en $(G_{max} - G_{min}) < 0,1 \times G_0$: fractie zonneschijnduur $Fr = 1$;
- d) Overige gevallen bij $\sin(h) \geq 0,3$
 $T_L = 13,03$ en
- $$\text{Fractie zonneschijnduur } Fr = \frac{\{(G_{gem} / G_0) - (1,27 \times G_{min} / G_0)\}}{\exp \{-T_L / (0,9 + 9,4 \sin(h))\}}$$

5.6 Resultaten; Algoritme Schipper

De resultaten van het algoritme Schipper, berekend uit de data van station De Bilt in de periode 1995 – 2002, zullen eerst afgezet worden tegen de zonneschijnduur berekend door de algoritmen Slob en Bergman. Verderop in deze paragraaf zullen we de resultaten van het algoritme Schipper ook vergelijken met de waarden van de Campbell-Stokes en de waarden voor zonneschijnduur gemeten uit de directe straling.

In figuur 5.1 vinden we de waarden van het algoritme Slob uitgezet tegen die van het algoritme Schipper. Het blijkt dat de meeste waarden onder de 1:1 komen te liggen, wat aangeeft dat het algoritme Schipper meer zonneschijnduur berekend dan het algoritme Slob.

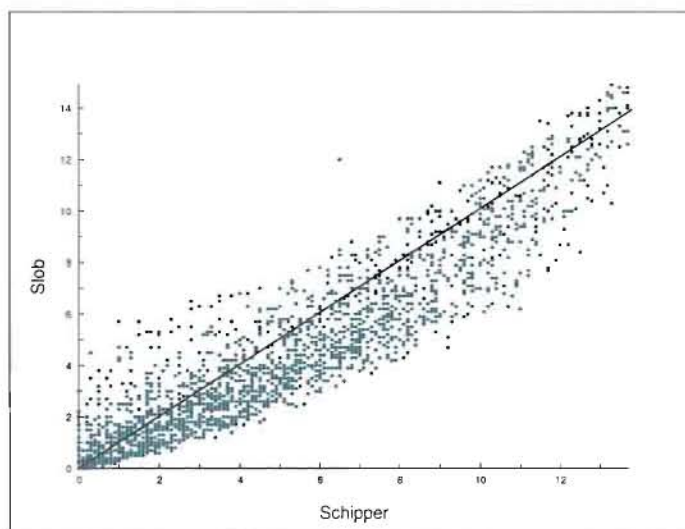


Fig. 5.1 Dagsommen van de berekende zonneshijnduur met het algoritme Slob uitgezet tegen de zonneshijnduur berekend volgens het algoritme Schipper

Een soortgelijk figuur als 5.1 kan ook gemaakt worden voor het algoritme Bergman (Fig. 5.2).

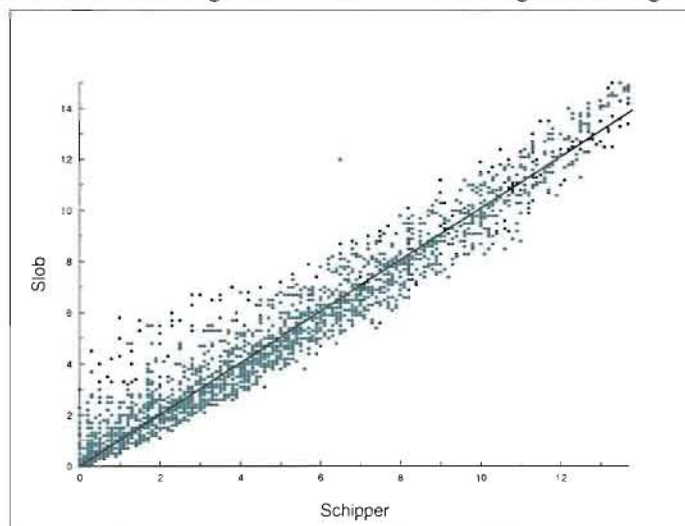


Fig. 5.2 Dagsommen van de berekende zonneshijnduur met het algoritme Bergman uitgezet tegen de zonneshijnduur volgens het algoritme Schipper

In figuur 5.2 lijkt het ook alsof de meeste waarden onder de 1:1 lijn liggen. Andermaal lijkt het dat het algoritme Schipper meer zonneshijnduur berekend dan de twee andere algoritmes.

Om de bruikbaarheid van het algoritme Schipper nogmaals te kunnen toetsen zullen we de resultaten ook vergelijken met die van de Campbell-Stokes en die uit de directe straling. Figuur 5.3 is berekend door van de dagsommen van de Campbell-Stokes de berekende dagsommen van het algoritme Schipper af te trekken en die te middelen per maand. Van het dagverschil wordt het gemiddelde verschil per maand afgetrokken om vervolgens de standaard deviatie van die maand uit te rekenen. Deze standaard deviatie wordt als error-bar meegeplot. In de vorm van een vergelijking kan figuur 5.3 worden geïnterpreteerd als:

$$\frac{1}{30} \sum_{i=1}^i Q_{24, cs, i} - Q_{24, slob, i} \quad (5.5)$$

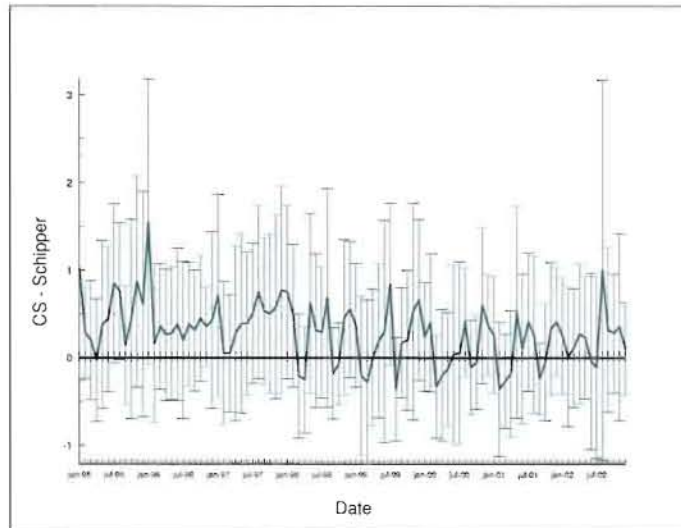


Fig. 5.3 Gemiddelde dagsom per maand van de Campbell-Stokes minus de maandsommen van het algoritme van Schipper en de daarbij horende standaard deviatie

De bias ligt voor het grootste deel boven de 0-lijn, wat aangeeft dat de Campbell-Stokes hogere waarden voor de zonschijnduur weergeeft dan het algoritme. De spreiding is hoog. Een dergelijk verschil was op zich wel te verwachten omdat bij de ontwikkeling van het algoritme Schipper niet van homogeniteit met de Campbell-Stokes is uitgegaan, maar de zonschijnduur uit de directe straling als referentie diende. De Campbell-Stokes heeft ook de neiging om teveel zonschijn te registreren omdat het teveel inbrand bij wisselende weersituaties. Een soortgelijk figuur als 5.3 zou voor de directe straling een gunstiger beeld moeten opleveren.

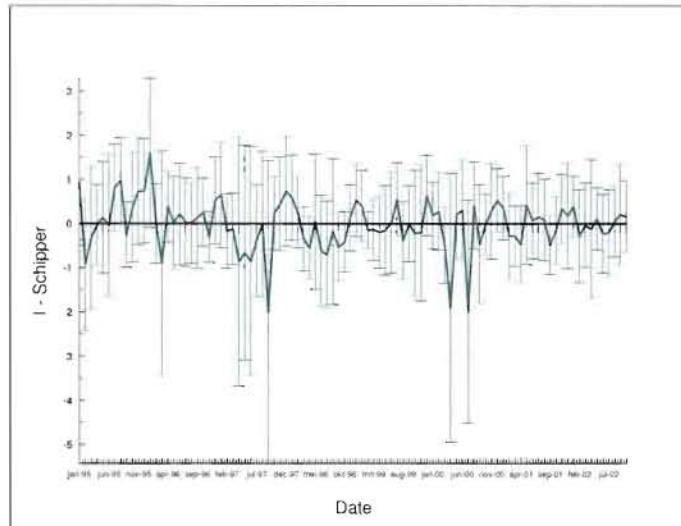


Fig. 5.4 Gemiddelde dagsom per maand van directe straling minus de maandsommen van het algoritme van Schipper en de daarbij horende standaard deviatie

In figuur 5.4 zien we dat de bias van het algoritme netjes rond 0 schommelt met een spreiding van circa 1,0 uur. Het verschil in de zomermaanden wordt opgeheven door de verschillen in de zomer. De spreiding is minder als bij het algoritme van Bergman of Slob omdat het algoritme Schipper geënt is op de metingen van de directe straling.

Tabel 5.1. De resultaten van het vergelijk tussen de algoritmes en de Campbell-Stokes en de directe straling (in uren)

	t.o.v. Campbell-Stokes		t.o.v. Directe Straling	
	Bias	SD	Bias	SD
Slob	0,73	0,98	0,44	1,14
Bergman	0,12	0,74	-0,17	0,98
Schipper	0,28	0,84	-0,02	1,13

Kort samengevat kunnen we de resultaten tussen de algoritmes en de Campbell-Stokes en de directe straling in bovenstaande tabel aflezen. In alle gevallen laat het algoritme van Slob zien dat het een onderschatting heeft. De algoritmes van Bergman en Schipper laten vrijwel gelijke waarden zien in vergelijk tot de directe straling. De bias van het algoritme Schipper t.o.v. de Campbell-Stokes is hoger omdat het daar niet op gefit is. Het algoritme van Schipper heeft ten opzichte van de zonneshijn gemeten uit de directe straling de laagste bias.

Het algoritme Schipper is gefit op de metingen van de directe straling in de periode van 1-1-1995 tot 31-12-2001 en de resultaten zijn vergeleken met de Campbell-Stokes en met de zonneshijnduur bepaald uit de directe straling. Om de bruikbaarheid van het algoritme objectief te kunnen toetsen is het van belang de algoritmen te vergelijken met waarden van de Campbell-Stokes en de waarden uit de directe straling voor de periode van 1-1-2002 tot en met 31-12-2002.

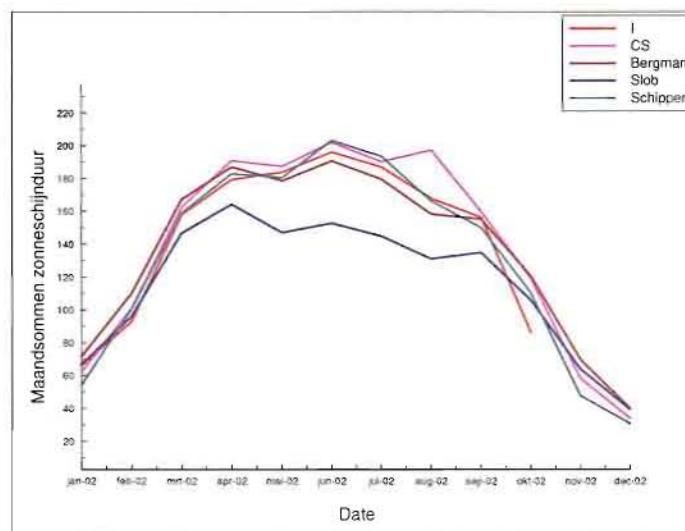


Fig. 5.5 Maandssommen van de zonneshijnduur van de verschillende “meet”-methodes

In figuur 5.5 zijn de maandssommen berekend met de algoritmen, met de Campbell-Stokes en met de zonneshijnduur uit de directe straling tegen elkaar uitgezet. De onderschatting die we in voorgaande figuren bij het algoritme van Bergman en Slob in de zomermaanden zagen vallen in deze figuur ook weer het meest op. In de zomer van 2002 is geen sprake van een onderschatting van het algoritme Schipper t.o.v. zowel de Campbell-Stokes als de directe straling.

Als laatste kunnen we voor 2002 de gemiddelde verschillen in dagsommen per maand en de spreiding van de algoritmes t.o.v. de beide referentiemethodes tegen de tijd uitzetten.

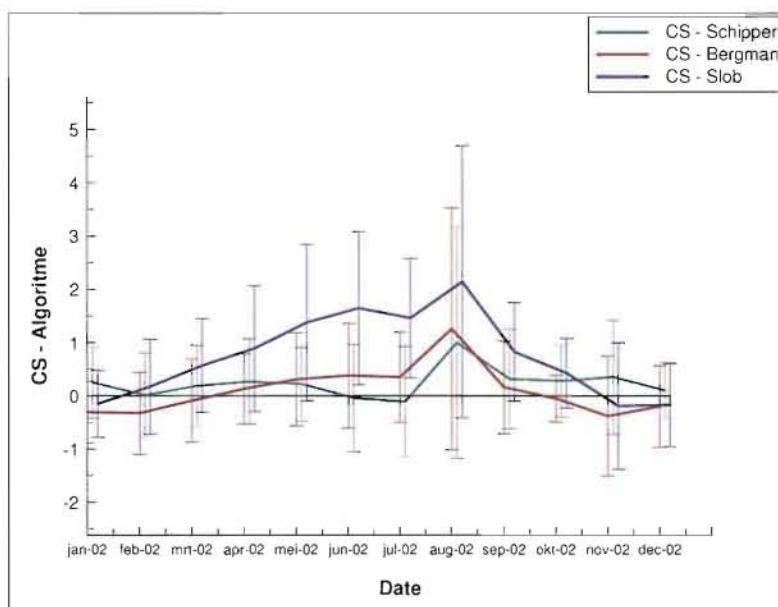


Fig 5.6 Gemiddelde dagsom per maand van Campbell-Stokes minus de maandsommen van de algoritmes en de daarbij horende standaard deviatie

Figuur 5.6 laat andermaal zien dat het algoritme Slob de neiging heeft om te onderschatten. De algoritmen van Bergman en Schipper verschillen niet erg veel.

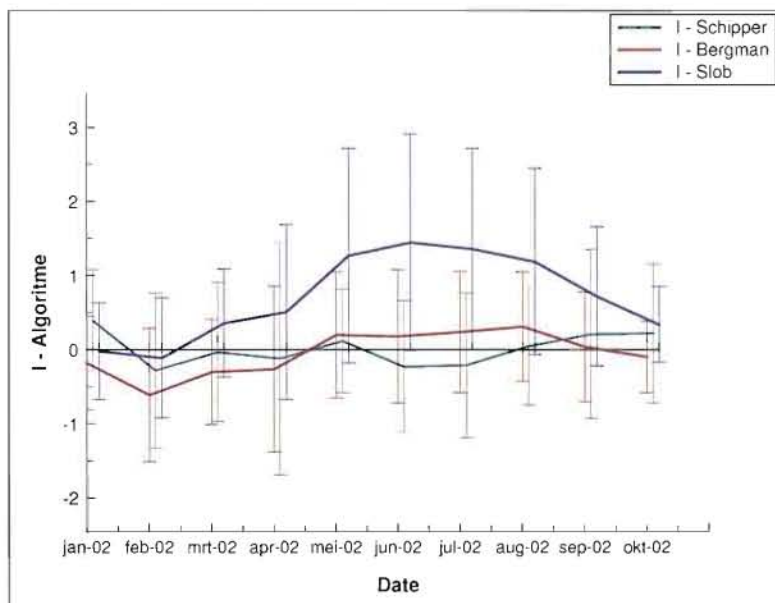


Fig 5.7 Gemiddelde dagsom per maand van de directe straling minus de maandsommen van de algoritmes en de daarbij horende standaard deviatie

Bovenstaande conclusie gaat ook op bij de vergelijking van de algoritmen met de bepaling uit de directe straling. Slob berekent over het hele jaar in 2002 te weinig zonschijnduur. De bias van het algoritme Schipper ligt rond de 0, echter is de spreiding groter dan bij het algoritme van Bergman.

6. Conclusie en aanbevelingen

De conclusies met betrekking tot het functioneren van de drie in dit rapport geëvalueerde algoritmen werden gerelateerd aan twee referentie methodes. Ten eerste kan als referentie de meting zonneshijnduur m.b.v. de Campbell-Stokes dienen en ten tweede kan men de “echte” zonneshijnduur bepaald uit de directe straling als referentie kiezen. In dit hoofdstuk zullen de 3 verschillende algoritmes andermaal aan bod komen en zal eerst een vergelijking gemaakt worden met de Campbell-Stokes als referentie en vervolgens met de directe straling als referentie.

6.1 Algoritme Slob

In figuur 4.6 is van de maandsommen van de Campbell-Stokes de zonneshijnduur volgens het algoritme van Slob afgetrokken. Wat opvalt is dat de meeste waarden boven de 0-lijn komen te liggen. Dit wil zeggen dat met een benadering van zonneshijnduur door Slob men vrijwel altijd lager uit komt dan de Campbell-Stokes. Een ander aspect wat opvalt is de spreiding. In figuur 4.6 is deze middels error-bars aangegeven. In de zomer, als het verschil tussen Campbell-Stokes en Slob het grootst is, is de spreiding ook het grootst.

In de wintermaanden benadert het algoritme van Slob de waarden van de Campbell-Stokes het best. De spreiding is in deze maanden ook niet erg groot. Echter, in de zomermaanden is er de meeste zonneshijnduur en is de bijdrage aan de totale jaarsom van zonneshijnduur het hoogst, over het geheel komt het algoritme van Slob dus veel tekort.

Deze trend doet zich ook voor in figuur 4.16. Als referentie dient dan de zonneshijnduur bepaald uit de directe straling. Absoluut gezien zijn de verschillen minder groot dan wanneer de Campbell-Stokes als referentie wordt gekozen, maar de bias is toch positief. Men kan dus de conclusie trekken dat door gebruik van het algoritme van Slob er een onderschatting op zal treden t.a.v. de zonneshijnduur, welke referentie ook wordt gekozen.

6.2 Algoritme Bergman

In figuur 4.5 is van de maandsommen van de Campbell-Stokes de zonneshijnduur volgens het algoritme van Bergman afgetrokken. Ook hier valt op, net zoals bij algoritme van Slob, dat in de zomer de meeste waarden boven de 0-lijn komen te liggen. In de winter daarentegen liggen de meeste waarden onder de 0-lijn. In de winter staat de zon altijd laag. Het algoritme van Bergman berekent voor de sinus van de zonshoogte tussen de 0,05 en 0,3 zonneshijnduur. Bij het algoritme van Slob lag dit interval daarentegen tussen de 0,1 en 0,3, dat wil zeggen een kleiner interval dan bij het algoritme van Bergman waarvoor zonneshijnduur berekend kan worden. Het algoritme van Bergman berekent aldus meer zonneshijnduur in de wintermaanden dan dat de Campbell-Stokes aangeeft. In de zomermaanden geeft het algoritme van Bergman ook minder zonneshijnduur weer dan de Campbell-Stokes. De spreiding is in deze maanden ook het hoogst. De spreiding en de verschillen zijn echter minder dan bij die van het algoritme van Slob.

Over de nauwkeurigheid van de Campbell-Stokes kan hierbij het volgende gezegd worden. Geconstateerd is dat vanwege de vochtigheid en de lage temperaturen in de winter de Campbell-Stokes niet goed werkt. Het strookje brandt niet goed in. Hierdoor wordt een kleinere zonneshijnduur gemeten dan m.b.v directe straling. Periodes die gekenmerkt zijn als wisselend bewolkt worden door de Campbell-Stokes ook vaak overschat. Bij zonneshijn geeft de strook papier bij de Campbell-Stokes een brandvlek. Aan de hand van de lengte van het brandspoor wordt de zonneshijnduur bepaald. Bij een situatie met afwisselend zon en bewolking kan de strook de indruk geven dat de zon continu geschenen heeft. Geconstateerd is dat 10 seconden heldere zonneshijn gevolgd door 10 seconden bewolking al genoeg is om een continu inbrandingsspoor te krijgen. Het is belangrijk om ook het algoritme van Bergman te toetsen aan de zonneshijnduur bepaald uit de directe straling omdat brandvlekken elkaar gaan overlappen.

In figuur 4.15 is dit gedaan en wat opvalt is dat de bias beter is dan bij het algoritme van Slob. Deze is rond de 0. De spreiding is niet consequent groter in de zomer dan in de winter zoals dat bij het algoritme van Slob het geval is. Zowel in vergelijking met de metingen van de Campbell-Stokes als referentie als in vergelijking met de metingen van de directe straling, benadert het algoritme van Bergman de zonneshijnduur beter dan het algoritme van Slob.

6.3 Algoritme Schipper

Bij de ontwikkeling van het algoritme Slob diende een dataset van 2 jaar van Cabauw. Het algoritme van Bergman is hiervan een doorontwikkeling waarbij een dataset van 2 jaar van station De Bilt gebruikt werd. Uit beide datasets zijn alle empirische constanten en parameters berekend die in de algoritmes van Slob en Bergman gebruikt worden. Als basis voor de ontwikkeling van het algoritme Schipper diende een dataset van 8 jaar met $10'$ -waarden van de globale en de directe straling van station De Bilt. Met behulp van deze dataset kon door middel van lineaire regressie alle constanten die gebruikt worden door de 2 andere algoritmes nagerekend en verfijnd worden. In figuur 5.3 is het verschil tussen de Campbell-Stokes en het algoritme Schipper gepresenteerd. In de zomer treden de grootste verschillen op en zien we dat de spreiding het hoogste is. Als men als referentie de Campbell-Stokes aanhoudt, dan is het algoritme Schipper het beste te vergelijken met dat van Bergman.

In figuur 5.4 wordt een vergelijk gemaakt tussen algoritme Schipper en de zonneshijnduur uit de directe straling. De bias blijft rond de 0-lijn hangen en is beter dan die van het algoritme van Bergman. Spreiding is in enkele maanden groot, echter in de meeste gevallen constant. Algemeen kan gezegd worden dat qua resultaten het algoritme van Schipper en Bergman gelijk zijn. Het algoritme Schipper is echter gefit op een dataset van 8 jaar en het algoritme van Bergman slechts op 2 jaar. Waarbij in laatstgenoemde algoritme enkele parameters veranderd zijn om meer homogeniteit te krijgen met de langjarige reeks van de Campbell-Stokes.

6.4 Aanbeveling

In de algoritmen speelt de turbiditeit een cruciale rol bij het bepalen van wel of geen zonneshijnduur. Deze turbiditeit hangt bij het algoritme af van het tijdstip van de dag en van de periode in het jaar. Dit is feitelijk onjuist omdat de turbiditeit alleen bepaald wordt door de samenstelling van de atmosfeer (aanwezigheid van aerosolen e.d.). In de winter is de turbiditeit lager dan in de zomer, zoals reeds eerder in hoofdstuk 2 aangegeven werd. De turbiditeit blijkt ook van het tijdstip van de dag af te hangen. In de vroege ochtend is deze lager dan 's avonds, ongeacht het jaargetijde, hetgeen samenhangt met de stabiliteit van de atmosfeer. De turbiditeit wordt echter niet gemeten en blijft dus een onbekende factor. Eventueel zou de turbiditeitsfactor geschat kunnen worden uit de metingen van de globale straling. Indien er een groot verschil wordt geconstateerd tussen maximum en minimum van globale straling in een $10'$ vak, of indien er een relatief klein verschil is ten opzichte van de berekende extraterrestrische straling, kan geconcludeerd worden dat er in het betreffende $10'$ tijdvak zonneshijns is geweest. De verhouding tussen de maximale straling en de extraterrestrische straling kan dan gebruikt om m.b.v. de formule van Kasten de turbiditeitsfactor te berekenen. Feitelijk blijft het een schatting omdat de waarde globale straling ook beïnvloed kan worden door reflectie aan wolken. Gebruik van satellietbeelden (MSG) kan deze schatting wellicht preciseren.

Een ander aspect dat ook samenhangt met de turbiditeit is de geografie die bij T_L een rol speelt. Zo zal een station aan zee een andere turbiditeit hebben dan een station dat verder landinwaarts of in stedelijk gebied ligt. Toekomstig onderzoek moet zich op dit probleem richten teneinde een meer stations-gerelateerde benadering te krijgen van de zonneshijnduur met een algoritme.

Een tweede aspect dat nadere aandacht behoeft is het probleem dat we in figuur 4.9 op wierpen. In die figuur lijkt het erop dat de meeste zonneshijnduur aan het eind van de dag berekend wordt terwijl wel symmetrie verondersteld moet worden. Oorzaak hiervan was de niet synchrone registratie van de

metingen van de globale straling. Door deze ‘verkeerde’ registratie ontstaat er een verschil in symmetrie tussen de globale straling en de zonshoogte. Dit probleem zou in de zomer van 2003 opgelost zijn, echter beschikken wij op dit moment over te weinig gegevens om dit nu al te kunnen tonen. In de toekomst zou hier nogmaals naar gekeken moeten worden.

Tot slot zou in de toekomst de wolkensoort geïmplementeerd kunnen worden (par. 4.2.1). De resolutie van de waarnemingen met de MSG-satelliet maakt het wellicht mogelijk de wolkeninformatie realtime te detecteren en te gebruiken in het algoritme waardoor de berekening van zonneshijnduur nog nauwkeuriger wordt.

7. Dankbetuiging

Gaarne bedank ik Job Verkaik voor zijn ondersteuning en begeleiding bij het onderzoek. Henk Benschop en Jitze van der Meulen ben ik dank verschuldigd voor het kritisch doorlezen en becommentariëren van het rapport.

Literatuur

Bergman, U., 1993: Het programma voor berekening van zonneshijnduur uit globale straling. KNMI, TR-158, Kon. Ned. Met. Inst., De Bilt.

Frantzen, A.J. en W.R. Raaff, 1982: De relatie tussen de globale straling en de relatieve zonneshijnduur in Nederland. KNMI, WR-82-5, Kon. Ned. Met. Inst., De Bilt.

Fröhlich, C., 1988: Variability of the solar "constant". In H. Wanner and U. Siegenthaler (Eds): Lecture notes in earth sciences 16; Springer-Verlag, Berlin, 1988, 6-17

Kasten, F., 1980: A simple parametrization of the pyrheliometric formula for determining the Linke turbidity factor. Meteorol. Rdsch. 33, 124-127.

Linke, F., 1922: Transmissions-Koeffizient und trübungsfaktor. Beitr. Phys. Fr. Atmos. 10, 91-103.

Slob, W.H., 1981: Globale stralingsmeting. KNMI-Memorandum FM-81-26 (ongepubl. manuscript).

Slob, W.H. en W.A.A. Monna, 1991: Bepaling van directe en diffuse straling en van zonneshijnduur uit 10-minuutwaarden van de globale straling. KNMI, TR-136, Kon. Ned. Met. Inst., De Bilt.

Velds, C.A., 1992: Zonnestraling in Nederland. Klimaat van Nederland 3, KNMI, Kon. Ned. Met. Inst., De Bilt.

WMO, 1986: Revised instruction manual on radiation instruments and measurements. WMO/TD-No. 149, ed. C. Fröhlich and J. London (World Climate Research Programme publications series; 7), WMO, Geneva

WMO, 1996: Guide to meteorological instruments of observations. (Editie 6; WMO, Geneva) Chapter 8, "Measurements of sunshine duration".

Appendix A

SLOB-ALGORITME

FUNCTIE OM ZONNESCHIJNDUUR UIT GLOBALE STRALING TE
SCHATTEN

FUNCTION SUNSD(NYEAR,NMONTH,NDAY,NHOUR,NMIN,NSEC,XLAT,XLON,
G,GMIN,GMAX)

!-----
! CALCULATE SUNSD (MIN) FROM DATE, TIME (UT), LAT (DEGREES NORTH),
! LON (DEGREES EAST), GLOBAL RADIATION G, GMIN, GMAX (W/M2)
!-----

PI=4.*ATAN(1.)

RTD=180./PI

DTR=1./RTD

DE ZONSHOOGTE SIN(H) MOET BEREKEND WORDEN

! CALCULATE SOLAR ELEVATION USING LOCATION AND DATE/TIME AT TMID

HIERVOOR WORDT SUBROUTINE SUNPOS AANGEROEPEN

CALL SUNPOS(XLON,XLAT,NMONTH,NDAY,NHOUR,NMIN,NSEC,SINH,DOY)
SH=RTD*ASIN(SINH)

! CALCULATE ET IRRADIANCE

XPD=2.*PI*DOY/366.

XI0=1367.+45.795*COS(XPD)+0.88929*COS(2.*XPD)-

0.00466*COS(3.*XPD)+1.8224*SIN(XPD)+0.09847*SIN(2.*XPD)+0.18603*SIN(3.*XPD)

! DETERMINE SUN DURATION

FR=0.

IF (SH.GE.0.) THEN

IF (G.LE.5.) G=0.

G0=XI0*SINH

IF (G0.GT.0.) THEN

GG0=G/G0

GG0MIN=GMIN/G0

GG0MAX=GMAX/G0

ENDIF

! CASE 1

IF (SINH.LT.0.1) THEN

FR=0.

! CASE 2

ELSEIF (SINH.GE.0.1.AND.SINH.LT.0.3) THEN

TL=6.

DG0=0.2+SINH/3.

DIRG0=EXP(-TL/(0.9+9.4*SINH))

GG0GR=DG0+DIRG0

IF (GG0.LT.GG0GR) THEN

FR=0.0


```

ELSE
FR=1.0
ENDIF

! OTHER CASES

ELSEIF (SINH.GE.0.3) THEN
TL=10.0
DG0=0.3
DIRG0=EXP(-TL/(0.9+9.4*SINH))
GG0GR=DG0+DIRG0

! CASE 2B

IF (GG0MAX.LT.0.4) THEN
FR=0.

! CASE 3

ELSEIF (GG0MIN.GT.GG0GR) THEN
FR=1.
ELSEIF (GG0MAX.GT.GG0GR.AND. (GG0MAX-GG0MIN).LT.0.1) THEN
FR=1.

! CASE 4

ELSE
TL=4.
DG0=1.2*GG0MIN
IF (DG0.GT.0.4) DG0=0.4
DIRG0=EXP(-TL/(0.9+9.4*SINH))
FR=(GG0-DG0)/DIRG0
IF (FR.LT.0.) FR=0.
IF (FR.GT.1.) FR=1.
ENDIF
ENDIF
ENDIF

! CONVERT SUN DURATION INTO MINUTES

SUNSD=FR*10.
RETURN
END

```

SUBROUTINE SUNPOS IS IN HET LEVEN GEROEPEN OM DE ZONSHOOGTE SIN(H) TE BREKENEN.

```

SUBROUTINE SUNPOS(XLON,XLAT,NMONTH,NDAY,NHOUR,NMIN,NSEC,XMU0,DOY)

```

```

!-----
! GIVEN THE LATITUDE AND LONGITUDE OF THE LOCATION ON EARTH (IN DEGREES)
! AND THE DATE AND TIME (IN GMT) THIS MODULE COMPUTES
! DIST - THE RELATIVE SUN-EARTH DISTANCE
! XMU0 - THE COSINE OF THE SOLAR ZENITH ANGLE=SINE OF SOLAR ELEVATION
! XPHI - THE SOLAR AZIMUTH ANGLE
! DOY - DAYNUMBER OF YEAR
! TIME - TIME (UT) IN HOURS AND FRACTION OF HOUR
! ACCORDING TO A.C. VELDS. "ZONNESTRALING IN NEDERLAND", 1992
!-----

```

```

DIMENSION NM(12)

```

```

DATA NM /0,31,59,90,120,151,181,212,243,273,304,334/
PI=4.*ATAN(1.)
RTD=180./PI
DTR=1./RTD
DOY=FLOAT(NM(NMONTH)+NDAY)

! SOLAR DECLINATION (pag. 135)

ED=2.*PI*DOY/365.
DELTA=0.33281-22.984*COS(ED)-0.34990*COS(2.*ED)-
0.13980*COS(3.*ED)+3.7872*SIN(ED)+0.03205*SIN(2.*ED)+0.07187*SIN(3.*ED)
DELTA=DELTA/180.*PI

! EQUATION OF TIME (pag. 139)

ET=2.*PI*DOY/366.
EQ=0.0072*COS(ET)-0.0528*COS(2.*ET)-0.0012*COS(3.*ET)-0.1229*SIN(ET)-0.1565*SIN(2.*ET)-
0.0041*SIN(3.*ET)

! SOLAR POSITION (pag.132 & pag. 133)

TIME=FLOAT(HR)+FLOAT(MT)/60.
SINH=SIN(DELTA)*SIN(XLAT/360.*2.*PI)+COS(DELTA)*COS(XLAT/360.*2.*PI)*COS((TIME-
12.+EQ+XLON/15.)*15./360.*2.*PI)

ENDIF
RETURN

END

```

◀ KNMI-PUBLICATIES MET NUMMER (OVERIGE) / KNMI PUBLICATIONS (MISCELLANEOUS)

- 186-III Rainfall generator for the Rhine Basin: nearest-neighbour resampling of daily circulation indices and conditional generation of weather variables / Jules J. Beersma and T. Adri Buishand
- 186-IV Rainfall generator for the Rhine Basin: multi-site generation of weather variables for the entire drainage area / Rafal Wójcik, Jules J. Beersma and T. Adri Buishand
- 186-V Rainfall generator for the Rhine Basin: description of 1000-years simulations / Jules J. Beersma
- 189 Aardbevingen in Noord-Nederland in 1998: met overzichten over de periode 1986-1998 / [Afdeling SO]
- 190 Seismisch netwerk Noord-Nederland / [Afdeling Seismologie]
- 191 Het KNMI-programma HISKLIM (HISTorisch KLIMaat) / T. Brandsma, F. Koek, H. Wallbrink en G. Können
- 192 Gang van zaken 1940-48 rond de 20.000 zoekgeraakte scheepsjournalen / Hendrik Wallbrink en Frits Koek
- 193 Science requirements document for OMI-EOS / contributions by R. van der A .. [et al.] (limited distribution)
- 194-I De zonsverduistering van 11 augustus 1999, deel 1: de waarnemingen van het gedrag van flora en fauna / Jacob Kuiper
- 195 An optimal infrasound array at Apatity (Russian Federation) / Láslo Evers and Hein Haak (limited distribution)
- 196-I Rainfall Generator for the Meuse Basin: simulation of 6-hourly rainfall and temperature for the Ourthe catchment / R. Wójcik et al.
- 197 Meteorologie op zee: beknopte handleiding voor waarnemingen op zee [= manual meteorology at sea] (limited distribution)
- 198 Projectie van de Elbe-zomerneerslag op de Rijn en Maas : onderzoek naar aanleiding van de recente overstromingen in Midden Europa / J.R.A. Onvlee en G.P. Können (gepubliceerd in samenwerking met Rijkswaterstaat)
- 199-I Droog, droger, droogst : bijdrage van het KNMI aan de eerste fase van de Droogtestudie Nederland / J.J. Beersma et al.
- 200 Aerosol Retrieval and Assimilation (ARIA) : final report / G.H.L. Verver et al. (limited distribution)
- 201 Sciamachy data assimilation 2 / J.F. Meirink, H.J. Eskes, M. van Weele and H.M. Kelder (limited distribution)
- 202 MSG cloud products : final report / R.A. Roebeling, A.J. Feijt, R. Dlhopsky and H. Roozenkrans
- 203 Implementation of scatterometer wind processing at KNMI: final report / Ad Stoffelen, Tilly Driesenaar and Jeroen Beysen
- 204 KNMI research programme 2003-2007 : Climate Research, Seismology, Meteorological Research (limited distribution)
- 205 CLIWOC multilingual meteorological dictionary : an English-Spanish-Dutch-French dictionary of wind force terms used by mariners from 1750 to 1850 / Günther Können, Frits Koek (HISKLIM-report; 5)

◀ PROCEEDINGS (PR)

ISSN 1570-9345

- 2002-01 24th EWGLAM and 9th SRNWP meetings: 7-10 October 2002, KNMI, De Bilt / [edited by G. Cats]

◀ TECHNISCH RAPPORT = TECHNICAL REPORT (TR)

ISSN 0169-1708

- 239 Seismische analyse van de aardbevingen bij Alkmaar op 9 & 10 september en Bergen aan Zee op 10 oktober 2001 / H.Haak et al.
- 240 EBEX-2000 : the KNMI/WAU contribution / W. Kohsiek, E.W. Meijer, P.J.B. Versteeg, O.K. Hartogensis, H.A.R. de Bruin
- 241 Ontwikkeling gidsvergelijkingen voor meerdaagse neerslagkansen / D. Voegelzang en K. Kok
- 242 On photosynthesis parameters for the A-gs surface scheme for high vegetation / G.J. Steeneveld
- 243 Temperatuurvergelijkingen voor de Middellange Termijn Gids : ontwikkeling en verificatie over 2000 / J.Wijngaard
- 244 Verification of clear-air turbulence forecasts / A. Overeem
- 245 A comprehensive description of the KNMI seismological instrumentation / B. Dost and H. Haak
- 246 Verandering van neerslagkarakteristieken in Nederland gedurende de periode 1901-2001 / A.T.H. Bruin
- 247 Het nachtelijk uur en de kans op stralingsmist / J. Terpstra
- 248 BoWa NL: visie bovenluchtwarnemingen Nederland / S. Tijm, B. Wichers Schreur en H. Klein Baltink
- 249 An investigation of the representative heights for atmospheric motion vectors / R. Dlhopsky and A. Feijt
- 250 New drag formulation in NEDWAM / V.K. Makin and M. Stam
- 251 Analysis of global irradiance measurements from pyranometer and AVHRR / G.J. van Geel, R. Roebeling and A.J. Feijt
- 252 Simulation of present-day climate in RACMO: first results and model developments / Geert Lenderink et al.
- 253 Het berekenen, verifiëren en corrigeren van radarneerslagsommen / R.M. van Westrheden
- 254 Analyse van het seismisch risico voor de kanselarij van New Delhi / Torild van Eck
- 255 Documentation of the software package GomeCal / Jos van Geffen
- 256 Duurtest LD40 en FD12P op Meetpost Noordwijk / Wiel Wauben
- 257 SPEDO: model description and validation of flexible coupled model for climate studies / Wilco Hazeleger et al.
- 258 Vergelijking van diverse methodes voor de berekening van zonneshijnduur uit globale straling / Jarno Schipper

◀ WETENSCHAPPELIJK RAPPORT = SCIENTIFIC REPORT (WR)

ISSN 0169-1651

- 01-01 Hail detection using single-polarization radar / Iwan Holleman
- 01-02 Comparison of modelled ozone distributions with ozonesonde observations in the Tropics / Rob Put
- 01-03 Impact assessment of a Doppler wind lidar in space on atmospheric analyses and NWP / G.J. Marseille et al.
- 01-04 Calibration of EPS derived probabilities / C.J. Kok
- 02-01 Quality control and wind retrieval for SeaWinds / M. Portabella and A. Stoffelen
- 02-02 Shortwave radiation and cloud parametrizations for intermediate complexity models / J.J. Beersma, et al.
- 02-03 Sensitivity study of the residue method for the detection of aerosols from space-borne sensors / M. de Graaf
- 02-04 Assimilation of satellite derived surface heating rates in a Numerical Weather Prediction model / Bart van den Hurk et al.
- 02-05 On the use of physical and statistical downscaling techniques for NWP model output / Wim de Rooy and Kees Kok
- 02-06 ENVISAT Land Surface processes Phase 2 : final report / B.J.J.M. van den Hurk, Z. Su, W. Verhoef, G. Roerink and L. Jia
- 02-07 Effects of aerosols on UV-index / J. Badosa and M. van Weele
- 02-08 MERCI - Measurement ERror and Correlation Impact on the atmospheric dynamics mission / A. Stoffelen et al.
- 02-09 Influence of clouds on the solar radiation budget / H.M. Deneke
- 03-01 Analytical calculation of Stokes parameters Q and U of atmospheric radiation / L.G. Tilstra, N.A.J. Schutgens, P. Stammes
- 03-02 Doppler radar wind profiles / Iwan Holleman

