

**KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

SCIENTIFIC REPORT

W.R. 82 - 5

A.J. Frantzen en W.R. Raaff

De relatie tussen de globale straling  
en de relatieve zonschijnduur in  
Nederland



---

De Bilt, 1982

Publikatienummer: K.N.M.I. W.R. 82-5(FM)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,  
Fysisch Meteorologisch Onderzoek,  
Postbus 201,  
3730 AE De Bilt,  
Nederland.

U.D.C.: 551.521.1 :  
551.521.11 :  
551.582(492)

## SAMENVATTING

Uitgaande van dagelijkse gegevens van de globale straling en de zonneshijnduur op 5 stations met gegevens uit de periode 1965 t/m 1977 is een onderzoek ingesteld naar de relatie tussen deze grootheden in Nederland.

Voor de schatting van de dagsom van de globale straling,  $G$ , uit de relatieve zonneshijnduur,  $S$ , zijn diverse methoden met elkaar vergeleken. Als beste en eenvoudigste methode is gekozen voor een lineaire regressieformule

$$G = a_0 + a_1 \cdot S \text{ indien } S > 0$$

en

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

De constanten  $a_0$ ,  $a_1$  en  $G_c$  zijn voor iedere decade in het jaar bepaald (tabel 17). De stralingswaarden zijn betrokken op de "World Radiometric Reference" 1981. Ofschoon de waarden van deze constanten slechts lokaal gelden kan voor Nederland met goede benadering een gemiddeld stel constanten worden aangewend, dat met behulp van de volgende formules berekend kan worden:

$$\begin{aligned} a_0 &= 70,2 + 51,4 \sin (10 t - 84,95^\circ) \text{ W/m}^2 \\ a_1 &= 141,4 + 105,9 \sin (10 t - 83,10^\circ) \text{ W/m}^2 \\ G_c &= 45,2 + 33,9 \sin (10 t - 84,12^\circ) \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

die door  $t = 1, 2, \dots, 36$  te stellen decadewaarden opleveren.

Voor de schatting van de dagelijkse relatieve zonneshijnduur uit de dagsom van de globale straling wordt de volgende formule gegeven:

$$S = (G - G_c)/(G_0 - G_c) \cdot 100\% \text{ voor } G_c \leq G \leq G_0$$

en

$$\begin{aligned} S &= 0 && \text{voor } G < G_c, \\ S &= 100\% && \text{voor } G > G_0 \end{aligned}$$

waar  $G_c$  en  $G_0$  per decade bepaalde constanten voorstellen.

Bij benadering geldt voor Nederland:

$$\begin{aligned} G_c &= 54,0 + 44,5 \sin (10 t - 86^\circ) \text{ W/m}^2 \\ G_0 &= 233,0 + 161,1 \sin (10 t - 86^\circ) \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Door  $t = 1, 2, \dots, 36$  te stellen verkrijgt men de decadewaarden.

Voor de schatting van de maandsom van de globale straling uit het maandgemiddelde van de zonneshijnduur is gebruik gemaakt van de relatie

$$G/Q_A = a + b.n/N$$

waar

G = maandsom van de globale straling,

$Q_A$  = maandsom van de aan de rand van de atmosfeer op een horizontaal vlak invallende straling,

n = maandsom van de zonneshijnduur,

N = maximaal mogelijke zonneshijnduur.

De landelijke gemiddelden van de regressieconstanten a en b bedragen

$$a = 0,20 \text{ en } b = 0,61.$$

Deze waarden zijn vergeleken met elders op de wereld verkegen waarden (tabel 22).

## SUMMARY

The relation between global radiation and the relative sunshine duration in The Netherlands is investigated on the basis of daily data in the period 1965-1977 at 5 stations.

Several methods for the estimation of daily global radiation,  $G$ , from relative sunshine duration,  $S$ , have been compared. A linear regression formula was selected as the best and most simple method:

$$G = a_0 + a_1 S \quad \text{if } S > 0$$

and

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

The constants  $a_0$ ,  $a_1$  and  $G_c$  have been determined for every decade of the year at the 5 stations (Table 17). The radiation values are expressed with respect to the World Radiometric Reference 1981. The values of these constants are locally valid; however, for The Netherlands spatially averaged values can in good approximation be applied, calculated by the following formulas:

$$a_0 = 70,2 + 51,4 \sin (10 t - 84.95^\circ) \text{ W/m}^2$$

$$a_1 = 141,4 + 105,9 \sin (10 t - 83.10^\circ) \text{ W/m}^2$$

$$G_c = 45,2 + 33,9 \sin (10 t - 84.12^\circ) \text{ W/m}^2$$

in which  $t = 1, 2, \dots, 36$  yield the decadal values.

For estimating the daily relative sunshine duration from the daily global radiation intensity the following formula is given.

$$S = (G - G_c)/(G_0 - G_c) \cdot 100\% \quad \text{for } G_c \leq G \leq G_0$$

$$S = 0 \quad \text{for } G < G_c,$$

$$S = 100\% \quad \text{for } G > G_0,$$

in which  $G_c$  and  $G_0$  represent decadal constants.

For the Netherlands these constants can be calculated by

$$G_c = 54,0 + 44,5 \sin (10 t - 86^\circ) \text{ W/m}^2$$

$$G_0 = 233,0 + 161,1 \sin (10 t - 86^\circ) \text{ W/m}^2,$$

in which  $t = 1, 2, \dots, 36$  yield the decadal constants.

For the estimation of the monthly global radiation intensity from the monthly mean relative sunshine duration the following relation is selected:

$$G/Q_A = a + b n/N$$

in which

G = monthly intensity of the global radiation,

$Q_A$  = monthly intensity of the incoming extraterrestrial radiation  
on a horizontal surface,

n = monthly sum of the sunshine duration,

N = maximum astronomically possible sum of the sunshine duration.

Averaged over the country the values of the regression constants are

$$a = 0.20 \text{ and } b = 0.61.$$

These values are compared with values obtained elsewhere in the world  
(Table 22).

## Inhoud

	blz.
1. Inleiding	1
2. De relatie globale straling - zonneshijnduur voor de dagsom	2
2.1 Verkenning	2
2.2 Methode Ångström	6
2.3 Andere methoden	8
2.4 Methode Ångström - De Boer	9
2.5 Toetsing van de methoden voor schatting van de dagintensiteit van de globale straling	10
2.6 Aanbevolen methode	12
3. Schatting van de globale stralingsdagintensiteit uit de relatieve zonneshijnduur op de vijf hoofdstations	13
4. Schatting van de dagelijkse relatieve zonne- schijnduur uit de dagintensiteit van de globale straling	16
5. Schatting van de maandelijks gemiddelde dag- intensiteit van de globale straling uit de gemiddelde relatieve zonneshijnduur	17
5.1 De relatie in Nederland	17
5.2 Vergelijking met elders verkregen relaties	19
Literatuur	21
Figuren en tabellen	

De relatie tussen de globale straling en de relatieve zonneshijnduur  
in Nederland

1. Inleiding

Het is vaak gewenst te beschikken over gegevens van de globale straling, waar geen metingen van de globale straling beschikbaar zijn. In dit geval kan getracht worden de globale straling te schatten uit gegevens van een ander element dat met de globale straling is gecorreleerd, zoals de bewolkingsgraad of de zonneshijnduur. Volgens Hinzpeter (1959) is de correlatie tussen de dagsom van de globale straling en de zonneshijnduur beter dan die tussen de globale straling en de bewolkingsgraad.

Uursommen van de globale straling kunnen volgens Holtslag en Van Ulden (1980) zeer goed geschat worden uit de zonshoogte en de totale bewolkingsgraad.

De globale straling wordt door het KNMI in Nederland op 7 stations gemeten. Registratie van de zonneshijnduur geschiedt op ca. 35 stations. De globale straling, d.w.z. de straling in het golflengtegebied 0,3 tot 3  $\mu\text{m}$ , op een horizontaal vlak aan de aardoppervlakte, wordt gemeten met Moll-Gorczyński pyranometers. Registratie van de zonneshijnduur geschiedt met een Campbell-Stokes zonneshijnautograaf.

Onderzoek naar een relatie tussen de dagsom van de globale straling en de relatieve zonneshijnduur is in Nederland reeds verricht door Reesinck (1940), De Vries (1955) voor Wageningen, De Boer (1961) voor De Bilt. De relatieve zonneshijnduur is het aantal uren zonneshijn op een dag gedeeld door het maximaal mogelijke aantal uren zonneshijn op die dag.

Daar thans beschikt kan worden over meer gegevens dan toen het geval was, is een nieuw onderzoek en op ruimere basis naar bovenbedoelde relatie ingesteld. In het bijzonder is gezocht naar de beste methode, die tevens eenvoudig toepasbaar moet zijn, om de dagsom en de maandsom van de globale straling te schatten uit de relatieve zonneshijnduur. Tevens is aandacht besteed aan het omgekeerde probleem, nl. de schatting van de zonneshijnduur uit de dagwaarde van de globale straling.



## 2. De relatie globale straling - zonneshijnduur voor de dagsom

### 2.1 Verkenning

Om een indruk te krijgen van de samenhang tussen deze grootheden zijn in fig. 1 de 155 dagsommen van de globale straling te De Bilt in de maand maart van de periode 1971 t/m 1975, gemeten in de Internationale Pyrheliometrische schaal van 1956 (IPS 1956), uitgezet tegen de dagelijkse relatieve zonneshijnduur. In het algemeen gesteld geldt dat bij een grotere zonneshijnduur ook grotere waarden van de globale straling behoren.

Het eenvoudigst is een lineaire relatie te onderstellen tussen de dagsom van de globale straling,  $G$ , en de relatieve zonneshijnduur,  $S$ , in de vorm

$$G = a_0 + a_1 S.$$

M.b.v. de methode van de kleinste kwadraten kunnen  $a_0$  en  $a_1$  bepaald worden. Voor het puntenpatroon in fig. 1 is  $a_0 = 50$  en  $a_1 = 146 \text{ Wm}^{-2}$  als  $G$  in  $\text{Wm}^{-2}$  en  $S$  als fractie is uitgedrukt. De correlatiecoëfficiënt,  $R$ , bedraagt 0,911, hetgeen als een hoge waarde mag worden aangemerkt. Het betekent dat 83% ( $R^2$ ) van de variantie van  $G$  verklaard wordt door de regressie van  $G$  op  $S$ . De standaardfout, dat is de wortel uit de restvariantie, bedraagt  $20 \text{ Wm}^{-2}$ ; dit is nog 20% van de gemiddelde dagsom van de globale straling. De spreiding van de punten om de regressielijn is dus nog vrij groot, vooral in de  $G$ -waarden voor  $S = 0$ .

Ten aanzien van de relatie kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- (1) De relatieve zonneshijnduur geeft alleen de duur van de zonneshijn, terwijl de globale straling zowel de zonneshijnduur als de zonneshijnintensiteit omvat. Dit betekent dat op een dag met veel bewolking in het begin en aan het eind terwijl de middelste periode (bij hoge zonnestand) zonnig is, meer globale straling gemeten zal worden dan op een dag van dezelfde lengte met veel zon aan het begin en aan het eind en somber weer in de middelste periode, ofschoon de relatieve zonneshijnduur op beide dagen dezelfde waarde heeft.
- (2) In het tijdvak van een maand is de maximale zonshoogte niet constant. Dit betekent dat in het tijdvak van een maand de dagsom van de globale straling bij onbewolkt weer, of liever, een dag waarvoor

$S = 1,$

$$G_0 = a_0 + a_1$$

niet constant is. Strikt genomen moet dus voor elke dag van het jaar een regressievergelijking worden opgesteld.

- (3) De door het Campbell-Stokes instrument geregistreeerde zonneshijnduur is eigenlijk de tijd gedurende welke de intensiteit van de direkte straling boven een bepaalde drempelwaarde is, voldoende om de registratiestrook in te branden. Aan het begin en aan het eind van de dag, d.w.z. bij geringe zonshoogte, kan dus een verlies aan zonneshijnduur optreden.

Deze drempelwaarde blijkt nogal variabel te zijn. De zevende WMO-CIMO Conferentie in 1977 beval als drempelwaarde  $200 \text{ W/m}^2$  aan, maar de achtste WMO-CIMO conferentie in 1981 stelde deze waarde op  $120 \text{ W/m}^2$ . Volgens onderzoekingen door W.H. Slob op het KNMI begint de inbrandende werking gemiddeld bij  $140 \text{ Wm}^{-2}$ .

Het tekort aan zonneshijnduur-registratie is dus variabel en hangt sterk af van de tijd die de zon nodig heeft om boven een bepaalde hoogte te stijgen en deze wordt voornamelijk door de declinatie bepaald.

Voorts is de geregistreeerde zonneshijnduur ook afhankelijk van de instrumentele karakteristieken (zoals de doorlaatbaarheid en het reflectievermogen van de glazen bol, soort en kleur van het papier) en de weersomstandigheden (mogelijk voorkomen van waterdruppels of rijp op de bol, vochtig papier).

Van belang is nog de methode van het uittrekken van de stroken en de consequente handhaving van de methode.

Tenslotte zij opgemerkt dat de turbiditeit van de atmosfeer en de aard van de bewolking van invloed kan zijn op het verband tussen de globale straling en de zonneshijnduur. Dunne bewolking vermindert bijvoorbeeld de zonneshijnduur niet maar wel de globale straling.

- (4) De maximaal mogelijke zonneshijnduur kan op verschillende manieren gedefinieerd worden. Te De Bilt geldt voor de maximaal mogelijke zonneshijnduur de tijd tussen astronomische zonsopgang en zonsopgang, met dien verstande dat het tijdstip van zonsopgang en zonsopgang betrekking heeft op het middelpunt van de zon.

De consequentie is dat de relatieve zonneschijnduur nooit 100% bereikt. Te De Bilt is 97% echter mogelijk (11 november, 1971). Andere definities voor de maximaal mogelijke zonneschijnduur nemen de natuurlijke, plaatselijke, horizon in aanmerking, of de door het instrument geregistreerde maximumduur, of gaan uit van een zonshoogte boven  $3^{\circ}$  of  $5^{\circ}$ . Het voorkomen van een relatieve zonneschijnduur boven 100% lijkt hierbij niet uitgesloten.

De hierboven gereleveerde aspecten van de zonneschijnduur-grootheid dienen in aanmerking te worden genomen bij vergelijking van regressieformules die bijvoorbeeld in de verschillende landen zijn afgeleid.

Naar aanleiding van het gesignaleerde in bovengenoemde opmerking (1) zou misschien een verbetering in de relatie gevonden kunnen worden door de waarden van de constanten zodanig te nemen dat rekening gehouden wordt met de verdeling van de zonneschijn over de dag en/of zelfs door i.p.v. de dagwaarde van S een waarde te kiezen die berekend wordt als een gewogen gemiddelde van de uurwaarden, waarbij de grootste gewichten worden toegekend aan de uren omtrent de middag.

De Boer (1961) heeft in die richting een poging ondernomen. De toepassing van de relatie wordt daardoor echter wat ingewikkeld.

Opmerking (2) komt erop neer dat 366 a- en b-waarden berekend moeten worden, waarvoor dan ook een zeer lange meetperiode nodig is.

Een mogelijke beperking van het aantal regressieformules zou bestaan in het berekenen van regressievergelijkingen per pentade of per decade van het jaar, op grond van de overweging dat de variatie van  $G_0$  in de loop van een pentade of decade niet groot is, zodat voor  $G_0$  daar een constante waarde aangenomen kan worden.

De variatie van  $G_0$  kan ook in de vergelijking worden ingebouwd zoals in de klassieke formule van Ångström (1924):

$$G = G_0 (\alpha + (1 - \alpha)S)$$

Deze formule wordt verkregen door aanvankelijk te stellen:

$$G = G_0 (\alpha + \beta S)$$

Voor  $S = 1$  moet nu  $G = G_0$  worden, dus  $\alpha + \beta = 1$  of  $\beta = 1 - \alpha$ .

Dit zou de mogelijkheid bieden te volstaan met een set van 366  $G_0$ -waarden (voor elke dag in het jaar een  $G_0$ -waarde) en één waarde van  $\alpha$  (indien deze geen jaarlijkse gang vertoont). De 366  $G_0$ -waarden

zouden misschien ook voorgesteld kunnen worden m.b.v. een sinus-formule. De Ångström-formule is in nondimensionele vorm te schrijven als

$$G/G_0 = \alpha + (1 - \alpha)S.$$

Daar de grootheid  $G_0$  echter niet voor elke dag van het jaar een vaste waarde heeft doordat deze zeer afhankelijk is van de transmissie door de atmosfeer en bovendien wat moeilijk is te bepalen, is ten behoeve van nondimensionalisering door Prescott (1940) gebruik gemaakt van de aan de rand van de atmosfeer invallende straling op een horizontaal vlak (Angot-waarde of straling bij een transparante atmosfeer),  $Q_A$ , en door anderen (Schönermark et al., 1973) van de globale straling door een Rayleigh-atmosfeer (een zuivere droge atmosfeer),  $Q_R$ .

In deze gevallen zijn de relaties, resp., in de vorm

$$G/Q_A = a + b S$$

en

$$G/Q_R = a + b S$$

met  $a$  en  $b$  als te bepalen constanten, terwijl  $Q_A$  en  $Q_R$  aan tabellen of formules ontleend worden.

Er is ook wel geopperd dat een niet-lineaire relatie betere schattingen van  $G$  zou kunnen opleveren dan een lineaire, zoals bij voorbeeld (Matzke, 1933)

$$G/G_0 = a + b \cdot \sqrt{S}.$$

Bij toepassing van een niet-lineaire relatie is de regressielijn gekromd. In fig. 1 is weinig van een kromming te merken behalve in het gebied waar  $S$  heel klein wordt.

In plaats van een niet-lineaire relatie zou overwogen kunnen worden een discontinuïteit aan te brengen in de lineaire relatie, zo dat voor  $S > 0$  de globale straling geschat wordt met een lineaire relatie terwijl voor  $S = 0$  de globale straling geschat wordt als zijnde de gemiddelde globale straling op een zonloze dag:  $\bar{G}(S = 0)$ .

Voor de gegevens waar fig. 1 op gebaseerd is, wordt dan de schatting:

$$\begin{array}{ll} G = 39,8 & \text{W/m}^2 \text{ voor } S = 0 ; \text{SE} = 19,6 \\ G = 59,5 + 129,2 S & \text{voor } S > 0 ; \text{SE} = 18,1 \end{array}$$

De standaardfout van de schatting bedraagt dan 18, hetgeen ten opzichte van de standaardfout in de schatting volgens

$$G = 50 + 146 S$$

die 20 bedroeg, een kleine verbetering betekent.

Echter heeft het aanbrengen van zo'n discontinuïteit alleen zin als in de desbetreffende maand veel zonloze dagen voorkomen.

De reden voor deze discontinuïteit zal daarin gelegen zijn, dat op zonloze dagen het wolkendek over het algemeen dikker is dan op dagen waarop nog enige zonneshijn wordt geregistreerd.

In het volgende deel van dit verslag zullen diverse formules worden onderzocht. Als criterium van bruikbaarheid zal daarbij worden gehanteerd de standaardfout. Deze is immers een maat voor de nauwkeurigheid van de schatting van de globale straling.

## 2.2 Methode Ångström

De eenvoudigste methode om de globale straling te schatten is via de simpele lineaire regressie

$$G = a_0 + a_1 S$$

M.b.v. de beschikbare dagsommen van de globale straling en de dagelijkse waarden van de relatieve zonneshijnduur te De Bilt in de periode 1971, ..., 1975 zijn de constanten  $a_0$  en  $a_1$  voor elk van de 12 maanden van het jaar berekend.

Het resultaat is weergegeven in tabel 1, waarbij tevens is vermeld het aantal waarden (dagen) waarop de berekening berust ( $N$ ), de gemiddelde globale straling,  $\bar{G}$ , en de gemiddelde relatieve zonneshijnduur,  $\bar{S}$ , per maand. De correlatiecoëfficiënten,  $R$ , liggen tussen 0,86 (januari) en 0,94 (juli). Het gedeelte van de variantie van de globale straling dat door de regressie wordt verklaard,  $R^2$ , ligt dus tussen 74 en 89%. De standaardfout,  $SE$ , is de wortel uit de restvariantie en bedraagt 12 à 31% van de gemiddelde dagintensiteit van de globale straling,  $\bar{G}$ .

De z.g. Ångström-parameters  $G_0$  en  $\alpha$  zijn uit  $a_0$  en  $a_1$  afgeleid:

$$G_0 = a_0 + a_1 \bar{S}, \quad \alpha = a_0 / (a_0 + a_1 \bar{S})$$

zodat de relatie geschreven kan worden als

$$G = G_0 [\alpha + (1 - \alpha)S]$$

overeenkomstig de Ångström-relatie.

Hierin is  $G_0$  de globale straling op een onbewolkte dag ( $S = 1$ ), voor de hele maand constant, en  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) kan opgevat worden als een doorlaatbaarheidscoëfficiënt voor de globale straling van een gesloten wolkendek met een "gemiddelde" dikte, of het gemiddelde van  $G/G_0$  op een volkomen bewolkte dag (gemiddelde verhouding tussen de globale straling bij 0% en bij 100% zonschijnduur).

De waarden van  $a_0$ ,  $a_1$  en  $G_0$  vertonen een duidelijke jaarlijkse gang met een maximum in juni, zoals ook wel te verwachten was.

De waarde van  $\alpha$  vertoont geen regelmatige jaarlijkse gang, wel is de waarde in de zomermaanden significant verschillend van die in de wintermaanden. Voor de periode mei t/m oktober is  $\alpha$  gemiddeld 0,29 en voor de periode november t/m april 0,24. Over het jaar gemiddeld is  $\alpha = 0,26$ .

Volgens dezelfde methode zijn destijds door De Vries (1955) voor Wageningen de Ångström-parameters bepaald uit metingen van de globale straling en de zonschijnduur in de periode 1938, ..., 1953.

Ter vergelijking met tabel 1 geeft tabel 2 zijn resultaten. Daarvoor zijn de stralingswaarden van  $\text{cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$  omgerekend naar  $\text{J cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$  m.b.v. de faktor 4,186 en van de Smithsonian Scale 1913 naar de International Pyrheliometric Scale 1956 door vermindering met 2%.

De gemiddelde waarde van  $\alpha = 0,29$ . In het algemeen liggen de  $\alpha$ -waarden boven die van De Bilt; vooral in de maanden november, december en januari zijn de verschillen groot.

De  $G_0$ -waarden in tabel 2 zijn echter kleiner dan die in tabel 1. Hierbij moet bedacht worden dat de resultaten betrekking hebben op verschillende plaatsen en een verschillende tijdsperiode, verkregen met verschillende instrumenten en met een verschillende methode voor het uittrekken van zonschijnstroken.

Ångström (1924) onderzocht de relatie tussen de dagelijkse globale straling en de relatieve zonschijnduur te Stockholm en gaf op grond van een jaar metingen de waarde  $\alpha = 0,25$  op.

Later verklaarde Ångström (1925) dat deze waarde betrekking heeft op het gemiddelde geval en dat de waarschijnlijke fout  $\pm 0,02$  bedraagt op grond van de gegevens uit de periode 1922-1924.

Volgens Ångström (1956) vertoont  $\alpha$  een variatie met de tijd van het jaar en ook van jaar tot jaar. In het algemeen was in de zomer  $\alpha \leq 0,25$  en in de winter  $\alpha > 0,25$  ( $0,26 \text{ à } 0,28$ ); dit is dan in tegenstelling tot wat te De Bilt en Wageningen is gevonden.

Zoals in paragraaf 2 is opgemerkt is eigenlijk het aannemen van een dagwaarde van  $G_0$ , geldig voor een gehele maand, niet realistisch, daar de daglengte en de maximale zonshoogte gedurende die maand niet steeds dezelfde is.

Om deze redenen zou het de voorkeur verdienen de regressieformule niet per maand, maar per decade te berekenen. Om na te gaan of deze methode wellicht een reductie in de standaardfout teweegbrengt is de berekening uitgevoerd voor De Bilt in de periode 1971 t/m 1975. Het resultaat is te vinden in tabel 3.

Het blijkt dat er over het algemeen een reductie wordt verkregen in de standaardfout.

De decadewaarden van  $\alpha$  fluctueren nogal. Het rekenkundig gemiddelde over het jaar bedraagt 0,27. In de zomer ligt  $\alpha$  boven deze waarde, in de winter eronder. Over de periode mei t/m oktober is  $\alpha$  gemiddeld 0,30, over de periode november t/m april 0,24. In de wintermaanden komt de waarde  $S = 0$  vaker voor dan in de zomer.

### 2.3 Andere methoden

Toepassing van een kwadratische regressie-formule schijnt nauwelijks betere resultaten te geven (De Vries, 1955). Berekeningen voor een kwadratische formule zijn daarom hier nagelaten.

De suggestie van Matzke (1933) is in overweging genomen. De regressie-formule is

$$G = a + b \cdot \sqrt{S}$$

Het resultaat is in tabel 4 weergegeven. De standaardfout blijkt iets kleiner te zijn dan die in tabel 1.

Een andere mogelijke verbetering in de methode om de dagelijkse globale straling te schatten uit de zonneschijnduur, die zeker ook in beschouwing moet worden genomen, is in de richting van de methode van Prescott (1940), waar gebruik wordt gemaakt van de waarde van de zonnestraling aan de rand van de atmosfeer,  $Q_A$  op een horizontaal oppervlak. De relatie is dan

$$G/Q_A = a + b S.$$

Voor  $S = 1$  is dus  $G/Q_A = G_0/Q_A = a + b$ , en voor  $S = 0$  is  $G/Q_A = a$ .

Het resultaat voor De Bilt, gebaseerd op de gegevens in de periode 1971 t/m 1975 is in tabel 5 samengevat. De zonneconstante is hierbij op

1367 W/m<sup>2</sup> (1,96 cal cm<sup>-2</sup>min<sup>-1</sup>) gesteld.

De correlatiecoëfficiënten vallen wat hoger uit dan in tabel 1. Door het opnemen van de parameter  $Q_A$  wordt de variatie van de zons-hoogte en de daglengte binnen de maand in rekening gebracht. Een bezwaar voor eenvoudige praktische toepassing is echter dat de waarden van  $Q_A$  bekend moeten zijn om G te bepalen. Men moet dus een tabel met 366 waarden geven of een benaderingsformule. Voor de verschillende maanden van het jaar varieert a tussen 0,17 en 0,23, b varieert tussen 0,48 en 0,61. Over het gehele jaar genomen is a = 0,19 en b = 0,56.

#### 2.4 Methode Ångström - De Boer

De Boer (1960, 1961) paste de formule van Ångström

$$G = G_0 [\alpha + (1 - \alpha)S]$$

toe op uurwaarden in de periode 1954 t/m 1958 te De Bilt. Per maand verkreeg hij per uurvak met de methode der kleinste kwadraten een waarde voor  $G_0$  en  $\alpha$ . Deze waarden werden vervolgens over de jaren per uurvak rekenkundig gemiddeld.

Om de dagsom van de globale straling in een bepaalde maand te schatten met behulp van de formule van Ångström werd deze formule als volgt gemodificeerd:

- (1) Voor de waarde van  $\alpha$  voor een bepaalde maand werd, om de onderstelde afhankelijkheid van  $\alpha$  met de zonhoogte in rekening te brengen, een gewogen gemiddelde over de uurlijkse waarden genomen, met de uurlijkse waarden van  $G_0$  als gewichten.
- (2) De waarde van de relatieve zonneshijnduur, S, wordt bepaald als de som van de uurwaarden met de (uit een tabel beschikbare) uurlijkse waarden van  $G_0$  als gewichten.

De gemiddelde intensiteit voor de dag,  $G_0$ , wordt gewoon verkregen uit de som van de uurlijkse waarden van  $G_0$ .

Tabel 6 geeft de gemiddelde uurlijkse en dagelijkse intensiteit van  $G_0$ . De gemiddelde uurlijkse waarden van  $\alpha$ , berekend door De Boer (1960, 1961) zijn in tabel 7 gereproduceerd; de onderste regel in deze tabel geeft het gewogen gemiddelde van  $\alpha$  voor elke maand.

Voor de toepassing van deze methode moet men dus, om voor een bepaalde dag de globale straling te schatten, de uurlijkse waarden van de zonneshijnduur op die dag middelen met de overeenkomstige uurwaarden van  $G_0$  uit tabel 6 als gewichten; deze waarde zij aangeduid met  $S_*$ . Dan wordt



vervolgens m.b.v. de desbetreffende waarden van  $G_0$  en  $\alpha$  (onderste regel in tabel 6 en 7) de gemiddelde intensiteit van de globale straling geschat als

$$G = G_0 [\alpha + (1 - \alpha)S_*]$$

De methode van De Boer kan opgevat worden als een verfijning van de methode van Ångström, daar in aanmerking wordt genomen hoe de zonnenschijnduur over de uren van de dag is verdeeld.

Tevens kunnen uurwaarden van de globale straling worden geschat. Echter is het gebruik van een lineaire relatie, zeker voor de uurwaarden met lage zonnestand, niet gerechtvaardigd.

Om na te gaan of deze methode betere resultaten levert dan de eerder gebruikte is een analoge methode gevolgd m.b.t. de globale stralings- en zonnenschijnduurgegevens te De Bilt in de periode 1971 t/m 1977. Per maand en per uurvak is via de regressie

$$G = a_0 + a_1 S$$

de waarde van  $\alpha$  en  $G_0$  bepaald. (De Boer heeft deze grootheden voor elk jaar bepaald en vervolgens rekenkundig gemiddeld).

Analoog aan de tabellen 6 en 7 zijn de resultaten voor wat betreft  $G_0$  en  $\alpha$ , resp. vermeld in de tabellen 8 en 9.

Het gewogen gemiddelde van  $\alpha$  over het jaar bedraagt 0,31.

## 2.5 Toetsing van de methoden voor schatting van de dagintensiteit van de globale straling.

Tot nu toe zijn vijf methoden uitgewerkt, nl.

- (1) Lineaire regressie per maand : methode RM
- (2) Lineaire regressie per decade : methode RD
- (3) Niet-lineaire regressie per maand : methode RR
- (4) Regressie m.b.v. de extraterrestrische straling: methode RE
- (5) Methode van De Boer: methode DB.

Ter vergelijking van de methoden zijn in de hieronder gegeven tabel de standaardfouten verzameld. De standaardfout is hier berekend volgens  $\sqrt{\frac{1}{N} \sum (G' - G)^2}$ , waar N het aantal waarden is, G' de geschatte en G de gemeten dagintensiteit van de globale straling.

Tabel: Standaardfout bij toepassing der verschillende methoden.

Methode	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
RM	7,4	14,0	19,5	23,2	24,8	25,7	24,6	21,7	17,1	16,7	8,7	5,9
RD	6,3	11,3	16,0	19,6	22,0	25,4	23,5	18,3	13,7	12,2	7,0	5,7
RR	6,5	13,1	18,6	23,1	24,8	25,5	23,4	21,8	17,4	16,1	8,1	5,0
RE	6,1	11,1	16,1	19,4	22,2	25,6	24,7	18,2	13,6	12,0	6,9	5,7
DB <sup>1)</sup>	7,3	14,0	16,9	22,0	22,3	23,3	23,1	18,8	16,0	15,2	8,7	5,7

1) Constanten verkregen uit periode 1971 t/m 1977, toegepast op periode 1971 t/m 1974. De andere methoden betreffen de periode 1971 t/m 1975.

De verschillen tussen de methoden zijn in dit opzicht niet erg groot; geen enkele methode is dus uitgesproken beter dan de andere; alleen is de fout in de schatting volgens de methode RM het grootst in vrijwel alle maanden en schijnt methode RE relatief de beste te zijn, op de voet gevolgd door methode RD. Dit duidt erop, dat rekening moet worden gehouden met de verandering van de gemiddelde zonshoogte binnen het tijdvak van een maand.

De vrij omslachtige methode van De Boer is iets beter dan de methoden RM en RR en in de zomermaanden juni en juli nauwkeuriger dan de andere methoden, waarschijnlijk omdat in deze zomermaanden de bewolgingsgraad van uur tot uur meer varieert dan in andere waarden.

De methode RR is ietwat superieur aan de methode RM. Dit zou toegeschreven kunnen worden aan een betere schatting van de lagere waarden van de globale straling, vooral bij bedekte hemel. Maar de methode RR onderschat  $G_0$ .

Alvorens een bepaalde methode aan te bevelen, zal moeten worden nagegaan of er nog verbeteringen mogelijk zijn, waarbij de methode nog eenvoudig toepasbaar blijft. Dit laatste is niet mogelijk bij de methoden RE en DB; deze methoden worden daarom niet nader beschouwd.

De methode RM zou in twee opzichten verbeterd kunnen worden. Ten eerste zou, zoals reeds eerder is opgemerkt, de globale straling voor  $S = 0$  apart geschat kunnen worden van de globale straling voor  $S > 0$ . D.w.z. indien  $S = 0$ , dan wordt de globale straling geschat als  $G' = \bar{G}(S = 0)$

en indien  $S > 0$  is, dan wordt de globale straling geschat m.b.v. een regressievergelijking die verkregen is uit metingen bij  $S > 0$ . Zie tabel 10. De standaardfout  $\sqrt{\sum(G' - G)^2/N}$  in de periode 1971 t/m 1975 wordt dan

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	
6,6	12,8	18,4	20,5	23,0	23,5	22,5	21,0	16,6	15,8	8,0	4,8	W/m <sup>2</sup>

Dit betekent dat betere schattingen worden verkregen t.o.v. de methode RM.

Ten tweede zou rekening gehouden kunnen worden met de variatie van  $G_0$  binnen de maand. De methode RD doet dit reeds enigermate. Voeren we nu de splitsing  $S = 0$  en  $S > 0$  in bij de methode RD, dan is het resultaat zoals in tabel 11 is weergegeven.

De standaardfout van de schatting, gebaseerd op de periode 1971 t/m 1975, is dan als volgt:

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	
5,6	9,6	14,4	16,2	19,9	22,6	21,1	17,5	13,3	11,2	6,1	4,7	W/m <sup>2</sup>

Voor alle maanden is nu een reductie in de standaardfout verkregen.

T.o.v. de methode RM bedraagt deze reductie 12 à 30%. Van alle tot nu toe beschouwde methoden moet deze als de beste worden beschouwd.

Samenvattende zijn er drie belangrijke punten aangaande de relatie globale straling - zonneshijnduur, die hier een aparte vermelding verdienen:

- (1) Het verband tussen  $G$  en  $S$  is op zichzelf niet erg sterk, omdat  $S$  een vrije slechte maat is voor  $G$ . Een nauwkeurige schatting van  $G$  uit  $S$  is dus niet mogelijk. Door middel van kunstgrepen is slechts een kleine verbetering te bereiken.
- (2) De variatie in maximum zonshoogte in het jaar moet in aanmerking worden genomen. D.w.z. dat de constanten  $a_0$  en  $a_1$  ongeveer sinusvormig over het jaar variëren, of  $G_0$  en  $\alpha$ .
- (3) De schatting van de globale straling op sombere dagen ( $S = 0$ ) moet op een andere wijze gebeuren dan voor dagen met  $S > 0$ .

## 2.6 Aanbevolen methode voor de schatting van de dagintensiteit van de globale straling uit de relatieve zonneshijnduur

Op grond van het voorgaande zou aanbevolen kunnen worden de globale straling te schatten met behulp van de gegevens in tabel 11. Echter moet gevreesd worden dat deze berusten op een te kleine steekproef

(vooral geldt dit voor  $\bar{G}$  bij  $S = 0$  in de periode mei t/m september) waardoor zij buiten de beschouwde periode 1971 t/m 1975 misschien slechte resultaten bij toepassing zullen geven. Bovendien moet men dus een tabel met  $36 \times 3 = 108$  constanten bij de hand hebben.

De eenvoudigste methode met inachtnaam van deze overwegingen is de volgende. Uitgaande van de in tabel 10 opgegeven waarden worden de maandelijkse waarden van  $\bar{G}$  bij  $S = 0$  (noem deze  $G_c$ ), van  $a_0$  en van  $a_1$  benaderd met een sinusformule. Het resultaat is dan:

$$\left. \begin{aligned} G_c &= 42,0 + 32,6 \sin(10t - 85,68^\circ) && \text{voor } S = 0, \\ a_0 &= 65,5 + 48,7 \sin(10t - 84,74^\circ) \\ a_1 &= 137,0 + 102,1 \sin(10t - 83,77^\circ) \end{aligned} \right\} \text{voor } S > 0.$$

Door  $t = 1, 2, \dots, 36$  te stellen kan men voor elke decade in het jaar de 3 constanten berekenen.

Bijvoorbeeld: Men moet de globale straling schatten op 15 januari als gegeven is dat  $S = 0,43$ . Dan ( $t = 2$ ):

$$\begin{aligned} a_0 &= 65,5 + 48,7 \sin(-64,74^\circ) = 21,5 && (23,6 \text{ in tabel 11}) \\ a_1 &= 137,0 + 102,1 \sin(-63,77^\circ) = 45,4 && (36,5 \text{ in tabel 11}) \\ \text{en } G &= 21,5 + 45,4 \times 0,43 = 41,0. \end{aligned}$$

Toegepast op de periode 1971 t/m 1975 per decade te De Bilt bedraagt de standaardfout  $\sqrt{\sum(G' - G)^2/N}$  van de schatting volgens deze methode per maand:

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
6,0	9,9	15,6	16,9	21,0	24,0	21,5	18,3	13,8	11,6	6,2	4,8

Hieruit blijkt dat deze methode nog relatief zeer goede resultaten geeft. In de praktijk zal men, afhankelijk van waaraan men voor de toepassing de voorkeur geeft, de formules kunnen gebruiken, of een tabel met  $G_c$ -,  $a_0$ - en  $a_1$ -waarden gebaseerd op de formules.

### 3. Schatting van de globale stralingsdagintensiteit uit de relatieve zonneshijnduur op de vijf hoofdstations

Behalve te De Bilt zijn ook op de andere hoofdstations, namelijk De Kooy, Eelde, Vlissingen en Beek (Zuid-Limburg) gegevens beschikbaar van de globale straling en de zonneshijnduur vanaf 1965, zodat ook voor deze stations een relatie tussen deze grootheden kan worden afgeleid.

De resultaten van de correlatie- en regressieberekeningen per decade voor de vijf hoofdstations zijn verzameld in de tabellen 12 t/m 16, waarbij

dus ook weer (evenals in tabel 11) onderscheid is gemaakt tussen dagen met  $S = 0$  en  $S > 0$ .

De stralingswaarden zijn nu uitgedrukt ten opzichte van de "World Radiometric Reference" (WRR 1981) en dus 2,2% hoger dan ten opzichte van de IPS 1956.

De benaderingsformules voor de constanten zijn als volgt (hoeken in graden,  $t = 1, 2, \dots, 36$  is het decadenummer):

De Kooy ( $52,9^\circ$  N,  $4,8^\circ$  E)

$$\left. \begin{aligned} G_c &= 46,4 + 37,3 \sin(10t - 79,59^\circ) && \text{voor } S = 0 \\ a_0 &= 73,1 + 56,0 \sin(10t - 82,63^\circ) \\ a_1 &= 140,4 + 106,8 \sin(10t - 83,77^\circ) \end{aligned} \right\} \text{voor } S > 0$$

Vlissingen ( $51,5^\circ$  N,  $3,6^\circ$  E)

$$\left. \begin{aligned} G_c &= 47,2 + 34,5 \sin(10t - 82,59^\circ) && \text{voor } S = 0 \\ a_0 &= 72,2 + 52,5 \sin(10t - 83,89^\circ) \\ a_1 &= 144,3 + 101,9 \sin(10t - 85,23^\circ) \end{aligned} \right\} \text{voor } S > 0$$

De Bilt ( $52,1^\circ$  N,  $5,2^\circ$  E)

$$\left. \begin{aligned} G_c &= 43,0 + 33,3 \sin(10t - 86,04^\circ) && \text{voor } S = 0 \\ a_0 &= 65,1 + 47,0 \sin(10t - 86,47^\circ) \\ a_1 &= 142,0 + 107,6 \sin(10t - 82,29^\circ) \end{aligned} \right\} \text{voor } S > 0$$

Eelde ( $53,1^\circ$  N,  $6,6^\circ$  E)

$$\left. \begin{aligned} G_c &= 45,0 + 32,9 \sin(10t - 84,79^\circ) && \text{voor } S = 0 \\ a_0 &= 70,7 + 52,1 \sin(10t - 85,57^\circ) \\ a_1 &= 137,5 + 110,1 \sin(10t - 83,65^\circ) \end{aligned} \right\} \text{voor } S > 0$$

Beek ( $50,9^\circ$  N,  $5,8^\circ$  E)

$$\left. \begin{aligned} G_c &= 44,3 + 31,8 \sin(10t - 88,19^\circ) && \text{voor } S = 0 \\ a_0 &= 69,9 + 49,3 \sin(10t - 86,59^\circ) \\ a_1 &= 143,1 + 103,3 \sin(10t - 80,66^\circ) \end{aligned} \right\} \text{voor } S > 0$$

De dagintensiteit van de globale straling wordt dus geschat als

$$\begin{aligned} G' &= G_c && \text{als } S = 0 \\ G' &= a_0 + a_1 \cdot S && \text{als } S > 0 \text{ is.} \end{aligned}$$

Toepassing van de regressieconstanten te De Bilt uit tabel 14 geeft per maand voor de periode 1965 t/m 1977 de volgende standaardfouten:

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
6,0	9,6	13,5	18,0	21,4	23,9	20,8	18,4	14,1	10,4	7,3	5,3

Indien (benaderde) regressieconstanten, berekend uit de sinusformules worden gebruikt bedragen de standaardfouten:

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
6,1	9,5	13,8	18,1	21,7	24,2	21,1	18,5	14,2	10,5	9,3	5,6

Hieruit blijkt dat de sinusformule zeer wel bruikbaar is.

In tabel 17 zijn voor de 5 hoofdstations voor elke decade de waarden van  $G_c$ ,  $a_0$  and  $a_1$  vermeld, berekend uit de bovengegeven sinusformules, benevens het gemiddelde over de 5 hoofdstations.

Wil men nu voor een willekeurige plaats in Nederland bij een gegeven relatieve zonneshijnduur de globale straling schatten, dan zal men de voor die plaats aan te nemen waarde van  $G_c$ ,  $a_0$  en  $a_1$  door middel van (moeizame) interpolatie kunnen afleiden.

Men kan zich echter ook afvragen of toepassing van de gemiddelde constanten, zoals opgegeven in tabel 17 misschien geoorloofd zou zijn.

Bij toepassing van deze gemiddeld constanten blijkt de standaardfout te De Bilt, per maand, over de periode 1965 t/m 1977 te bedragen:

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
6,2	9,7	13,9	18,3	21,7	24,1	21,2	18,5	14,2	10,6	7,3	5,4

Deze blijken slechts weinig groter te zijn dan bij toepassing van de exact berekende constanten uit tabel 14.

Hieruit zou zijn te concluderen dat met vrij goede benadering de gemiddelde constanten uit tabel 17 landelijk toegepast kunnen worden.

Deze constanten zijn weer met grote getrouwheid te berekenen uit de volgende sinusformules:

$$G_c = 45,2 + 33,9 \sin (10 t - 84,12^\circ)$$

$$a_0 = 70,2 + 51,4 \sin (10 t - 84,95^\circ)$$

$$a_1 = 141,4 + 105,9 \sin (10 t - 83,10^\circ)$$

die door  $t = 1, 2, \dots, 36$  te stellen de decadewaarden opleveren.

Toetsing van de regressieformule met de (landelijke) constanten, berekend met deze drie sinusformules, op onafhankelijk materiaal, in dit geval de dagelijkse relatieve zonneshijnduur en de dagelijkse globale straling te De Bilt in 1978, gaf het volgende resultaat voor de standaardfout:

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
5,4	9,0	14,2	17,4	20,8	20,6	24,9	20,3	14,5	10,5	6,9	5,3

4. Schatting van de dagelijkse relatieve zonneschijnduur uit de dagintensiteit van de globale straling

De bepaling van de zonneschijnduur uit de registraties van de Campbell-Stokes zonneschijnautograaf is niet zo eenvoudig en vereist veel handwerk. Men zou daarom kunnen overwegen om de zonneschijnduur te bepalen uit de globale stralingsommen, aangezien tussen deze twee grootheden een hoge correlatie bestaat.

Fig. 1 geeft een beeld van de relatie tussen de dagelijkse relatieve zonneschijnduur (S) en de dagintensiteit van de globale straling (G) te De Bilt, ten opzichte van de IPS 1956, gebaseerd op de periode 1971 t/m 1975.

Het eenvoudigst is een lineair verband te onderstellen, dus

$$S = A + B.G.$$

Bepaalt men A en B voor de puntenwolk in fig. 1 met behulp van de methode der kleinste kwadraten dan krijgt men

$$S' = -22,9 + 0,570 G$$

met G in  $W/m^2$  en S' (de geschatte waarde van S) in %.

Deze relatie laat zich echter niet zonder meer toepassen, want voor waarden van G kleiner dan  $40,2 W/m^2$  krijgt men voor S' negatieve waarden en voor waarden van G groter dan  $215,6 W/m^2$  waarden van S' groter dan 100%.

Wij zijn dus genoodzaakt om de schatting nader te specificeren, dus:

Als	$G < 40,2 W/m^2$	dan S' = 0%
Als	$40,2 \leq G \leq 215,6 W/m^2$	dan S' = $-22,9 + 0,570 G$
Als	$G > 215,6 W/m^2$	dan S' = 100%

Noemen we de grenswaarden waar  $S = 0\%$  en  $S = 100\%$ , respectievelijk  $G_c$  en  $G_0$  (in het geval hierboven is dus  $G_c = 40,2$  en  $G_0 = 215,6$ ), dan kunnen we schrijven

$$G_c = -A/B \text{ en } G_0 = (100 - A)/B$$

Dus

$$B = 100/(G_0 - G_c) \text{ en } A = -100 G_c/(G_0 - G_c).$$

Dan

$$S' = \frac{G - G_c}{G_0 - G_c} \cdot 100\%$$

met dien verstande dat  $S' = 0$  voor  $G < G_c$  en  $S' = 100\%$  voor  $G > G_0$ .

Voor de vijf hoofdstations zijn op grond van de gegevens uit de periode 1965 t/m 1977 per decade de waarden van  $G_c$  en  $G_0$  bepaald ten opzichte van de WRR 1981 en vermeld in tabel 18.

De standaardfouten per decade liggen tussen 8 en 19% relatieve zonneshijnduur, maar voor de meeste decaden bedragen zij 9 à 11%.

Voor de decadewaarden van  $G_c$  en  $G_0$  zijn de volgende benaderingsformules afgeleid, waarin  $x = 10 t - 86^0$  en  $t = 1, 2, \dots, 36$  het decadenummer is:

	$G_c =$	$G_0 =$
De Kooy	$55,3 + 47,1 \sin x$	$234,9 + 166,7 \sin x$
Vlissingen	$55,6 + 44,5 \sin x$	$238,1 + 160,2 \sin x$
De Bilt	$51,2 + 42,2 \sin x$	$225,0 + 157,8 \sin x$
Eelde	$54,0 + 45,7 \sin x$	$231,4 + 163,7 \sin x$
Beek	$53,6 + 42,8 \sin x$	$235,9 + 156,8 \sin x$

Gemiddeld voor Nederland is

$$G_c = 54,0 + 44,5 \sin x$$

$$G_0 = 233,0 + 161,1 \sin x$$

## 5. Schatting van de maandelijks gemiddelde dagintensiteit van de globale straling uit de gemiddelde relatieve zonneshijnduur

### 5.1 De relatie in Nederland

In het geval dat dagelijkse gegevens van de zonneshijnduur niet beschikbaar zijn, maar dat wel het maandgemiddelde bekend is, zoals b.v. gepubliceerd in een klimatologisch bulletin, zou het nuttig kunnen zijn hieruit de globale straling te schatten. Gegeven is bijvoorbeeld de zonneshijnduur te De Bilt in januari 1941 en gevraagd wordt de maandsom van de globale straling in die maand (of de gemiddelde dagintensiteit). De schattingsformule voor dit geval zou dan moeten berusten op gegevens van vele maanden januari. Bovendien zouden de waarden van de zonneshijnduur uit die maanden slechts in een beperkt interval komen te liggen. Het eenvoudigst is een regressieformule, geldig voor alle maanden, waarbij de globale stralingssom en de zonneshijnduur genondimensionaliseerd zijn, zoals in de methode van Prescott (1940). De relatie is dan van de vorm

$$G/Q_A = a + b n/N$$

waar  $G$  is de maandgemiddelde dagintensiteit van de globale straling,

$Q_A$  is de gemiddelde maandelijks dagintensiteit van de aan de rand van de atmosfeer invallende straling,

$n$  is de maandsom van de zonneshijnduur, en

$N$  is de maximaal mogelijke duur van de zonneshijn.

$a$  en  $b$  zijn de regressieconstanten.



In fig. 2 zijn voor De Bilt tegen elkaar uitgezet de maandelijkse waarden van  $G/Q_A$  en  $n/N$  uit de periode 1971 t/m 1975. De correlatiecoëfficiënt bedraagt  $r = 0,981$  en de rechte lijn, gevonden met behulp van de methode der kleinste kwadraten, heeft de vergelijking

$$G/Q_A = 0,173 + 0,628 n/N$$

De wortel uit de restvariantie bedraagt 0,016.

Dit resultaat is acceptabel en daarom is voor alle 5 hoofdstations een dergelijke relatie afgeleid, gebaseerd op de periode 1965 t/m 1977. In tabel 19 is voor elk van de 5 hoofdstations o.a. opgegeven: de geografische breedte, het gemiddelde van de  $G/Q_A$ - en de  $n/N$ -waarden, de correlatiecoëfficiënt  $r$ , de regressieconstanten  $a$  en  $b$  benevens de standaardfout van de regressie, SE.

Tevens is de berekening uitgevoerd op alle maandgemiddelden van alle 5 hoofdstations tezamen; het resultaat is vermeld onderaan tabel 19. De bij de afleiding gebruikte waarden van  $Q_A$  (in  $W/m^2$ ) zijn vermeld in tabel 20. Deze zijn berekend voor zonschijnduur voor een zonneconstante van  $1367 W/m^2$ . De maximaal mogelijke zonschijnduur in uren is opgegeven in tabel 21.

De waarden van  $b$  in tabel 19 voor de 5 hoofdstations zijn behalve voor Beek, op het 5%-niveau niet significant verschillend van de waarde 0,610.

De waarden van  $a$  zijn voor De Kooy, De Bilt en Vlissingen wel significant verschillend van de waarde 0,200.

Strikt genomen hebben de regressieconstanten dus slechts lokale betekenis.

Zou men voor een willekeurige plaats in Nederland de globale stralingsom in een bepaalde maand willen schatten op grond van de zonschijnduur, dan ligt het voor de hand om voor die plaats een waarde van  $a$  en  $b$  te gebruiken verkregen door interpolatie uit de bekende waarden op de 5 hoofdstations. Echter is dit niet zo'n eenvoudige zaak; welke  $a$ - en  $b$ -waarde zou men moeten gebruiken voor bijvoorbeeld Scheveningen? Door de weinig systematische verdeling van  $a$  en  $b$  over het land is interpolatie dubieus. Het meest praktisch zal zijn om voor het kustgebied te nemen

$$a = 0,21 \text{ en } b = 0,61$$

en voor het binnenland

$$a = 0,20 \text{ en } b = 0,60.$$

## 5.2 Vergelijking met elders verkregen relaties

Voor de vijf hoofdstations in Nederland zijn hier dus waarden verkregen van a tussen 0,18 en 0,21 en van b tussen 0,58 en 0,62.

Waarden van a en b zijn reeds voor vele plaatsen op de wereld berekend en het zou dus mogelijk moeten zijn deze waarden met elkaar te vergelijken. Echter blijkt daarbij dat dit niet eenvoudig is. Niet alleen zijn de metingen van de globale straling en van de zonneshijnduur met verscheidene typen instrumenten verricht, maar ook de definitie van  $G/Q_A$ , van  $Q_A$  en van  $n/N$  is vaak verschillend.

Zo kan  $Q_A$  ontleend zijn aan de Smithsonian Meteorological Tables, maar ook zelf berekend met behulp van nauwkeurige formules of benaderingsformules, met een zonneconstante van  $1,94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  of  $2,00 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ , etc.

De regressie-formule  $G/Q_A = a + b n/N$  kan voorts gebaseerd zijn op dagwaarden, 5 dagen-gemiddelden (pentadegemiddelden), 10 dagen-gemiddelden (decadegemiddelden), weekgemiddelden of maandgemiddelden. En dan kan dit gemiddelde berekend zijn als  $\overline{G/Q_A}$  of  $\overline{G}/\overline{Q_A}$  en  $\overline{n/N}$  of  $\overline{\overline{n/N}}$ , enz.

En zo zijn er nog meer verschillen die de uitkomsten slecht vergelijkbaar met elkaar maken.

Wij zullen ons beperken tot een greep uit die onderzoeken, die min of meer op dezelfde wijze zijn verricht als in dit rapport en die een periode van 4 jaren of meer omvatten. De resultaten zijn samengevat in tabel 22.

De waarden van a bewegen zich tussen 0,14 en 0,42, die van b tussen 0,30 en 0,68. Blijkbaar hebben deze constanten slechts locale betekenis.

Sommige resultaten in deze tabel lijken ons op grond van de ervaringen te De Bilt ronduit ongeloofwaardig, hetzij door de zeer lage waarde of zeer hoge waarde van a en b, hetzij door de lage waarde van de correlatiecoëfficiënt.

Baseert men de berekening op de 12 maanden van een enkel jaar te De Bilt in de periode 1965 t/m 1977 dan kan men voor a een waarde krijgen variërend van 0,16 tot 0,20 en voor b een waarde variërend van 0,57 tot 0,72.

Een indruk van de stabiliteit van de berekende coëfficiënten krijgt men uit het volgende tabelletje voor De Bilt:

Periode	a	b
1958 - 1964	0,17	0,62
1971 - 1975	0,17	0,62
1965 - 1977	0,18	0,61
1958 - 1977	0,18	0,61

Het lijkt er dus op dat de berekening, gebaseerd op de periode 1965 t/m 1977 voor de vijf hoofdstations representatief geacht mag worden voor een lange periode.

Het veel geciteerde resultaat van Penman (1948) voor Rothamsted:  $a = 0,18$  en  $b = 0,55$ , schijnt op de maanden maart t/m oktober te zijn gebaseerd (Black et al., 1954). De correlatiecoëfficiënt  $r = 0,79$  is opmerkelijk laag.

Ter vergelijking is voor De Bilt over de maanden maart t/m oktober 1965 t/m 1977 berekend:

$$a = 0,20, b = 0,56 \text{ en } r = 0,97.$$

Voor de berekening van de gemiddelde maandelijks verdamping in Nederland gebruikt Kramer (1957) door Penman medegedeelde waarden  $a = 0,20$  en  $b = 0,48$  die voor Zuid Engeland zouden gelden. De waarde van  $b$  (0,48) verschilt dus nogal veel met die te De Bilt (0,56).

Literatuur

- Angström, A., 1924, Solar and Terrestrial Radiation. Quart. J. Roy. Met. Soc., 50, 121-125.
- Angström, A., 1925, On radiation and climate. Geografiska Annaler, 7, 122-142.
- Angström, A., 1956, On the computation of global radiation from records of sunshine. Arkiv. f. Geofysik, 2, 471-479.
- Black, J.N., Bonython, C.W. and Prescott, J.A., 1954, Solar radiation and the duration of sunshine. Quart. J. Roy. Met. Soc., 80, 231-235.
- Boer, H.J. de, 1960, Berekening van de globale straling in Nederland met behulp van de relatieve zonneshijnduur. KNMI, De Bilt, W.R. 60-6.
- Boer, H.J. de, 1961, A calculation of global radiation in The Netherlands with the aid of the relative duration of sunshine. Arch. Met. Geoph. Biokl., B 10, 537-546.
- Davies, J.A., 1965, Estimation of insolation for West Africa. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 91, 359-363.
- Day, G.J., 1961, Distribution of total solar radiation on a horizontal surface over the British Isles and adjacent areas. Meteor. Mag., 90, 269-284.
- El-Sabban, A.F., 1976, On the estimation of global radiation from sunshine duration in Egypt. Meteor. Research Bull., Cairo, 8, 1-50.
- Gangopadhyaya, M., Datar, S.V. and George, C.J., 1970, On the global solar radiation climate and evapotranspiration estimates in India. Indian J. Met. Geoph., 21, 23-30.
- Glover, J. and McCullough, J.S.G., 1958, The empirical relation between solar radiation and hours of bright sunshine in the high-altitude tropics. Quart. J. Roy. Met. Soc., 84, 56-60.
- Hinzpeter, H., 1959, Vergleichende Prüfung von Formeln zur Berechnung von Globalstrahlungsummen. Arch. Met. Geoph. Biokl., B 9, 60-72.
- Holtslag, A.A.M. en Van Ulden, A.P., 1980, Estimates of incoming short-wave radiation and net radiation from standard meteorological data. KNMI, W.R. 80-6.
- Kramer, C., 1957, Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van Penman. KNMI, Meded. & Verhand. 70.
- Matzke, H., 1933, Beiträge zur Kenntnis der Globalstrahlung in Greifswald. Abh. Met. Hydr. D., DDR, Nr. 16.
- Penman, H.L., 1948, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, A 193, 120-145.

- Prescott, J.A., 1940, Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Trans. Roy. Soc. of S. Australia, 64, 114-118.
- Reesinck, J.J.M., 1940, Het verband tussen zonneshijnduur, bewolking en stralingsintensiteit in Nederland. Med. LHS Wageningen, dl 44, Verh. 5.
- Schönermark, E. von, Wüchold, H. en Freydank, E., 1973, Methodische Untersuchungen zur Berechnung der Globalstrahlung für das Gebiet der DDR. Zeitschr. f. Met., 23, 255-267.
- Vries, D.A. de, 1955, Solar radiation at Wageningen. Meded. Landbouwhogeschool Wageningen, 55, 277-304.
- Wales-Smith, B.G., 1980, Estimates of net radiation for evaporation calculations. Hydrol. Sci. Bull., 25, 237-242.

Tabel 1 : Regressie van de dagintensiteit van de globale straling in  $W/m^2$  (IPS 1956) op de dagelijkse relatieve zonneshijnduur te De Bilt, periode 1971 t/m 1975.

MAAND	Aantal waarden		Gem. glob. Str.		Gem. Relat. zon. duur		Correl. coëff.		Regr. Coëff.		Intercept		Standaard fout		$G_0$		$\alpha$
	N		$\bar{G}$		$\bar{S}$		R	$a_1$	$a_0$	SE		$G_0$					
januari	154		24,2		0,15		0,863	54,9	15,9	7,4		70,8		0,224			
februari	141		54,1		0,26		0,893	94,2	29,3	14,0		123,5		0,237			
maart	155		96,8		0,32		0,911	145,7	49,8	19,6		195,5		0,255			
april	149		145,1		0,36		0,942	211,1	69,3	23,3		280,4		0,247			
mei	155		192,4		0,40		0,943	240,4	95,5	24,9		336,3		0,285			
juni	147		215,9		0,42		0,939	256,4	107,3	25,8		363,7		0,295			
juli	155		191,6		0,39		0,945	247,3	96,0	24,7		343,3		0,280			
augustus	155		183,8		0,49		0,930	186,3	92,0	21,8		278,3		0,331			
september	150		123,5		0,39		0,925	160,1	60,8	17,1		220,9		0,275			
oktober	155		76,6		0,36		0,890	107,3	38,3	16,8		145,5		0,263			
november	150		32,3		0,20		0,887	69,0	18,4	8,7		87,4		0,211			
december	155		20,5		0,18		0,881	41,7	12,8	5,9		54,5		0,236			

Tabel 2 Regressie van de dagintensiteit van de globale straling in  $W/m^2$   
 op de dagelijkse relatieve zonneshijnduur te Wageningen, periode  
 1938 t/m 1953 (naar De Vries, 1955).

MAAND	N	$a_1$	$a_0$	SE	$G_0$	$\alpha$
januari	427	37,5	15,6	9,0	53,1	0,29
februari	391	78,4	26,2	13,8	104,5	0,25
maart	421	124,9	49,0	23,7	173,8	0,28
april	385	197,6	64,1	28,9	261,7	0,25
mei	428	229,3	86,5	29,4	315,7	0,27
juni	407	218,9	105,9	34,6	324,8	0,33
juli	447	213,7	99,7	30,9	313,3	0,32
augustus	480	167,1	87,4	30,4	254,5	0,34
september	445	145,3	56,9	21,9	202,2	0,28
oktober	441	90,7	35,6	17,1	126,4	0,28
november	426	49,9	18,1	10,4	67,9	0,27
december	458	31,4	12,8	7,2	44,2	0,29

Tabel 3 Regressie per dekade van de dagintensiteit van de globale straling in  $W/m^2$  op de dagelijkse relatieve zonneshijnduur te De Bilt, periode 1971 t/m 1975.

MAAND	DEKADE	N	$\bar{G}$	$\bar{s}$	R	$a_1$	$a_0$	SE	$G_0$	$\alpha$
jan.	1	50	19,7	0,13	0,84	43,5	14,1	6,6	57,6	0,24
	2	49	24,5	0,17	0,90	53,4	15,3	6,2	68,7	0,22
	3	55	27,8	0,15	0,92	68,4	17,7	6,5	86,1	0,21
febr.	1	50	43,6	0,24	0,91	74,0	25,8	9,4	99,8	0,26
	2	50	48,4	0,20	0,90	94,4	29,3	12,2	123,7	0,24
	3	41	73,8	0,37	0,93	100,7	37,0	12,8	137,7	0,27
mrt.	1	50	77,5	0,26	0,94	130,6	43,9	13,0	174,5	0,25
	2	50	89,4	0,31	0,91	132,9	47,9	18,4	180,8	0,27
	3	55	120,8	0,39	0,94	151,0	62,0	16,5	213,0	0,29
apr.	1	49	129,5	0,36	0,96	199,4	58,3	17,5	257,7	0,23
	2	50	139,5	0,33	0,95	211,9	69,4	21,9	281,3	0,25
	3	50	166,1	0,39	0,96	216,4	81,8	19,8	298,2	0,27
mei	1	50	172,2	0,38	0,93	211,8	92,1	23,4	303,9	0,30
	2	50	212,2	0,46	0,96	243,7	100,6	21,5	344,3	0,29
	3	55	192,6	0,37	0,96	257,4	97,2	21,6	354,6	0,27
juni	1	50	209,4	0,42	0,93	249,9	105,6	28,1	355,5	0,30
	2	48	221,8	0,45	0,94	258,8	106,1	25,6	364,9	0,29
	3	49	216,8	0,41	0,96	261,3	110,0	23,0	371,3	0,30
juli	1	50	218,6	0,47	0,96	260,9	95,8	25,6	356,7	0,27
	2	50	191,9	0,38	0,93	220,1	108,7	22,9	328,8	0,33
	3	55	166,8	0,32	0,95	240,3	90,5	22,7	330,8	0,27
aug.	1	50	194,6	0,49	0,95	209,8	91,9	18,4	301,7	0,31
	2	50	183,0	0,47	0,95	192,6	92,5	19,3	285,1	0,33
	3	55	174,5	0,52	0,94	166,3	88,9	17,8	255,2	0,35
sept.	1	50	139,9	0,42	0,96	165,4	70,5	13,5	235,9	0,30
	2	50	129,6	0,43	0,92	144,4	87,7	14,9	232,1	0,32
	3	50	100,9	0,33	0,95	151,2	51,4	13,0	202,6	0,25
okt.	1	50	99,5	0,47	0,95	121,8	42,0	12,5	163,8	0,26
	2	50	72,8	0,29	0,89	105,1	41,9	13,4	147,0	0,29
	3	55	59,8	0,31	0,92	80,7	35,0	10,9	115,7	0,30
nov.	1	50	38,0	0,20	0,93	80,0	21,8	8,2	101,8	0,21
	2	50	32,2	0,20	0,92	65,9	18,9	6,7	84,8	0,22
	3	50	26,7	0,20	0,91	59,1	14,8	6,4	73,9	0,20
dec.	1	50	21,2	0,15	0,84	45,7	14,2	6,8	59,9	0,24
	2	50	21,3	0,23	0,93	42,0	11,7	5,1	53,7	0,22
	3	55	19,1	0,17	0,89	39,7	12,3	5,4	52,0	0,24



Tabel 4 Regressie van de dagintensiteit van de globale straling in  $W/m^2$  op de wortel uit de dagelijkse relatieve zonneshijnduur te De Bilt, periode 1971 t/m 1975. Dus  $G = a + b \sqrt{S}$ .

MAAND	N	R	a	b	SE
januari	154	0,896	13,8	43,3	6,5
februari	141	0,908	21,5	84,0	13,1
maart	155	0,920	35,6	132,1	18,6
april	149	0,942	46,2	197,5	23,1
mei	155	0,943	58,1	239,3	24,8
juni	147	0,940	64,6	256,5	25,5
juli	155	0,951	51,5	253,1	23,4
augustus	155	0,930	43,2	215,1	21,8
september	150	0,923	29,9	163,8	17,4
oktober	155	0,899	24,8	102,8	16,1
november	150	0,903	14,8	54,3	8,1
december	155	0,917	10,2	36,0	5,0

Tabel 5  $G/Q_A = a + b S$ . Regressie van de dagintensiteit van de globale straling, G, als proportie van de stralingsintensiteit op een horizontaal vlak aan de rand van de atmosfeer,  $Q_A$ , op de dagelijkse relatieve zonneshijnduur te De Bilt, periode 1971 t/m 1975.

Maand	Gemiddelde $\overline{G/Q_A}$	Correl. coëff. R	Const. term a	regr. coëff. b	stand. fout SE
Jan.	0,257	0,90	0,169	0,586	0,068
Febr.	0,339	0,92	0,193	0,555	0,071
Maart	0,376	0,93	0,203	0,538	0,065
April	0,400	0,96	0,193	0,575	0,054
Mei	0,433	0,95	0,215	0,541	0,051
Juni	0,447	0,94	0,223	0,531	0,054
Juli	0,413	0,95	0,210	0,524	0,052
Augustus	0,468	0,95	0,233	0,481	0,046
September	0,419	0,95	0,214	0,523	0,048
Oktober	0,398	0,93	0,215	0,513	0,061
November	0,289	0,92	0,165	0,613	0,064
December	0,268	0,89	0,167	0,553	0,075
Jaar	0,376	0,94	0,193	0,556	0,061

Tabel 6 Berekende  $G_0$ -waarden in  $Wm^{-2}$  te De Bilt gemiddeld over de jaren 1954 t/m 1958 (naar De Boer, 1960, 1961)

MPT 5° OL Tijdvak	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
4-5					143,0	96,5	109,3					
5-6				122,1	167,4	186,0	158,1	104,7				
6-7			145,4	195,4	286,0	319,8	286,0	203,5	173,3			
7-8		67,4	186,0	322,1	424,4	426,7	412,8	332,6	246,5	200,0	165,1	
8-9	61,6	131,4	290,7	460,5	547,7	573,3	539,5	461,6	360,5	273,3	144,2	76,7
9-10	134,9	251,2	390,7	561,6	652,3	672,1	629,1	564,0	458,1	344,2	218,6	126,7
10-11	220,9	337,2	475,6	640,7	709,3	738,4	667,4	624,4	527,9	414,0	275,6	187,2
11-12	265,1	400,0	532,6	664,0	747,7	755,8	703,5	647,7	565,1	434,9	284,9	219,8
12-13	272,1	397,7	524,4	660,5	753,5	752,3	715,1	651,2	550,0	498,1	298,8	219,8
13-14	238,4	373,3	488,4	636,1	710,5	724,4	688,4	615,1	498,8	380,2	225,6	172,1
14-15	181,4	291,9	415,1	564,0	629,1	658,1	627,9	554,7	441,9	301,2	146,5	103,5
15-16	115,1	214,0	312,8	457,0	531,4	568,6	541,9	454,7	334,9	190,7	62,8	36,0
16-17		182,6	198,8	323,3	404,7	451,2	425,6	332,6	209,3	102,3		
17-18			160,5	173,3	260,5	303,5	282,6	196,5	122,1			
18-19				73,3	131,4	160,5	144,2	109,3				
19-20					66,3	69,8	76,7	64,0				
Daggem.	62,1	110,3	171,7	243,9	298,5	310,7	292,0	246,5	187,0	127,0	75,9	47,6

Tabel 7 Berekende  $\alpha$ -waarden te De Bilt gemiddeld over de jaren 1954 t/m 1958.

MPT 5° OL Tijdvak	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
4-5					0.14	0.28	0.16					
5-6				0.15	0.33	0.35	0.31	0.21				
6-7			0.10	0.30	0.36	0.34	0.32	0.37	0.24			
7-8		0.14	0.31	0.32	0.35	0.34	0.32	0.36	0.36	0.20	0.05	
8-9	0.19	0.36	0.35	0.34	0.36	0.37	0.31	0.34	0.36	0.28	0.25	0.15
9-10	0.27	0.34	0.35	0.34	0.35	0.34	0.32	0.37	0.34	0.34	0.33	0.25
10-11	0.24	0.33	0.36	0.32	0.34	0.34	0.33	0.37	0.31	0.31	0.32	0.28
11-12	0.26	0.34	0.35	0.34	0.36	0.36	0.35	0.40	0.32	0.32	0.35	0.29
12-13	0.26	0.33	0.35	0.33	0.32	0.34	0.33	0.37	0.30	0.32	0.32	0.27
13-14	0.24	0.32	0.36	0.32	0.32	0.34	0.35	0.35	0.32	0.29	0.32	0.27
14-15	0.22	0.33	0.35	0.31	0.34	0.35	0.33	0.33	0.30	0.27	0.31	0.26
15-16	0.18	0.30	0.35	0.33	0.35	0.32	0.29	0.36	0.31	0.26	0.28	0.18
16-17		0.16	0.34	0.32	0.35	0.31	0.31	0.35	0.31	0.15		
17-18			0.18	0.34	0.33	0.30	0.35	0.36	0.22			
18-19				0.27	0.33	0.33	0.41	0.27				
19-20					0.17	0.30	0.24	0.05				
gew. gemidd.	0.24	0.31	0.33	0.32	0.34	0.34	0.32	0.35	0.31	0.29	0.29	0.26

Tabel 8 Berekende  $G_0$ -waarden in de  $Wm^{-2}$  te De Bilt in de periode 1971 t/m 1977

GMT UURVAK	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
4-5					92,6	96,4	80,1					
5-6				118,3	189,8	213,5	187,0	11,6				
6-7			112,2	231,4	336,2	361,2	334,0	236,0	172,2			
7-8		90,2	119,3	373,7	478,8	500,2	479,4	385,1	291,4	182,4		
8-9	87,9	193,4	318,1	506,1	602,3	626,3	604,2	492,0	405,0	281,1	154,6	79,9
9-10	169,2	284,1	437,2	612,0	706,7	723,5	696,6	615,4	506,5	381,7	238,0	151,8
10-11	236,1	366,9	513,8	669,7	762,2	787,9	760,7	681,0	570,1	428,3	287,2	280,4
11-12	263,3	394,1	539,7	702,1	782,4	807,0	785,4	712,8	595,9	452,9	294,6	228,9
12-13	267,2	389,0	527,6	684,8	765,0	788,3	758,9	706,1	567,4	421,6	277,6	212,5
13-14	219,5	347,9	484,3	629,6	711,5	735,9	718,6	644,5	517,3	364,0	223,4	154,5
14-15	160,2	266,9	401,2	539,1	622,0	652,3	646,2	563,6	424,7	256,7	139,7	79,5
15-16		181,5	276,2	409,2	499,7	544,8	537,2	443,1	307,4	148,5	54,7	
16-17			177,7	278,7	358,9	415,6	396,8	300,9	188,8	72,0		
17-18				151,7	210,3	267,9	251,6	160,6	104,5			
18-19					95,4	131,4	125,5	83,3				
19-20						( 52,7)						
Daggem.	58,5	104,8	166,1	246,1	300,6	321,0	306,8	255,7	193,8	124,6	69,6	46,5

Tabel 9 Berekende  $\alpha$ -waarden te De Bilt in de periode 1971 t/m 1977

GMT UURVAK	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
4-5					0,25	0,40	0,31					
5-6				0,25	0,33	0,38	0,34	0,35				
6-7			0,19	0,30	0,33	0,36	0,31	0,37	0,32			
7-8		0,17	0,31	0,30	0,31	0,36	0,33	0,37	0,34	0,30		
8-9	0,23	0,27	0,30	0,29	0,30	0,33	0,32	0,36	0,37	0,35	0,29	0,25
9-10	0,26	0,31	0,32	0,30	0,30	0,31	0,31	0,36	0,35	0,36	0,28	0,29
10-11	0,27	0,30	0,31	0,29	0,31	0,32	0,31	0,35	0,32	0,34	0,30	0,29
11-12	0,27	0,29	0,33	0,29	0,33	0,33	0,32	0,34	0,33	0,32	0,29	0,29
12-13	0,27	0,31	0,33	0,29	0,32	0,33	0,32	0,32	0,34	0,30	0,26	0,28
13-14	0,27	0,29	0,31	0,30	0,32	0,34	0,30	0,33	0,31	0,28	0,25	0,27
14-15	0,23	0,30	0,32	0,29	0,31	0,34	0,31	0,33	0,30	0,30	0,25	0,28
15-16		0,25	0,34	0,30	0,31	0,32	0,29	0,34	0,30	0,28	0,18	
16-17			0,28	0,30	0,33	0,29	0,37	0,37	0,30	0,16		
17-18				0,28	0,38	0,32	0,35	0,41	0,16			
18-19					0,34	0,39	0,39	0,24				
19-20					(0,31)							
gewogen gemiddelde	0,26	0,29	0,31	0,29	0,32	0,33	0,32	0,35	0,32	0,31	0,27	0,28

Tabel 10 Regressie van de dagintensiteit van de globale straling in  $W/m^2$  op de dagelijkse relatieve zonneshijnduur (S) voor dagen met  $S > 0$  te De Bilt, 1971 t/m 1975.

MAAND	S = 0			S > 0			S ≥ 0	
	N	$\bar{G}$	SE	N	R	$a_1$	$a_0$	SE
JAN	82	13,5	5,9	72	0,804	40,4	23,3	7,3
FEB	43	22,3	13,1	98	0,875	79,9	37,8	12,6
MRT	35	39,8	19,6	120	0,891	129,5	59,4	18,0
APR	26	49,8	17,5	123	0,931	189,1	83,1	21,2
MEI	17	72,9	19,6	138	0,933	223,2	106,5	23,4
JUNI	13	78,1	24,0	134	0,930	235,7	119,8	23,5
JULI	14	66,1	18,7	141	0,940	230,4	106,2	22,8
AUG	5	62,2	16,5	150	0,925	180,1	96,2	21,1
SEP	9	46,1	18,7	141	0,918	153,8	64,3	16,5
OKT	28	27,8	10,6	127	0,848	94,6	46,1	16,7
NOV	61	15,4	6,4	89	0,816	55,4	25,0	8,9
DEC	69	9,8	5,0	86	0,884	31,5	18,6	4,7

Tabel 11 De Bilt, 1971 t/m 1975. Regressie per decade van de globale straling (dagintensiteit in  $W/m^2$ , IPS 1956) op de relatieve zonneshijnduur (S), gesplitst naar  $S = 0$  en  $S > 0$ .

MAAND	DEKADE	S = 0		N	S <sub>G</sub>	N	R	S > 0		SE	S ≥ 0
		N	$\bar{G}$					a <sub>1</sub>	a <sub>0</sub>		
JAN	1	31	11,8	19	5,2	0,824	26,7	23,5	5,0	5,1	
	2	27	13,6	22	5,9	0,862	36,9	23,6	4,7	5,4	
	3	24	15,6	31	6,0	0,913	60,4	21,4	6,1	6,1	
FEB	4	16	18,8	34	7,8	0,922	58,4	34,6	6,7	7,1	
	5	18	21,5	32	12,5	0,936	75,6	39,5	7,7	9,7	
	6	9	30,0	32	17,8	0,941	89,5	44,3	9,4	11,8	
MRT	7	13	35,1	37	10,1	0,930	113,9	52,8	11,4	11,1	
	8	13	36,5	37	22,4	0,922	111,3	61,0	13,1	16,0	
	9	9	51,7	46	20,7	0,934	137,8	70,2	14,1	15,4	
APR	10	9	50,0	40	12,8	0,951	189,2	64,8	17,4	16,7	
	11	11	46,5	39	17,7	0,953	173,6	92,1	14,8	15,5	
	12	6	55,6	44	21,2	0,969	199,3	93,0	15,5	16,3	
MEI	13	7	72,9	43	18,6	0,917	191,5	104,2	21,7	21,3	
	14	4	68,2	46	24,9	0,959	224,3	113,0	17,7	18,4	
	15	6	75,9	49	15,6	0,957	243,6	105,6	20,3	19,8	
JUNI	16	5	82,1	45	15,6	0,910	231,9	116,4	27,3	26,4	
	17	3	47,5	45	6,7	0,941	226,2	125,5	19,4	18,9	
	18	5	92,4	44	21,1	0,947	247,8	118,2	21,9	21,8	
JULI	19	5	62,0	45	24,4	0,953	236,1	112,5	21,4	21,7	
	20	2	68,3	48	5,6	0,927	209,7	114,5	21,4	21,0	
	21	7	68,5	48	15,6	0,939	222,9	100,0	21,1	20,5	
AUG	22	1	39,6	49	-	0,953	201,8	97,0	16,9	(16,9)	
	23	2	69,2	48	17,9	0,952	187,5	96,0	18,5	18,5	
	24	2	66,7	53	6,1	0,934	160,7	92,7	17,3	17,0	
SEP	25	2	51,5	48	10,3	0,956	160,4	73,6	12,8	12,7	
	26	1	61,3	49	-	0,916	143,5	68,3	14,9	(14,9)	
	27	6	41,7	44	20,5	0,957	142,8	55,8	10,5	12,1	
OKT	28	6	27,5	44	11,1	0,947	108,7	51,0	10,5	10,6	
	29	9	28,8	41	12,7	0,816	80,6	52,6	13,3	13,2	
	30	13	27,3	42	8,4	0,899	69,3	41,9	9,8	9,5	
NOV	31	22	18,2	28	6,3	0,895	62,2	30,9	7,3	6,9	
	32	17	16,1	33	6,8	0,915	57,3	22,9	5,8	6,2	
	33	22	12,1	28	4,5	0,845	41,3	23,4	5,5	5,1	
DEC	34	21	10,1	29	5,5	0,849	32,7	20,7	5,0	5,2	
	35	22	9,2	28	4,4	0,930	32,4	17,5	3,7	4,0	
	36	26	10,1	29	5,1	0,909	32,1	16,8	4,3	4,7	



Tabel 12 De Kooy, 1965 t/m 1977. Regressie per decade van de globale straling (dagintensiteit in  $W/m^2$ , WRR 1981) op de relatieve zonneshijnduur (S) gesplitst naar  $S = 0$  en  $S > 0$ .

MAAND	DEKADE	S = 0			S > 0			SE	
		N	$\bar{G}$	$S_G$	N	R	$a_1$		
JAN	1	63	13,4	5,4	67	0,815	33,7	21,6	5,5
	2	59	14,5	6,4	71	0,815	39,4	22,7	5,6
	3	74	16,7	7,3	69	0,901	54,9	26,1	7,2
FEB	4	42	21,3	7,3	88	0,875	57,5	37,0	7,9
	5	47	25,0	11,8	83	0,896	80,4	40,4	10,0
	6	33	35,5	13,0	74	0,931	85,7	53,3	9,5
MRT	7	23	38,4	13,6	107	0,925	108,1	60,3	12,1
	8	39	45,0	14,9	91	0,825	102,0	81,9	18,9
	9	19	52,0	19,7	124	0,914	142,8	81,7	16,4
APR	10	19	54,1	23,5	111	0,928	177,2	84,9	18,7
	11	26	61,5	21,8	104	0,936	189,6	98,2	18,4
	12	13	68,7	19,5	117	0,946	206,1	105,9	19,9
MEI	13	16	76,2	26,5	114	0,906	207,4	122,0	23,7
	14	9	67,9	15,4	121	0,932	224,7	124,8	23,1
	15	13	85,7	21,0	130	0,942	242,1	127,4	23,7
JUNI	16	10	105,2	32,1	120	0,947	252,6	126,3	25,2
	17	13	90,7	19,3	117	0,943	239,6	136,1	22,9
	18	10	103,2	23,4	120	0,945	256,1	128,1	23,7
JULI	19	8	62,8	20,4	122	0,935	236,7	133,2	24,0
	20	8	82,3	18,2	122	0,930	234,0	125,0	23,9
	21	14	78,5	23,9	129	0,925	234,1	115,4	22,9
AUG	22	6	53,8	21,0	124	0,935	206,6	110,0	20,1
	23	7	59,3	27,5	123	0,921	189,8	106,9	22,6
	24	10	58,3	16,4	133	0,908	167,3	94,1	20,4
SEP	25	12	51,6	23,9	118	0,914	154,4	85,1	17,1
	26	9	42,8	15,7	121	0,940	154,2	71,7	14,7
	27	25	40,1	15,9	105	0,912	136,0	66,7	14,5
OKT	28	22	35,6	11,7	108	0,910	105,2	57,5	11,9
	29	23	33,3	11,3	107	0,917	88,4	50,2	10,0
	30	35	24,3	10,0	108	0,882	71,8	41,0	9,3
NOV	31	46	19,0	9,6	84	0,871	55,8	34,1	7,3
	32	43	15,6	7,1	87	0,902	53,5	25,0	6,2
	33	59	13,7	6,3	71	0,870	44,7	21,5	5,2
DEC	34	63	11,2	5,3	67	0,899	42,6	17,9	4,5
	35	63	11,8	5,2	67	0,820	35,4	17,3	5,4
	36	60	11,2	4,8	83	0,873	33,9	18,5	4,6

Tabel 13 Vlissingen, 1965 t/m 1977. Regressie per decade van de globale straling (dagintensiteit in  $W/m^2$ , WRR 1981) op de relatieve zomerschijnduur (S), gesplitst naar  $S = 0$  en  $S > 0$ .

MAAND	DECADE	S = 0			S > 0			SE	
		N	$\bar{G}$	$S_G$	N	R	$a_1$		
JAN	1	59	13,6	6,0	71	0,855	39,4	23,8	5,6
	2	56	17,6	8,1	74	0,911	52,1	22,2	5,5
	3	71	18,7	7,6	72	0,894	56,0	29,6	7,1
FEB	4	48	23,7	9,5	82	0,866	67,0	36,6	10,4
	5	44	24,7	10,3	86	0,892	84,9	42,7	10,6
	6	26	32,5	14,3	81	0,915	90,5	54,0	10,9
MRT	7	27	44,6	13,1	103	0,940	104,4	63,8	11,0
	8	34	43,2	17,6	96	0,921	131,5	66,2	14,7
	9	24	51,6	23,6	119	0,930	155,1	76,1	16,8
APR	10	19	61,8	22,2	111	0,937	172,5	82,0	17,7
	11	24	61,6	16,7	106	0,924	183,2	98,0	19,7
	12	21	67,3	22,4	109	0,946	202,0	102,0	19,9
MEI	13	8	71,4	18,5	122	0,925	210,3	112,0	22,4
	14	9	77,5	24,8	121	0,946	233,8	115,9	20,8
	15	11	86,7	27,2	132	0,916	228,5	128,0	26,6
JUNI	16	11	93,2	20,2	119	0,934	240,4	120,8	27,3
	17	13	79,2	32,2	117	0,938	243,0	129,2	24,9
	18	7	65,8	25,2	123	0,942	264,9	120,5	24,7
JULI	19	5	50,7	11,5	125	0,920	232,5	130,1	26,8
	20	10	88,0	27,1	120	0,929	248,6	117,5	24,6
	21	17	79,4	26,7	126	0,929	232,3	116,1	22,2
AUG	22	5	65,0	17,6	125	0,926	205,0	113,2	20,6
	23	8	65,3	25,6	122	0,930	199,8	101,3	21,3
	24	8	58,0	21,6	135	0,951	180,0	93,6	15,8
SEP	25	12	48,6	12,7	118	0,927	168,9	81,1	16,4
	26	14	51,4	19,2	116	0,934	150,0	75,9	15,2
	27	16	46,9	15,7	114	0,926	144,0	63,6	14,7
OKT	28	25	42,9	25,6	105	0,934	123,8	53,3	12,6
	29	22	35,7	13,9	108	0,914	99,3	51,0	11,0
	30	35	28,4	10,2	108	0,910	87,9	41,9	10,3
NOV	31	35	21,5	7,8	95	0,896	70,7	35,1	8,5
	32	51	18,3	8,4	79	0,900	64,0	27,9	7,4
	33	53	15,5	6,0	77	0,890	53,3	23,8	6,4
DEC	34	59	11,8	5,1	71	0,861	42,6	21,6	5,6
	35	68	11,8	5,0	62	0,879	37,6	21,1	4,6
	36	72	13,5	5,5	71	0,825	37,8	21,4	5,9

Tabel 14: De Bilt, 1965 t/m 1977. Regressie per decade van de globale straling (dagintensiteit in  $W/m^2$ , WRR, 1981) op de relatieve zonschijnduur (S), gesplitst naar  $S = 0$  en  $S > 0$ .

MAAND	DECADE	S = 0			R	S > 0			SE
		N	$\bar{G}$	$S_G$		$a_1$	$a_0$	N	
JAN	1	68	11,9	6,0	0,875	35,0	21,5	62	5,5
	2	62	13,7	6,6	0,862	47,5	20,8	68	5,9
	3	71	14,3	6,1	0,930	59,0	24,0	72	5,8
FEB	4	48	19,8	6,8	0,898	65,7	32,1	82	7,8
	5	47	25,1	12,5	0,919	77,5	39,9	83	8,8
	6	27	32,5	14,7	0,942	94,9	45,7	80	9,5
MRT	7	25	35,8	10,1	0,937	111,9	53,2	105	11,4
	8	31	35,2	16,0	0,923	119,5	61,5	99	13,3
	9	25	44,9	17,1	0,951	156,5	63,6	118	14,4
APR	10	17	47,5	13,0	0,945	179,3	72,4	113	17,3
	11	24	50,7	22,9	0,937	193,3	84,3	106	18,2
	12	15	58,3	18,7	0,958	206,0	90,9	115	17,9
MEI	13	16	63,1	23,0	0,935	205,9	103,7	114	20,2
	14	4	69,7	25,4	0,948	240,2	100,8	126	21,9
	15	13	82,7	26,4	0,953	244,7	111,5	130	21,1
JUNI	16	8	80,5	14,2	0,947	242,8	115,6	122	23,6
	17	10	74,5	26,5	0,931	238,9	121,8	120	24,7
	18	12	91,7	27,4	0,947	255,3	113,9	118	23,4
JULI	19	7	57,2	27,6	0,957	245,7	110,1	123	21,8
	20	5	69,8	19,8	0,942	244,7	104,4	125	21,9
	21	15	73,2	12,5	0,947	229,6	98,3	128	19,4
AUG	22	8	74,4	28,7	0,938	210,5	99,2	122	19,3
	23	7	51,7	17,2	0,946	194,8	94,7	123	19,1
	24	5	58,6	17,1	0,948	174,1	88,8	138	15,9
SEP	25	5	50,4	11,0	0,935	197,0	73,8	125	15,4
	26	10	51,4	22,5	0,933	139,5	73,7	120	13,6
	27	20	44,0	17,6	0,950	139,5	60,7	110	11,0
OKT	28	27	30,8	10,9	0,941	111,9	51,6	103	11,3
	29	20	31,1	12,6	0,903	87,1	50,0	110	10,6
	30	35	24,8	8,4	0,904	71,6	41,3	108	9,2
NOV	31	46	19,8	8,7	0,890	63,5	30,4	84	8,0
	32	51	15,8	7,3	0,912	51,5	25,6	79	6,2
	33	62	14,0	7,1	0,864	44,4	22,0	68	6,7
DEC	34	60	9,8	5,1	0,878	37,0	19,5	70	5,2
	35	67	10,3	5,2	0,875	32,3	19,3	63	4,6
	36	61	11,0	5,6	0,852	34,4	18,6	82	5,8

Tabel 15 Eelde, 1965 t/m 1977. Regressie per decade van de globale straling (dagintensiteit in  $W/m^2$ , WRR 1981) op de relatieve zonneshijnduur (S), gesplitst naar  $S = 0$  en  $S > 0$ .

MAAND	DECADE	S = 0		S > 0		SE		
		N	$\bar{G}$	N	R	$a_1$	$a_0$	SE
JAN	1	75	13,2	6,5	0,701	27,0	23,1	8,2
	2	73	15,5	7,2	0,857	40,4	19,9	5,5
	3	78	17,0	6,9	0,856	60,2	24,0	8,3
FEB	4	52	20,7	8,6	0,880	60,8	33,4	8,4
	5	51	27,4	11,0	0,840	77,9	43,2	11,8
	6	36	33,9	14,4	0,906	79,0	52,0	10,1
MRT	7	32	41,2	12,2	0,896	101,3	59,1	13,4
	8	34	41,2	16,7	0,900	117,1	68,1	14,3
	9	28	50,0	20,2	0,783	112,2	84,7	25,8
APR	10	26	52,2	15,3	0,925	172,1	81,0	17,9
	11	25	55,4	20,5	0,937	183,8	91,4	17,9
	12	11	56,6	15,3	0,930	212,6	96,0	22,0
MEI	13	19	71,2	26,3	0,941	229,2	102,1	21,8
	14	7	81,7	28,5	0,942	232,0	113,6	21,9
	15	12	83,0	28,0	0,950	251,0	114,8	23,7
JUNI	16	9	81,2	20,7	0,938	252,0	119,8	26,1
	17	13	80,0	30,0	0,926	235,3	134,2	24,8
	18	9	81,5	26,1	0,935	233,7	129,3	24,1
JULI	19	8	60,0	10,7	0,944	246,0	121,6	23,5
	20	10	71,2	23,0	0,929	243,0	114,8	24,4
	21	7	74,6	58,2	0,928	224,4	112,8	22,0
AUG	22	4	70,4	10,1	0,933	202,6	111,5	21,1
	23	6	39,4	16,2	0,953	186,1	105,1	17,9
	24	13	68,1	18,8	0,939	167,1	98,8	16,6
SEP	25	10	58,6	21,3	0,919	159,7	82,1	16,8
	26	9	59,8	22,2	0,927	143,1	75,1	14,4
	27	26	49,6	13,6	0,936	130,2	69,0	12,6
OKT	28	31	35,9	13,6	0,917	105,8	55,8	12,5
	29	36	37,0	11,5	0,899	82,4	51,8	9,8
	30	41	23,3	9,7	0,900	74,5	39,1	9,0
NOV	31	49	19,0	8,8	0,917	61,9	31,2	6,6
	32	55	16,5	7,3	0,878	54,5	24,7	7,1
	33	62	14,3	6,6	0,797	42,1	21,5	7,4
DEC	34	69	11,2	5,0	0,872	33,3	18,8	4,2
	35	74	11,3	5,1	0,663	30,6	19,5	7,8
	36	72	10,7	5,3	0,623	21,8	19,9	8,7

Tabel 16 Beek, 1965 t/m 1977. Regressie per decade van de globale straling (dagintensiteit in  $W/m^2$ , WRR 1981) op de relatieve zonneshijnduur (S), gesplitst naar  $S = 0$  en  $S > 0$ .

MAAND	DECADE	S = 0			R	S > 0			SE
		N	$\bar{G}$	$S_G$		$a_1$	$a_0$	N	
JAN	1	74	13,2	7,2	0,866	42,8	22,3	56	6,8
	2	58	14,9	9,3	0,819	44,7	26,9	72	8,0
	3	81	18,4	8,0	0,884	64,1	27,8	62	9,2
	4	53	21,3	10,2	0,869	62,4	38,3	77	9,8
	5	47	26,1	13,8	0,897	94,4	40,4	83	11,2
FEB	6	25	30,5	13,5	0,894	93,0	52,8	82	13,0
	7	28	42,1	14,6	0,896	118,0	59,0	102	15,3
	8	29	39,4	19,3	0,920	129,0	65,4	101	14,9
	9	29	48,9	24,3	0,957	170,6	65,6	114	15,4
	10	17	47,1	23,1	0,931	174,3	82,9	113	18,6
APR	11	15	44,8	18,2	0,921	196,8	86,7	115	21,4
	12	18	56,9	23,9	0,946	221,4	87,5	112	21,6
	13	19	66,9	28,0	0,941	224,6	101,4	111	21,1
	14	9	89,6	25,1	0,934	239,0	110,9	121	22,4
	15	9	63,7	17,3	0,949	242,1	117,1	134	20,8
JUNI	16	12	75,0	24,5	0,946	260,1	111,9	118	24,4
	17	13	74,1	21,7	0,951	241,7	124,5	117	20,3
	18	14	75,0	25,4	0,938	244,2	121,4	116	24,1
	19	7	75,1	19,8	0,940	230,6	124,8	123	24,1
	20	10	75,3	24,3	0,946	245,5	109,9	120	23,7
AUG	21	10	71,9	22,2	0,832	178,1	124,7	133	22,2
	22	6	57,3	28,4	0,949	200,9	190,9	124	32,1
	23	13	68,6	14,5	0,945	196,6	96,7	117	17,4
	24	7	57,1	25,1	0,945	173,6	94,6	136	17,5
	25	10	51,4	23,0	0,931	158,7	84,4	120	16,2
SEP	26	12	52,2	16,5	0,919	137,3	79,3	118	15,4
	27	19	49,2	18,8	0,931	143,7	62,2	111	15,3
	28	24	37,8	13,2	0,939	112,5	55,0	106	14,5
	29	20	35,3	14,4	0,939	96,1	48,7	110	12,0
	30	38	27,4	10,3	0,906	77,3	42,3	105	9,9
NOV	31	46	21,7	8,6	0,898	65,3	35,7	84	10,3
	32	62	17,7	7,7	0,837	59,7	28,3	68	8,9
	33	49	14,2	5,9	0,906	48,0	23,7	81	9,0
	34	71	12,6	6,6	0,830	39,2	22,1	59	5,8
	35	68	13,4	6,7	0,709	27,0	24,9	62	6,5
DEC	36	86	13,4	6,3	0,860	35,4	21,7	57	9,0

Tabel 17 Waarden van  $G_c$ ,  $a_0$  en  $a_1$  op de vijf hoofdstations, berekend uit de sinusformules, en de landelijke gemiddelden per decade.

DEC	$G_c$						$a_0$						$a_1$					
	DK	E	DB	VL	B	Gem.	DK	E	DB	VL	B	Gem.	DK	E	DB	VL	B	Gem.
1	11,4	13,2	10,7	14,2	13,2	12,6	19,6	20,3	19,4	21,7	22,0	20,5	37,9	31,9	39,4	45,8	45,6	40,1
2	14,2	15,2	12,6	16,6	14,7	14,6	23,3	23,3	22,1	24,9	24,7	23,6	44,7	38,8	46,7	51,8	53,0	47,0
3	18,0	18,1	15,4	19,8	17,3	17,7	28,4	27,7	26,0	29,7	28,8	28,1	54,3	48,9	56,8	60,6	63,2	56,7
4	22,6	21,8	19,0	23,8	20,5	21,6	35,2	33,5	31,0	35,8	34,1	33,9	66,5	61,5	69,5	71,9	75,7	69,1
5	28,0	26,2	23,4	28,6	24,6	26,2	42,9	40,4	37,2	42,8	40,6	40,8	81,0	76,4	84,4	85,5	90,3	83,6
6	33,9	31,2	28,4	33,9	29,2	31,4	51,5	48,2	44,2	50,9	47,8	48,5	97,4	93,3	101,2	100,9	106,6	99,8
7	40,2	36,6	33,8	39,7	34,3	36,9	60,8	56,7	51,8	59,6	55,8	56,9	115,0	111,5	119,1	117,5	124,0	117,4
8	46,7	42,2	39,6	45,7	39,8	42,9	70,5	65,6	59,8	68,6	64,3	65,7	133,4	130,4	137,7	135,0	141,9	135,7
9	53,1	47,9	45,4	51,7	45,3	48,6	80,2	74,7	68,0	77,8	72,9	74,7	152,0	149,6	156,4	152,8	159,8	154,1
10	59,4	53,6	51,1	57,5	50,8	54,5	89,8	83,7	76,1	86,8	81,4	83,5	169,7	168,4	174,7	170,3	177,3	172,2
11	65,3	59,0	56,5	63,2	56,1	60,0	98,8	92,3	83,9	95,3	89,5	92,0	187,6	186,3	192,0	187,0	193,7	189,4
12	70,6	64,0	61,6	68,2	61,0	65,1	107,1	100,2	91,1	103,1	97,0	99,6	203,6	202,7	207,8	202,5	208,6	205,0
13	75,1	68,4	66,1	72,7	65,4	69,5	114,3	107,2	97,5	110,0	103,7	106,6	217,6	217,1	221,6	216,1	221,5	218,7
14	78,8	71,9	70,0	76,3	69,2	73,3	120,3	113,1	102,9	115,8	109,5	112,3	229,2	229,1	232,9	227,5	232,0	230,2
15	81,6	74,8	73,0	79,1	72,3	76,1	124,8	117,7	107,2	120,2	114,0	116,8	238,1	238,3	241,5	236,5	239,8	238,8
16	83,2	76,8	75,0	80,9	74,4	78,1	127,8	120,9	110,2	123,2	117,1	119,8	244,2	244,5	247,1	242,6	244,7	244,6
17	83,7	77,8	76,1	81,8	75,7	79,0	129,0	122,6	111,8	124,6	118,9	121,4	247,0	247,3	249,5	245,8	246,4	247,2
18	83,1	77,8	76,2	81,5	76,0	78,9	128,6	122,6	112,0	124,4	119,1	121,3	246,6	246,8	248,6	245,9	245,1	246,6
19	81,4	76,8	75,3	80,2	75,3	77,8	126,5	121,2	110,8	122,6	117,8	119,8	242,9	243,0	244,5	242,8	240,6	242,8
20	78,6	74,7	73,5	77,9	73,8	75,7	122,8	118,1	108,2	119,4	115,1	116,7	236,2	236,1	237,2	236,8	233,1	235,9
21	74,8	71,8	70,6	74,6	71,2	72,7	117,6	113,7	104,2	114,6	111,0	112,2	226,6	226,1	227,1	228,0	223,0	226,2
22	70,2	68,2	67,0	70,6	68,0	68,8	111,0	107,9	99,2	108,5	105,7	106,5	214,3	213,4	214,4	216,7	210,4	213,8
23	64,8	63,8	62,6	65,8	63,9	64,2	103,2	101,1	93,0	101,5	99,2	99,6	199,8	198,5	199,5	203,1	195,8	199,3
24	58,9	58,8	57,6	60,5	59,3	59,0	94,6	93,2	86,1	93,4	92,0	91,9	183,4	181,6	182,7	187,7	179,6	183,0
25	52,6	53,3	52,2	54,8	54,2	53,5	85,3	84,7	78,4	84,7	84,0	83,4	165,9	163,4	164,8	171,1	162,2	165,5
26	46,1	47,7	46,5	48,7	48,7	47,6	75,6	75,8	70,4	75,7	75,5	74,6	147,5	144,5	146,2	153,6	144,3	147,2
27	39,7	42,0	40,7	42,7	43,2	41,7	65,9	66,7	62,2	66,5	66,9	65,7	128,9	125,3	127,5	135,8	126,3	128,8
28	33,4	36,4	35,0	36,9	37,7	35,9	56,3	57,7	54,1	57,5	58,5	56,8	110,6	106,5	109,3	118,3	108,8	110,7
29	27,5	31,0	29,5	31,3	32,4	30,4	47,3	49,2	46,3	49,1	50,3	48,4	93,2	88,6	91,9	101,6	92,5	93,5
30	22,2	26,0	24,4	26,3	27,5	25,2	39,0	41,3	39,1	41,2	42,8	40,7	77,3	72,3	76,1	86,2	77,5	77,9
31	17,7	21,6	19,9	21,8	23,1	20,8	31,9	34,2	32,7	34,3	36,1	33,8	63,3	57,8	62,3	72,6	64,7	64,2
32	14,0	18,0	16,0	18,1	19,3	17,1	25,9	28,3	27,3	28,5	30,4	28,1	51,6	45,8	51,0	61,1	54,2	52,7
33	11,2	15,1	13,1	15,3	16,2	14,2	21,4	23,7	23,0	24,1	25,9	23,6	42,7	36,6	42,4	52,1	46,4	44,0
34	9,6	13,2	11,0	13,5	14,1	12,3	18,4	20,5	20,0	21,2	22,7	20,5	36,7	30,5	36,8	46,0	41,5	38,3
35	9,1	12,2	9,9	12,7	12,8	11,3	17,2	18,8	18,4	19,7	21,0	19,0	33,8	27,6	34,4	42,8	39,8	35,7
36	9,7	12,2	9,8	13,0	12,5	11,4	17,6	18,8	18,2	19,9	20,7	19,0	34,2	28,1	35,4	42,7	41,1	36,3

Tabel 18 Waarden van  $G_c$  en  $G_0$  op de 5 hoofdstations t.b.v. de relatie  $S = 100 (G - G_0) / (G_0 - G_c)$ , gebaseerd op de periode 1965 t/m 1977, per decade.

DECADE	DE KOOY		VLISSINGEN		DE BILT		EELDE		BEEK	
	$G_c$	$G_0$	$G_c$	$G_0$	$G_c$	$G_0$	$G_c$	$G_0$	$G_c$	$G_0$
1	13,1	76,0	14,0	85,2	12,0	72,7	11,7	73,3	13,1	87,8
2	13,9	89,8	16,5	90,5	13,0	89,7	13,8	83,2	14,3	100,8
3	17,0	101,1	18,9	107,1	15,3	100,9	16,1	109,0	18,0	114,1
4	23,9	117,8	24,6	128,6	21,3	117,2	21,7	117,5	22,5	127,4
5	25,7	144,5	26,9	154,1	26,6	140,9	27,0	153,0	26,4	165,1
6	38,4	158,6	36,7	166,3	34,9	156,6	35,2	154,8	35,4	171,4
7	44,6	187,2	50,4	184,3	41,2	181,1	43,6	182,9	43,8	201,6
8	47,5	222,6	47,6	226,5	42,3	209,8	45,2	216,9	47,5	227,2
9	59,2	247,6	57,0	254,6	50,1	235,7	49,4	241,7	52,3	253,7
10	61,9	287,7	65,7	273,7	57,5	270,5	59,0	280,4	61,4	285,8
11	69,9	316,5	70,8	310,6	58,7	306,0	65,5	304,7	61,4	317,2
12	83,5	330,8	77,6	325,2	72,9	314,0	71,7	332,7	67,6	332,4
13	87,8	367,0	90,5	349,5	78,6	339,2	83,1	356,4	76,3	352,8
14	93,5	374,8	95,0	371,0	85,7	357,9	95,6	366,5	93,0	372,6
15	102,2	392,2	101,0	387,6	93,7	375,9	97,4	388,0	94,9	384,8
16	109,0	396,9	99,8	381,8	97,7	377,6	97,8	395,5	91,3	396,9
17	107,6	397,7	98,3	399,8	93,6	388,2	99,3	395,5	98,2	394,6
18	109,7	403,4	96,5	413,0	97,6	390,4	105,8	402,9	94,6	397,3
19	97,7	398,1	97,7	393,5	88,9	374,5	92,7	391,0	102,6	377,8
20	102,6	387,0	96,4	394,5	89,2	372,3	91,4	390,7	92,8	380,5
21	90,9	382,6	92,0	384,0	83,5	349,9	95,6	367,0	88,9	360,8
22	84,3	339,5	91,3	343,1	81,8	329,6	94,6	334,4	88,8	331,4
23	81,1	319,6	81,7	324,5	76,4	307,3	83,8	309,2	79,4	311,8
24	69,8	283,4	77,3	289,0	75,3	275,3	79,5	282,8	79,3	286,1
25	62,3	264,9	60,6	272,7	62,1	256,8	66,2	264,8	65,6	265,4
26	57,5	243,3	60,5	245,8	60,0	231,6	63,4	236,2	62,6	237,7
27	46,1	232,2	50,3	226,1	48,7	217,4	55,1	219,7	50,5	224,2
28	41,8	185,0	40,9	197,5	37,1	179,3	40,0	183,0	42,6	181,7
29	38,3	156,6	37,8	167,4	35,9	156,0	38,2	154,8	38,3	156,4
30	27,0	135,5	30,6	148,1	28,6	130,5	25,7	134,4	30,1	137,4
31	19,9	116,3	24,5	127,6	20,2	113,0	20,1	111,9	23,5	120,6
32	16,7	94,2	18,7	111,7	16,8	92,2	15,9	95,7	17,0	112,7
33	13,4	86,9	16,0	94,7	13,4	83,7	13,0	85,1	15,5	86,8
34	11,2	77,5	12,3	84,4	10,4	72,6	11,2	72,5	12,2	86,5
35	10,8	70,6	12,0	77,5	10,3	66,2	9,7	75,9	12,4	73,8
36	11,4	69,0	13,0	79,3	11,1	68,1	9,4	68,8	12,9	76,0

Tabel 19 Gegevens over de relatie  $G/Q_A = a + b n/N$  voor maandwaarden.

STATION	GEOGR. BR.	G/Q <sub>A</sub>		n/N		n/N						a+b	SE
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	r	a	b			
De Kooy	53°	0,410	0,577	0,330	0,577	0,038	0,662	0,966	0,207	0,615	0,822	0,022	
Eelde	53°	0,384	0,532	0,303	0,532	0,063	0,655	0,950	0,200	0,610	0,810	0,026	
De Bilt	52°	0,371	0,536	0,317	0,536	0,076	0,646	0,979	0,177	0,614	0,791	0,016	
Vlissingen	51,5°	0,396	0,567	0,317	0,567	0,068	0,661	0,963	0,206	0,599	0,805	0,021	
Beek	51,5°	0,374	0,553	0,303	0,553	0,050	0,598	0,957	0,197	0,586	0,783	0,023	
Land		0,387	0,577	0,314	0,577	0,038	0,662	0,955	0,196	0,607	0,803	0,024	

Tabel 20 Maandgemiddelden van de straling op een horizontaal vlak aan de rand van de atmosfeer: dagintensiteit in W/m<sup>2</sup>.

GEOGR. BR	Maandgemiddelden van de straling op een horizontaal vlak aan de rand van de atmosfeer: dagintensiteit in W/m <sup>2</sup> .											
	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
53°	86,1	149,3	246,5	354,1	439,6	479,2	459,8	388,0	278,8	183,8	104,2	69,4
52°	92,6	156,4	252,8	358,5	441,7	479,8	461,0	391,4	293,1	190,6	111,0	75,9
51,5°	96,3	159,9	255,9	360,6	442,7	480,2	461,6	393,0	295,8	194,0	114,6	79,3
51°	99,7	163,5	259,1	362,7	443,6	480,5	462,2	394,5	298,6	197,3	118,0	82,7

Tabel 21 Maximaal mogelijke zonneshijnduur in uren per maand.

STATION	Maximaal mogelijke zonneshijnduur in uren per maand.												
	JAN	FEB	FEB	MRT	APR	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
De Kooy	253,6	274,6	285,4	367,8	419,2	490,9	505,3	507,2	456,3	380,9	328,5	261,2	237,8
Eelde	252,4	274,0	284,8	367,8	419,9	491,6	506,6	508,1	456,8	381,0	328,4	260,9	236,9
De Bilt	256,7	276,2	287,0	368,6	416,5	486,6	500,6	502,3	453,3	380,1	330,3	264,0	242,0
Vliss.	260,4	277,6	288,4	368,1	415,9	483,9	496,2	499,3	451,5	379,6	330,9	267,1	245,8
Reek	262,6	279,1	290,0	368,0	414,9	481,8	493,5	497,0	449,9	379,4	332,1	269,2	248,2



Tabel 22 Relaties  $G/Q_A = a + b n/N$

Plaats	Breedte $\phi$	$G/Q_A$	$n/N$	a	b	r	Periode	Referentie
Eskadalemuir (Schotland)	55,3 °N	0,316	0,258	0,17	0,55	0,74	1950-1960(100 maanden)	Day (1961)
Valentia (Ierland)	51,9 °N	0,404	0,290	0,14	0,80		1964-1970(84 maanden)	Wales-Smith (1980)
Rothamsted (Engeland)	51,8 °N	0,371	0,358	0,22	0,65	0,90	1954-1959(60 maanden)	Day (1961)
Kew (Engeland)		0,344	0,312	0,16	0,60	0,78	1931-1940(84 maanden, mrt t/m okt)	Penman (1948)
Gembloux (België)	51,5 °N	0,327	0,331	0,14	0,57	0,86	1955-1959(32 maanden)	Day (1961)
Versailles (Frankrijk)	50,6 °N	0,328	0,325	0,15	0,54	0,83	1952-1959(96 maanden)	Day (1961)
New Delhi (India)	48,8 °N	0,440	0,417	0,23	0,50	0,90	1939-1950(60 maanden)	Black et al. (1954)
Jodhpur	28,6 °N		0,31	0,31	0,46		1935-1951(99 maanden)	Black et al. (1954)
Ahmedabad	26,3 °N		0,31	0,31	0,49		juli '57-juni '66	Gangopadhyaya et al. (1970)
Dum Dum	23,1 °N		0,42	0,42	0,30		mrt '60-aug '65	"
Nagpur	22,7 °N		0,29	0,29	0,49		feb '62-feb '67	"
Poona	21,1 °N		0,16	0,16	0,68		sep '57-juni '66	"
Visakhapatnam	18,5 °N		0,35	0,35	0,40		apr '60-aug '66	"
Madras	17,5 °N		0,29	0,29	0,46		juli '57-juni '66	"
Trivandrum	13,1 °N		0,30	0,30	0,44		jan '61-aug '66	"
Benin (Nigeria)	8,5 °N		0,37	0,37	0,38		okt '57-aug '66	"
Accra (Ghana)	6,6 °N		0,28	0,28	0,33	0,84	dec '59-aug '66	Davies (1965)
Kabete (Kenya)	5,6 °N		0,30	0,30	0,37	0,82	1958-1962(60 maanden)	Davies (1965)
Dry Creek (Australia)	1,3 °S		0,23	0,23	0,62	0,97	1956-1960(54 maanden)	Glover & McCulloch (1958)
Mt. Stromlo (Australia)	34,8 °S	0,600	0,591	0,30	0,50	0,95	1938-1943(60 maanden)	Black et al. (1954)
Canberra (Australia)	35,3 °S	0,593	0,631	0,25	0,54	0,89	1947-1950(48 maanden)	"
Tahrir (Egypte)	35,3 °S		0,25	0,25	0,54		1928-1939(144 maanden)	Penman (1948)
Virginia (USA)	31,7 °N		0,26	0,26	0,51		1963-1967, 1969	El-Sabban (1976)
			0,22	0,22	0,54			Penman (1948)

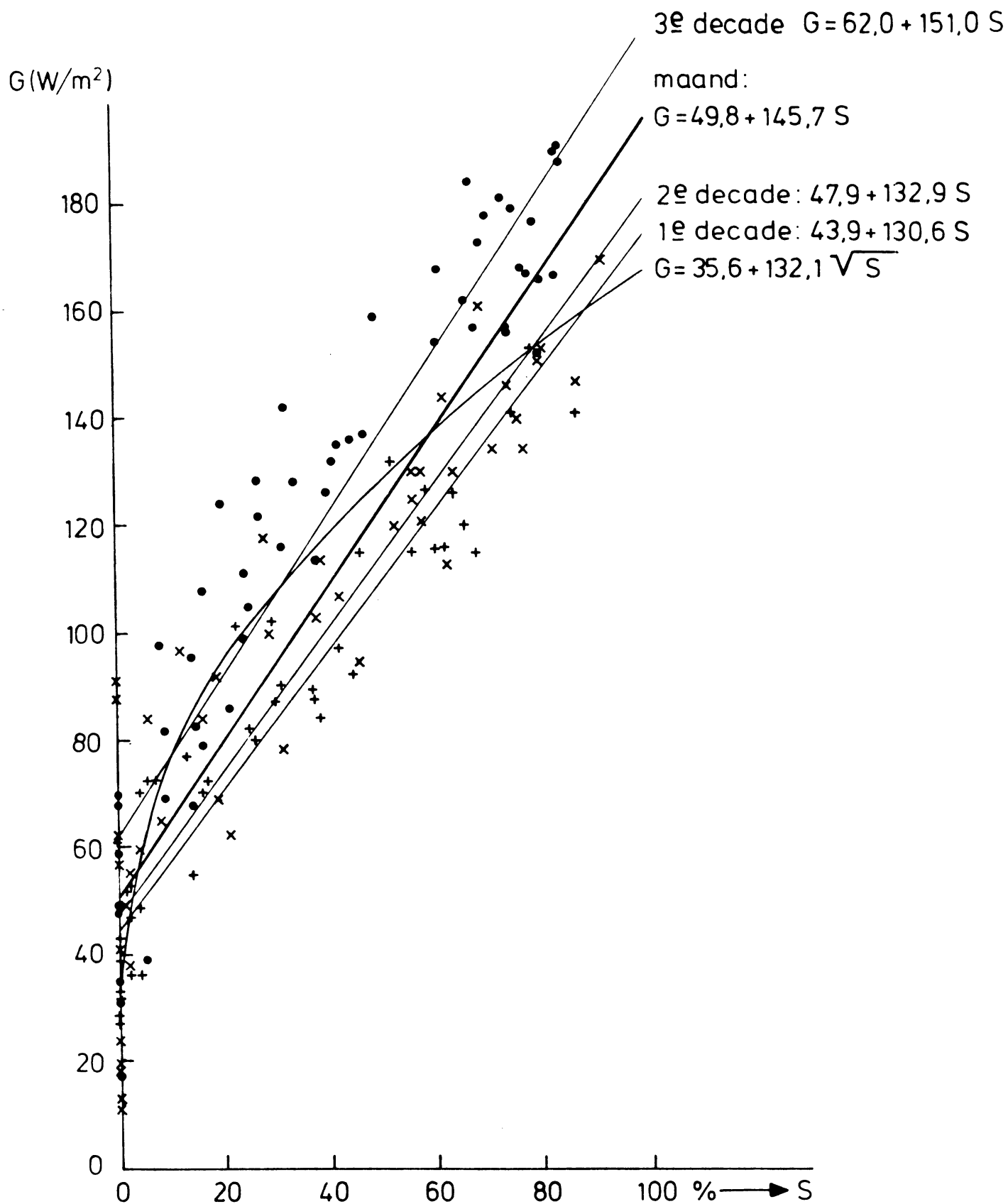


Fig. 1.

De dagintensiteit van de globale straling,  $G$ , uitgezet

tegen de relatieve zonneshijnduur,  $S$ , te De Bilt in de maand MAART, 1971 t/m 1975.

De Bilt, 1971 t/m 1975

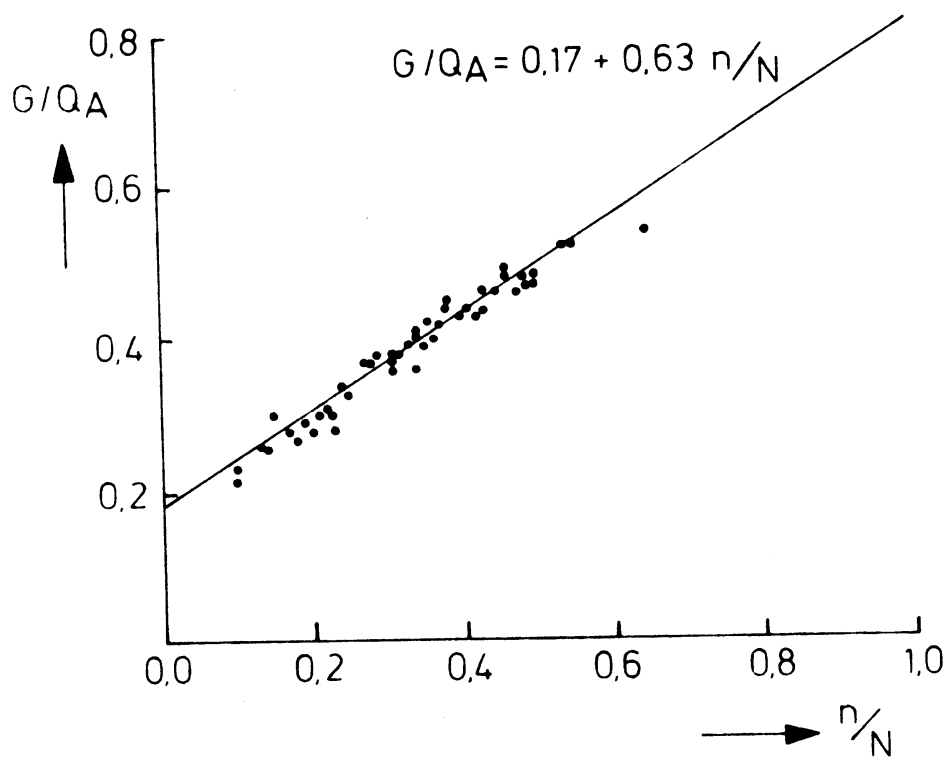


Fig. 2.

De relatie tussen  $G/Q_A$  en  $n/N$ , gebareerd op maandsommen.