KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Verslagen V - 87
(R III - 263 - 1961)

Vergelijking van de uitkomsten van metingen van de circumglobale straling boven gras en boven kale grond te De Bilt

door

Dr. H.J. de Boer en H. de Hart.

Vergelijking van de uitkomsten van metingen van de circumglobale straling boven gras en boven kale grond te De Bilt

door Dr. H.J. de Boer en H. de Hart.

INHOUD

		blz.
1.	Inleiding.	1
2.	Het procentuële verschil tussen de hoeveelheden circumglobale straling boven gras en boven kale grond als functie van de grootte van de dagsom	1
3.	Het procentuële verschil tussen de hoeveelheden circumglobale straling boven gras en boven kale gond als functie van de zonshoogte	4
4.	De albedo van onbegroeide humusrijke zandgrond	11
	Samenvatting	12
	Literatuur	13

1. Inleiding.

Sedert 23 augustus 1957 wordt regelmatig de dagsom van de circumglobale straling te De Bilt gemeten met behulp van een bolpyranometer volgens Bellani. Deze metingen geschieden boven een kort gehouden grasmat, terwijl het ontvangende deel van het instrument op 1.50 m hoogte boven de grasmat staat opgesteld.

Verschillende eigenschappen van de bolpyranometer zijn reeds bestudeerd [1], terwijl ook vele bijzonderheden van de dagsommen van de circumglobale straling als functie van de tijd van het jaar en als functie van de hoogte boven het maaiveld duidelijk werden vastgesteld [1] en [2]. Het verband tussen de globale en de circumglobale straling is tevens bepaald als functie van de tijd van het jaar [3].

Deze verschillende onderzoekingen zijn alle verricht boven een grasmat. Het kwam ons nuttig voor om de resultaten van metingen van de circumglobale straling op onze zogenaamde standaardhoogte van 1.50 m boven het maaiveld zowel boven een grasmat als boven kale grond te bestuderen. Van te voren is reeds in te zien, dat de dagsom van de circumglobale straling boven kale grond kleiner zal zijn dan die boven een grasmat, daar de reflectiecoëfficiënt van kale grond kleiner is dan die van een grasmat. Het gaat er echter om hoeveel kleiner het bedrag gemiddeld is en waarvan het verschil in dagsom eventueel afhangt.

2. Het procentuële verschil tussen de hoeveelheden circumglobale straling boven gras en boven kale grond als functie van de grootte van de dagsom.

Metingen van de dagsom van circumglobale straling boven kale grond nabij het K.N.M.I. zijn op 26 november 1959 begonnen en een vergelijking tussen de dagsommen boven kale grond en die boven gras is uitgevoerd voor het tijdvak van 26 november 1959 tot en met 30 juni 1960. Daar uitkomsten van 18 dagen moesten worden verworpen, waren 200 getallen paren aanwezig ter vergelijking. Stel de dagsom boven gras wordt x genoemd en die boven kale grond y, dan is voor elke dag de verhouding $(x-y)/x$ bepaald; deze verhouding wordt q genoemd en berekend in promilles.

De 200 x-waarden zijn nu naar de grootte in 13 klassen verdeeld en wel zó, dat de eerste klasse (I) gevormd wordt door x-waarden tussen 0 en 25 cal/cm^2 dag, de tweede klasse (II) door x-waarden tussen 25 en 50 cal/cm^2 dag, enz. en de 13e klasse (XIII) door x-waarden groter dan 300 cal/cm^2 dag. In tabel I staan deze intervalwaarden in de eerste kolom vermeld. In de tweede kolom van deze tabel zijn verzameld de aantallen x-waarden (n), welke in elk van de intervallen voorkomen. In de derde kolom vindt men de gemiddelde waarde ($\bar{x}$) in cal/cm^2 dag van de n x-waarden, welke in het betreffende interval voorkomen. Bij elke x-waarde behoort een y-waarde en dus ook een waarde van q. In de vierde kolom staan nu de bij elk interval behorende gemiddelde q-waarde ($\bar{q}$). In kolom 5 zijn verzameld de standaardafwijkingen (s_q) van de q-waarden in elk betreffend interval, terwijl in kolom 6 de standaardafwijkingen van de $\bar{q}$-waarden van elk interval voorkomen ($s_{\bar{q}}$).

Tabel I

1 interval	2 n	3 $\bar{x}$	4 $10^3 . \bar{q}$	5 $10^3 . s_q$	6 $10^3 . s_{\bar{q}}$	7 $10^6 . s_q^2$
I $0 \leq x < 25$	35	15.5	39	86	15	7474
II $25 \leq x < 50$	27	34.1	70	64	12	4164
III $50 \leq x < 75$	19	58.8	59	43	10	1848
IV $75 \leq x < 100$	13	91.1	62	23	6	524
V $100 \leq x < 125$	10	113.0	71	23	7	523
VI $125 \leq x < 150$	8	139.0	69	25	9	610
VII $150 \leq x < 175$	13	163.5	71	24	7	600
VIII $175 \leq x < 200$	15	187.4	70	16	4	271
IX $200 \leq x < 225$	14	214.5	68	18	5	333
X $225 \leq x < 250$	13	237.2	70	24	7	565
XI $250 \leq x < 275$	11	261.7	58	17	5	285
XII $275 \leq x < 300$	10	285.6	64	29	9	828
XIII $300 \leq x$	12	329.7	65	13	4	159
totaal	200	133.6	62			2361

De kolommen 3,4,5, en 6 zijn ook grafisch uitgezet in fig.1. Met de $\bar{x}$-waarden in cal/cm^2 dag als abscis zijn de bijbehorende $\bar{q}$-waarden met stippen en de bijbehorende s_q-waarden met kruisjes als ordinaat aangegeven. De waarde van $s_{\bar{q}}$ is als een pijl van de juiste lengte, ook in ‰, om de corresponderende $\bar{q}$-waarde zowel in positieve als in negatieve zin uitgezet.

Nu valt het zowel in tabel I als in fig.1 direct op, dat de waarden van q in de verschillende intervallen niet veel van elkaar verschillen, behalve misschien die in de eerste drie intervallen. Dit blijkt ook uit kolom 5 en kolom 6, waarin de eerste drie waarden van s_q respectievelijk $s_{\bar{q}}$ veel groter zijn dan de overige. Om dit nog duidelijker te zien is een 7e kolom bijgevoegd aan tabel I, waarin s_q^2 is is vermeld. In deze kolom valt de grootte van de eerste drie waarden ten opzichte van de overige wel zeer sterk op. De variantie van q (s_q^2) in het interval $0 \leq x \leq 75$ blijkt 4946 te bedragen, terwijl de variantie van q (s_q^2) voor $75 < x$ de waarde 419 heeft. De waarde van F bedraagt dan 4946/419 = 11,8, waarbij het aantal vrijheidsgraden 80 en 118 respectievelijk bedraagt. Bij deze aantallen vrijheidsgraden is, opdat beide waarden van s_q^2 uit hetzelfde universum stammen, de hoogst toelaatbare waarde van F bij een drempel van 5% 1,22. De variantie van q in de eerste drie intervallen verschilt dus zeer significant van de variantie van q in de overige intervallen. Zoals uit het volgende zal blijken is het verschil in de s_q^2-waarden boven en beneden 75 cal/cm²dag te verklaren uit de onnauwkeurigheid van q voor lage waarden van x.

De aflezing van de bolpyranometers geschiedt in 0,1 schaaldelen; de nauwkeurigheid bedraagt dus ± 0,05 schaaldelen. De ijkfaktor van de meter boven gras bedraagt ca. 8, d.w.z. 1 cm = ± 8 cal/cm² en van die boven kale grond ca. 9. Als gevolg hiervan is de maximale fout in de dagsom gemeten boven gras gelijk aan $\varepsilon_1 = \pm 0.40$ cal en die van de dagsom boven kale grond $\varepsilon_2 = \pm 0.45$ cal. Is Δ het verschil tussen de twee dagsommen, dan is de maximale fout van Δ gelijk aan $\varepsilon = \pm 0.85$ cal.

Is x de meting boven gras in cal/cm²dag, dan geldt: $q = \dfrac{1000\,\Delta}{x}$

Berekend wordt echter $q^* = \dfrac{1000\,(\Delta + \varepsilon)}{x +}$

ofwel: $q^* = \dfrac{1000\,\Delta}{x} \cdot \dfrac{x}{x + \varepsilon_1} + \dfrac{1000\,\varepsilon}{x + \varepsilon_1} = q \cdot \dfrac{x}{x \pm 0.40} \pm \dfrac{850}{x \pm 0.40} = \alpha q + \beta$

Voor x = 10 geldt $\alpha = 1 \pm 0.04$ en geeft dit dus een maximale fout van 4 %, welke fout voor stijgende x snel kleiner wordt. Deze fout is dus van weinig betekenis. Anders is het gesteld met β. Om hier een indruk van te krijgen zijn in onderstaand staatje bij enige waarden van x de waarden van β genoteerd.

x in cal/cm²dag	10	20	30	40	50	75	100	150	200
$\beta = \dfrac{850}{x - 0.40}$	88.5	43.3	28.7	21.4	17.1	11.4	8.5	5.6	4.2

De fout bij kleine waarden van x is dus aanzienlijk en zal uiteraard een grote variantie van q veroorzaken. Hiermede is het verschil tussen $s_{q_1}^2$ en $s_{q_2}^2$ wel verklaard.

In bovenstaande beschouwing hebben wij geen rekening gehouden met de fout van de instrumenten zelf. Het is dus te verwachten dat de uiteindelijke fout van q nog groter is.

Nu moet nog een eventuele breuk in de $\bar{q}$ -waarden worden aangetoond. Daar in de intervallen van 0-75 cal/cm^{2}dag en van 75-400 cal/cm^{2}dag de waarden van s_q^2 niet uit hetzelfde universum stammen, zoals hierboven is bewezen, kan de t-toets niet worden toegepast, maar moet de parametervrije toets van Wilcoxon worden gebruikt. In het interval 0-75 is $\bar{q}_1$ = 54 en in het interval 75 - 400 is $\bar{q}_2$ = 67. Onderzoekt men nu of er verschil is tussen $\bar{q}_1$ en $\bar{q}_2$, dan vindt men $\tilde{u}$ = 1,248 en dus P_2= 0,21. Dit betekent, dat $\bar{q}_2$ niet significant verschilt van $\bar{q}_1$.

Hiermede is dus bewezen, dat alleen de grootheden s_q en $s_{\bar{q}}$ als functie van de grootte van de dagsom x een discontinuiteit vertonen bij x = 75 cal/cm^{2}dag. In verband met bovenstaande verklaring zal vermoedelijk bij een groter aantal waarnemingen deze discontinuiteit verdwijnen en alleen de invloed van de afleesfout overblijven.

3. Het procentuële verschil tussen de hoeveelheden circumglobale straling boven gras en boven kale grond als functie van de zonshoogte.

In de vorige paragraaf bleek het verschil tussen $\bar{q}_1$ (< 75 cal) en $\bar{q}_2$(> 75 cal) niet significant te zijn. Desondanks willen we toch nader op deze verschillen ingaan en dit op grond van het feit, dat de kleine dagsommen voor het merendeel afkomstig zijn van dagen met een lage zonnestand. Uit de volgende beschouwing zal blijken, dat verwacht mag worden, dat de zonshoogte invloed heeft op de grootte van q.

De circumglobale straling bestaat uit de globale straling en de van het aardoppervlak teruggekaatste straling, beide delen opgevangen op een bolvormig oppervlak. Het is de straling teruggekaatst tegen verschillende soorten oppervlak, welke de grootheid q doet ontstaan. Over het algemeen bestaat de op het aardoppervlak neerkomende kortgolvige straling uit directe zonnestraling en diffuse straling, afkomstig van de hemel of van de wolken.

De directe zonnestraling bestaat uit een evenwijdige bundel licht en wanneer deze op een effen, niet gepolijst oppervlak valt, zal de hoeveelheid teruggekaatste straling bij zeer lage zonnestand aanzienlijke waarden hebben, terwijl de hoeveelheid teruggekaatste straling sterk afneemt met toenemende zonshoogte. Deze afname van de hoeveelheid neemt zelf ook af met toenemende zonshoogte, totdat vanaf een bepaalde zonshoogte deze hoeveelheid constant blijft. Eenzelfde soort oppervlak, alleen minder effen, zal eenzelfde beeld geven van de hoeveelheid teruggekaatste straling als functie van de zonshoogte, alleen iets afgevlakt. De afvlakking van dit beeld zal des te sterker zijn, naarmate de effenheid van het oppervlak geringer is.

De diffuse straling komt van elk punt van de hemel of van de wolken en zal na reflectie tegen een oppervlak ook het diffuse karakter behouden. Wel heeft de zonshoogte en de uurhoek van de zon invloed op de hoeveelheid diffuse straling, welke van elk punt van de hemel wordt uitgestraald, maar dit feit zal zeer veel minder invloed hebben op de hoeveelheid van de aardbodem teruggekaatste diffuse straling, welke door de bol van de Bellani wordt opgevangen, dan dit bij de door de aardbodem teruggekaatste directe zonnestraling het geval is.

We kunnen ons nu enigszins voorstellen hoe q zal verlopen als functie van de zonshoogte. In de eerste plaats moet bedacht worden dat een korte grasmat een veel meer oneffen oppervlak is dan kale grond, terwijl aan de andere kant een humusrijke grond veel beter absorbeert dan een grasmat. Voor zonshoogten h weinig van nul verschillend zal q zeer kleine waarden vertonen, misschien zelfs negatieve waarden. Bij toenemende h zal q groter worden totdat een zekere waarde van q bereikt is, waarna deze constant blijft. Dit geldt dan voor een onbewolkte hemel en voor de directe zonnestraling alleen. Als nog de diffuse straling van de onbewolkte lucht en van de bewolkte lucht wordt toegevoegd zal het groter worden van q met toenemende h verzwakt worden. Als we alleen te maken hebben met diffuse straling van een wolkendek, dan zal van dit verschijnsel vermoedelijk weinig te bespeuren zijn. Zo stellen we ons voor, hoe q kwalitatief van de zonshoogte afhangt bij verschillende situaties.

Met de pyranometer van Bellani worden dagsommen gemeten en het is dus moeilijk om direct de afhankelijkheid van q met de zonshoogte te toetsen. Eerst hebben we geprobeerd deze toetsing te benaderen door in elk van de 6 maanden van januari tot en met juni 1960 die dagen uit te zoeken met een relatieve zonneschijnduur van meer dan 60% en voor die dagen q te bepalen. In december 1959 kwamen zulke dagen niet voor. In tabel IIa hebben we bijeengebracht voor de 6 maanden het aantal dagen (n) met een zonneschijnduur van meer dan 60% en de gemiddelde waarde ($\bar{q}$) van die dagen. De waarde van $\bar{q}$ voor januari bedraagt 33, terwijl de gemiddelde waarde van deze grootheid over februari tot en met juni 66 bedraagt. Nu worden de 2 q-waarden van januari met behulp van de toets van Wilcoxon getoetst tegen de $\bar{q}$-waarden van elk van de maanden februari tot en met juni. De een- en tweezijdige overschrijdingskansen P_1 en P_2 respectievelijk staan ook in tabel IIa vermeld. Uit deze getallen mag worden besloten dat de $\bar{q}$-waarde van januari voor dagen met een relatieve zonneschijnduur van meer dan 60% niet significant kleiner is dan de $\bar{q}$-waarde van april; voor de overige maanden bestaat er een significant verschil tussen de $\bar{q}$-waarde van januari en die van de maanden februari, maart, mei en juni, als naar P_1 wordt gekeken. Als de P_2-waarden ook worden beschouwd, moeten we concluderen, dat het verschil tussen de $\bar{q}$-waarde van januari en die van de genoemde maanden niet overtuigend significant zijn. Als nu januari getoetst wordt tegen februari tot en met juni tezamen, dan blijkt uit de waarden van P_1 en P_2 dat tussen de waarde 33 en 66 een significant verschil bestaat. We mogen hieruit concluderen, dat de uitkomsten van de toetsingen niet in tegenspraak zijn met de voorafgaande theoretische beschouwing over q, maar er ook geen overtuigende bevestiging van zijn. Er zullen echter nog meer toetsingen worden uitgevoerd. Vervolgens zijn uit de 7 waarnemingsmaanden die dagen met hun q-waarde gelicht, welke een zonneschijnduur kleiner dan 30% hadden.

Tabel II a

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	feb t/m jun
n	2	5	8	6	9	11	39
$\bar{q}$	33	79	71	61	61	63	66
P_1	-	0.041	0.025	0.121	0.038	0.030	0.0183
P_2	-	0.082	0.050	0.242	0.076	0.060	0.0366

In tabel IIb zijn voor elk van die maanden het aantal n van die dagen en de $\bar{q}$-waarde vermeld. Vervolgens is met behulp van de toets van Wilcoxon onderzocht of $\bar{q} = 44$ voor januari significant verschilt van de $\bar{q}$-waarden der overige maanden. De één- en tweezijdige overschrijdingskans P_1 en P_2 respectievelijk, staan met hun numerieke waarden in de 4e en 5e regel van tabel IIb. Hieruit blijkt dat alleen de $\bar{q}$-waarde voor februari significant verschilt met die voor januari, de overige niet. Op dezelfde wijze is de $\bar{q}$-waarde voor december getoetst met die van de maanden januari, februari en maart en met april, mei en juni tezamen. De waarden van de één- en tweezijdige overschrijdingskans P_1 en P_2 vindt men in de 6e en 7e regel. Hieruit kan men besluiten dat er geen significante verschillen bestaan hoewel de overschrijdingskans voor februari niet ver van de grens van significantie is verwijderd.

Tabel IIb

	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun
n	27	21	19	19	11	14	7
$\bar{q}$	43	44	78	55	68	60	74
P_1	0.382	-	0.007	0.334	0.098	0.176	0.062
P_2	0.764	-	0.015	0.667	0.197	0.352	0.124
P_1	-	0.382	0.054	0.432		0.261	
P_2	-	0.764	0.107	0.865		0.522	

Teneinde q-waarden voor slechts diffuse straling zoveel mogelijk te benaderen, hebben we tabel IIc gemaakt, geheel analoog aan tabel IIb, behalve dat alleen dagen met een relatieve zonneschijnduur kleiner dan 10% zijn genomen. Thans is de $\bar{q}$-waarde van januari getoetst tegen die van december, februari, maart en de drie maanden april, mei en juni tezamen. Het resultaat van de toetsing is wederom af te lezen van de waarden van P_1 en P_2 in tabel IIc en men vindt, dat $\bar{q}$ = 83 voor februari is significant verschillend van $\bar{q}$ = 45 voor januari. De overige maanden verschillen niet significant met januari, wat hun $\bar{q}$-waarden betreft. Het ziet er dus naar uit dat de $\bar{q}$-waarden voor diffuse straling alleen van de verschillende maanden geen significante verschillen opleveren en dat dus de zonshoogte geen aanleiding tot significante verschillen geeft. Wel springt februari uit dit algemene patroon, maar er is geen natuurkundige reden aan te geven voor dit feit. Op dagen met veel zonneschijn (> 60%) is er een aantoonbaar verschil in $\bar{q}$-waarden tengevolge van verschil in zonshoogte.

Tabel IIc

	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun
n	21	19	15	15	4	8	5
$\bar{q}$	33	45	83	49	52	61	82
P_1	0.413	-	0.012	0.413		0.092	
P_2	0.826	-	0.025	0.826		0.184	

Deze conclusies uit de toetsingen vallen dus min of meer samen met hetgeen we reeds van te voren kwalitatief konden beredeneren over het gedrag van q als functie van de zonshoogte bij verschillende bewolkingssituaties. Nu zijn de toetsingen uitgevoerd voor bepaalde dagen in de verschillende maanden, zodat de zonshoogteverschillen bij de $\bar{q}$-waarden slechts naar voren kwamen door seizoenverschillen. We zouden nog willen toetsen voor verschillende daggedeelten, zodat op die wijze zonshoogteverschillen tot uiting komen. Daarvoor is dan de volgende toetsing bedacht.

Uit de dagen na 1 april 1960, als de zon dus reeds flink hoog aan de hemel staat bij culminatie, zijn die dagen uitgezocht, waarbij tussen 10.00 h en 14.00 h weinig zon is geweest, terwijl deze de rest van de dag wel flink heeft geschenen; deze dagen staan met hun eigenschappen in tabel IIIa vermeld. In tabel IIIb zijn verzameld de eigenschappen van die dagen, waarbij de zon veel heeft geschenen tussen 10.00 h en 14.00 h en weinig gedurende de rest van de dag. Nu is $\bar{q}_a$ = 62 in tabel IIIa en $\bar{q}_b$ = 82 in tabel IIIb, terwijl de overgrote hoeveelheid zonneschijn vóór 10 uur en ná 14 uur voorkwam in tabel IIIa en deze zonneschijn hoofdzakelijk van een betrekkelijk laagstaande zon kwam; zo kwam de zonneschijn op de dagen genoemd in tabel IIIb hoofdzakelijk van een betrekkelijk hoog staande zon. Het verschil tussen $\bar{q}_a$ en $\bar{q}_b$ is met de toets van Wilcoxon na te gaan; $\hat{u} = 2{,}00$ en dus $P_1 = 0{,}023$ en $P_2 = 0{,}046$. Daar $P_2 < 0.05$ is $q_a < q_b$; immers we zijn begonnen met als H_0 te nemen dat $q_a = q_b$. Op physische gronden kunnen we aannemen dat $q_a \leq q_b$. In dit geval kan men volstaan met een éénzijdige toetsing en dus $P_1 = 0.023$. Zeker is dus nu $q_a < q_b$.

Tabel IIIa

1960 datum	aantal uren zon tussen 10 en 14 uur	aantal uren zon tussen 08 en 08 uur	rel.zonnesch. duur tussen 08 en 08 uur	q
4 apr.	0.7	2.6	20	90
16 apr.	1.5	4.2	30	76
20 mei	0	4.3	27	40
26 mei	0.3	3.9	24	71
28 mei	1.5	6.4	39	67
30 mei	0.3	3.6	22	47
31 mei	0	5.1	31	48
12 jun	0.5	2.2	13	38
15 jun	1.7	9.9	59	91
27 jun	0.8	7.6	46	51

Tabel IIIb

1960 datum	aantal uren zon tussen 10 en 14 uur	aantal uren zon tussen 08 en 08 uur	rel.zonnesch. duur tussen 08 en 08 uur	q
6 apr	3.5	5.8	44	95
9 apr	2.3	2.5	19	115
14 apr	3.6	7.9	57	68
27 apr	3.0	4.9	34	73
12 mei	3.5	6.4	41	81
14 mei	3.7	10.4	67	91
23 mei	3.5	7.2	45	47
6 jun	3.3	8.6	52	94
24 jun	3.2	7.6	45	73

Hiermede is bewezen dat q met de zonshoogte toeneemt, als de zon laag staat en steeds schijnt.

We kunnen proberen q-waarden te berekenen voor gemiddelde dagen in de 7 waarnemingsmaanden met 100 % zonneschijn, met 0% zonneschijn en met het waargenomen percentage zonneschijnduur. Dit kan bereikt worden door gebruik te maken van een formule analoog aan die van Ångström voor dagwaarden van de circumglobale straling boven gras en boven kale grond:

$$Q_g = Q_{og} \{ \alpha_g + (1-\alpha_g) \, s/s_o \} \qquad (1)$$
$$Q_z = Q_{oz} \{ \alpha_z + (1-\alpha_z) \, s/s_o \}$$

De formules (1) bevatten de waargenomen dagwaarden tussen 08 en 08 van Q_g, Q_z en s/s_o, waarbij Q_g = de circumglobale straling in cal/cm²dag boven gras, Q_z = idem boven kale grond en s/s_o = relatieve zonneschijnduur. Uit de waargenomen 31 Q_g-waarden in december 1959 wordt het gemiddelde $\bar{Q}_g$ in die maand bepaald. Op dezelfde wijze wordt $\bar{Q}_z$ voor de maand december 1959 bepaald. Deze twee waarden zijn in de 2e kolom en respectievelijk 2e en 3e regel van tabel IV te vinden. Uit $\bar{Q}_z$ en $\bar{Q}_g$ is $10^3.q$ te berekenen en de waarde van deze grootheid is in de 8e regel ingevuld.

Tabel IV

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		dec'59	jan'60	feb	mrt	apr	mei	jun'60
2	$\bar{Q}_g$	30.3	39.9	71.8	110.8	184.3	211.8	250.8
3	$\bar{Q}_z$	28.7	37.8	66.0	106.7	171.5	198.8	233.4
4	Q_{og}	141.6	147.9	202.3	264.3	342.2	353.5	390.8
5	Q_{oz}	134.4	141.4	186.2	246.5	322.5	332.3	363.4
6	$Q_{og}\alpha_g$	12.3	19.9	31.7	54.4	92.8	123.5	119.0
7	$Q_{oz}\alpha_z$	11.6	18.7	29.1	51.6	84.0	115.5	111.0
8	$10^3.q$	51	54	82	63	69	61	69
9	$10^3.q_o$	51	44	80	67	58	60	70
10	$10^3.q_{10}$	57	60	82	51	95	65	67
11	$\bar{h}$	9°	11°	16°	22°	28°	33°	35°
12	α_g	0.09	0.13	0.16	0.21	0.27	0.35	0.30
13	α_z	0.09	0.13	0.16	0.21	0.26	0.35	0.31
14	α	0.28	0.29	0.28	0.30	0.31	0.36	0.32

Vervolgens worden met behulp van de methode van de kleinste kwadraten uit de 31 Q_g- en de 31 s/s_o-waarden van december 1959 de waarden van Q_{og} en van $Q_{og}\,\alpha_g$ berekend. De waarden van deze twee grootheden staan in de 4e, resp. 6e regel van tabel IV. Uit de 31 Q_z- en de 31 s/s_o-waarden worden de waarden van Q_{oz} en van $Q_{oz}\,\alpha_z$ berekend, welke in de 5e en resp. 7e regel te vinden zijn. Nu wordt uit de dagsom boven gras, Q_{og}, bij volkomen heldere hemel en uit de dagsom boven kale grond, Q_{oz}, bij volkomen heldere lucht de waarde van $10^3.q_o$ berekend. De laatste waarde staat in de 9e regel van de 2e kolom. Uit de dagsom boven gras bij geheel bewolkte hemel, $Q_{og}\,\alpha_g$, en uit de dagsom boven kale grond bij geheel bewolkte hemel, $Q_{oz}\,\alpha_z$, is de waarde van $10^3 q_{10}$ berekend, welke waarde in de 10e regel is te vinden. In de 11e regel is vermeld de gemiddelde zonshoogte in de betreffende maand ($\bar{h}$).

De 10 grootheden in kolom 2, berekend voor december 1959, zijn eveneens berekend voor de eerste zes maanden van 1960. Deze waarden zijn verzameld in kolom 3 tot en met kolom 8 van tabel IV. Op 28 en 29 maart komen twee extreme q-waarden voor, nl. 203 en -111; deze zijn bij de berekeningen buiten beschouwing gelaten. Indien deze twee waarden wel waren meegenomen, dan zouden wonderlijke uitkomsten zijn verkregen. Deze twee sterk afwijkende waarden van q zijn hoogstwaarschijnlijk te wijten aan een foute (te lage) aflezing van de meter boven kale grond. Na de aflezing op 28 maart is de meter hoogstwaarschijnlijk niet gekipt. Dit verklaart een veel te hoge waarde van q op 28 maart, gevolgd door een veel te lage op 29 maart.

Onze belangstelling gaat nu het eerst uit naar de q-waarden in regel 9 en in regel 10. Deze twee regels vertonen het verschil in gedrag van de q-waarden bij volle zonneschijn en bij volkomen bewolkte lucht. De q_o-waarden zijn in december en januari klein, d.w.z. gemiddeld $q_a = 48.10^{-3}$, terwijl de overige maanden een gemiddelde q_o-waarde q_b hebben van 67. Uit natuurkundige overwegingen weten we dat $q_a \leq q_b$, zodat met Wilcoxon eenzijdig getoetst moet worden. Met U = o, m = 2 en n = 5 wordt $P_1 = 0.041$. Dit betekent dat $q_a < q_b$, hetgeen we wilden aantonen. Met regel 9 zien we, dat q-waarden bij volle zonneschijn bij gemiddelde zonshoogten groter dan 15° min of meer constant zijn, terwijl beneden 15° gemiddelde zonshoogte de waarde van q kleiner is dan die bij gemiddelde zonshoogten groter dan 15°. Deze resultaten van toetsingen van q-waarden bij tot 100% geëxtrapoleerde zonneschijnduur stemmen overeen met de resultaten van de toetsingen van waargenomen q-waarden bij 60% zonneschijnduur (zie tabel IIa). Als nu het andere bijzondere geval, n.l. q_{10} wordt bekeken voor de verschillende maanden en de bijbehorende gemiddelde zonshoogten, dan zal eerst worden getoetst of ook hier de q-waarden van december en januari significant verschillen van de overige maanden. Thans is U = 1, m = 2 en n = 5 en dan wordt $P_1 = 0.088$. Dit betekent, dat bij louter diffuse straling de q-waarde bij een gemiddelde zonshoogte beneden 15° niet significant verschilt van die boven 15° gemiddelde zonshoogte.

Een andere verdeling van de maanden voor de q_{10} waarden geeft geen significante verschillen. Als voorbeeld nemen we nu de eerste 3 maanden en de 4 overige. Dan is $u = 3$, $m = 3$ en $n = 4$, zodat $P_1 = 0.187$. Nemen we nu de eerste 4 maanden tegenover de 3 overige. Dan is $u = 2$, $m = 4$ en $n = 3$, zodat $P_1 = 0.111$. Hiermede hebben we laten zien, dat geen significante verschillen in de q_{10}-waarden optreden.

De geëxtrapoleerde waarden q_0 en q_{10} voor de verschillende maanden voldoen dus ook aan het natuurkundige beeld, dat we ontworpen hadden van de q-waarden als functie van de zonshoogte en de bewolking in het begin van deze paragraaf.

De waarden van $10^3 q$ in regel 8 van tabel IV liggen uiteraard alle tussen de overeenkomstige waarden van regels 9 en 10 in. Het is wel opmerkelijk, dat het verloop van deze grootheid met de gemiddelde zonshoogte zich beter bij dat van q_0 dan bij dat van q_{10} aansluit. In regel 12 en 13 zijn de waarden van α_g en α_z voor de reeds genoemde zeven maanden verzameld. Het blijkt, dat α_g en α_z zeer weinig van elkaar verschillen voor elke maand.

Ter vergelijking zijn in regel 14 de waarden van α uit de formule van Ångström voor de globale straling bijgevoegd. In de wintermaanden blijkt de waarde van α veel groter dan die van α_g; in de zomermaanden blijken de waarden van α en van α_g niet veel van elkaar te verschillen.

Op één feit in tabel IV moet nog de aandacht worden gevestigd. De gemiddelde dagsom van de circumglobale straling bij heldere hemel in december bedraagt boven gras $\pm$ 140 cal/cm^2 en in juni is dit bedrag $\pm$ 390 cal/cm^2; deze dagsommen staan in de verhouding van 1 op 2.8 . De gemiddelde dagsom van de circumglobale straling bij geheel bedekte hemel bedraagt in december boven gras $\pm$ 12 cal/cm^2 en in juni $\pm$ 120 cal/cm^2; deze dagsommen staan in de verhouding van 1 op 10. De waargenomen gemiddelde dagsommen bedroegen in december 1959 $\pm$ 30 cal/cm^2 en in juni 1960 $\pm$ 250 cal/cm^2; deze dagsommen staan in de verhouding van 1 op 8.3. Ook in dit opzicht sluit het verloop van de gemiddeld waargenomen dagsommen in het jaar zich meer aan bij dat van de gemiddelde dagsommen bij 100% zonneschijnduur dan bij dat van de gemiddelde dagsommen bij 0% zonneschijnduur.

De verklaring van dit feit ligt eenvoudig in de hoeveelheid bewolking. In december 1959 had s/s_0 de waarde 0.88 en in juni 1960 bedroeg deze 0.49. De waargenomen hoeveelheid circumglobale straling in december 1959 lag dus iets boven de hoeveelheid bij bedekte hemel, terwijl de hoeveelheid circumglobale straling in juni 1960 ongeveer midden tussen die bij heldere hemel en die bij bedekte hemel moet liggen.

4. <u>De albedo van onbegroeide humusrijke zandgrond.</u>

Onder albedo van een horizontaal oppervlak verstaan we in het onderstaande dat deel van de op dat oppervlak vallende globale straling (van zon en hemel) in het golflengte-gebied van 0.3 tot 3 μ , dat door dat oppervlak in het genoemde golflengtegebied wordt teruggekaatst. Van 13 tot en 17 augustus 1958 is continu de albedo van een korte grasmat r_g, bepaald. Het gemiddelde over die 5 dagen bleek 0.147 te zijn [4].

Als nu G de hoeveelheid globale straling is op een horizontaal vlak van 1 cm^2 en de hoeveelheid door een korte grasmat teruggekaatste straling per 1 cm^2 gelijk aan r_gG, dan is de hoeveelheid straling, welke op een stralingsmeter volgens Bellani, staande op 1.50 m boven gras, valt, evenredig met $G\ (1 + r_g)$. Op een Bellani, welke boven een onbegroeide humusrijke zandgrond staat opgesteld, valt een hoeveelheid straling evenredig met $G\ (1 + r_z)$, waarbij r_z de albedo voor deze open grond is. De evenredigheidsfactor is in beide gevallen dezelfde. Nu is volgens de definitie van q:

$$q = \frac{G\ (1 + r_g) - G\ (1 + r_z)}{G\ (1 + r_g)}$$

Hieruit volgt: $r_z = r_g\ (1 - q) - q$.
Nu is $r_g = 0{,}147$ en aan tabel I laatste regel wordt ontnomen, dat $q = 0.062$ (gemiddeld). Zo vindt men voor r_z de waarde 0.076.

Veelal verstaat men onder albedo slechts de reflectie coëfficiënt in het zichtbare deel van het spectrum, n.l. van 0.38 tot 0.77 μ . In een artikel van Penndorf [5,p.12] wordt een overzicht van vele bronnen voor albedo-metingen gegeven. Hoewel de definitie van albedo verschilt, zullen we ter vergelijking enkele getallen uit drie bronnen overnemen.

	Smithsonian Tables	Sewing Handboek	Krinov (U.S.S.R.)
droge en kale grond, humusrijke bodem	0.10-0.20	0.072	0.09
natte en kale grond, humusrijke bodem		0.055	
zwarte aarde, zandige leem			0.03

Uit de bijgevoegde tabel komt de "kale grond met humusrijke bodem" zowel in droge als in natte staat het meest met onze humusrijke zandgrond overeen. Krinov geeft uitkomsten van metingen in Rusland, de Smithsonian Tabels die uit de U.S.A. en het handboek van Sewing resultaten van metingen uit Duitsland. Als men nu nog aanneemt dat in De Bilt de bodem 15 %

van de tijd nat is en 85 % van de tijd droog, dan vindt men met Sewing's getallen voor de albedo r_z (alleen in het zichtbare deel van het spectrum) de waarde 0.069. Verder moeten we nog bedenken, dat onze waarde voor r_z geldt voor het spectrale deel van 0.3 - 3.0 μ . De overeenstemming is dus voldoende. Ook Krinov's waarde van r_z voor open en droge grond met een rijke bodem ligt in dezelfde grootte-orde.

Samenvatting.

In het tijdvak van 26 november 1959 tot en met 30 juni 1960 zijn vergelijkende metingen van de dagelijkse hoeveelheid circumglobale straling in cal/cm^2 verricht op 1.50 m hoogte boven een kort gehouden grasmat en boven een open, humusrijke zandgrond. De hoeveelheid circumglobale straling boven kale grond bleek kleiner te zijn dan boven gras. Het procentuële verschil (q) tussen de circumglobale straling boven gras en die boven open grond bleek gemiddeld over de gehele meetperiode 6.2 te bedragen, of q = (C.G.gras - C.G.kale grond)/ C.G.gras = 0.062. Uit de metingen kwamen twee eigenschappen van de grootheid q te voorschijn.

1. De waarde van q voor daghoeveelheden van de C.G.-straling boven gras van meer dan 75 cal/cm^2 is niet significant groter dan de waarde van q voor daghoeveelheden minder dan 75 cal/cm^2, hoewel dit op het eerste gezicht zo lijkt.
2. Bij heldere hemel neemt q toe als de zonshoogte h toeneemt tot h=15°. Boven deze waarde van h is geen verandering in de waarde van q merkbaar. Bij gesloten wolkendek, dus bij diffuse straling, is q onafhankelijk van de zonshoogte.

Uit vroegere metingen is de waarde van de albedo in het spectrale gebied van 0.3 tot 3.0 μ van een korte grasmat, r_g,bepaald op 0.147. Uit de gemiddelde waarde van q = 0.062 kan de waarde van de albedo in hetzelfde spectrale gebied van een open, humusrijke zandgrond, r_z, berekend worden op 0.076.

Literatuur.

[1] H.J. de Boer, "Onderlinge vergelijking van waarnemingen met drie bolpyranometers van Bellani". K.N.M.I., Verslagen V - 30 (1958), R III - 219 - 1958.

[2] H.J. de Boer, "Eén jaar waarnemingen met de bolpyranometer volgens Bellani". K.N.M.I., Verslagen V - 42 (1958), R III - 225 - 1958.

[3] H.J. de Boer, "Berekening van dagsommen van de globale straling met behulp van die der circumglobale straling te De Bilt". K.N.M.I., W.R. 60 - 8 (1960), R III - 256 - 1960.

[4] H.J. de Boer, "Enkele metingen van de totale stralingsbalans en zijn vier componenten op 1.60 m hoogte boven een grasmat te De Bilt". K.N.M.I., Verslagen V - 46 (1959), R III - 229 - 1959.

[5] R. Penndorf, "Luminous and spectral reflectance as well as colors of natural objects". Geophysical Research Papers no.44, February 1956, Geophysics Research Directorate, Airforce Cambridge Research Center, Bedford, Massachusetts.

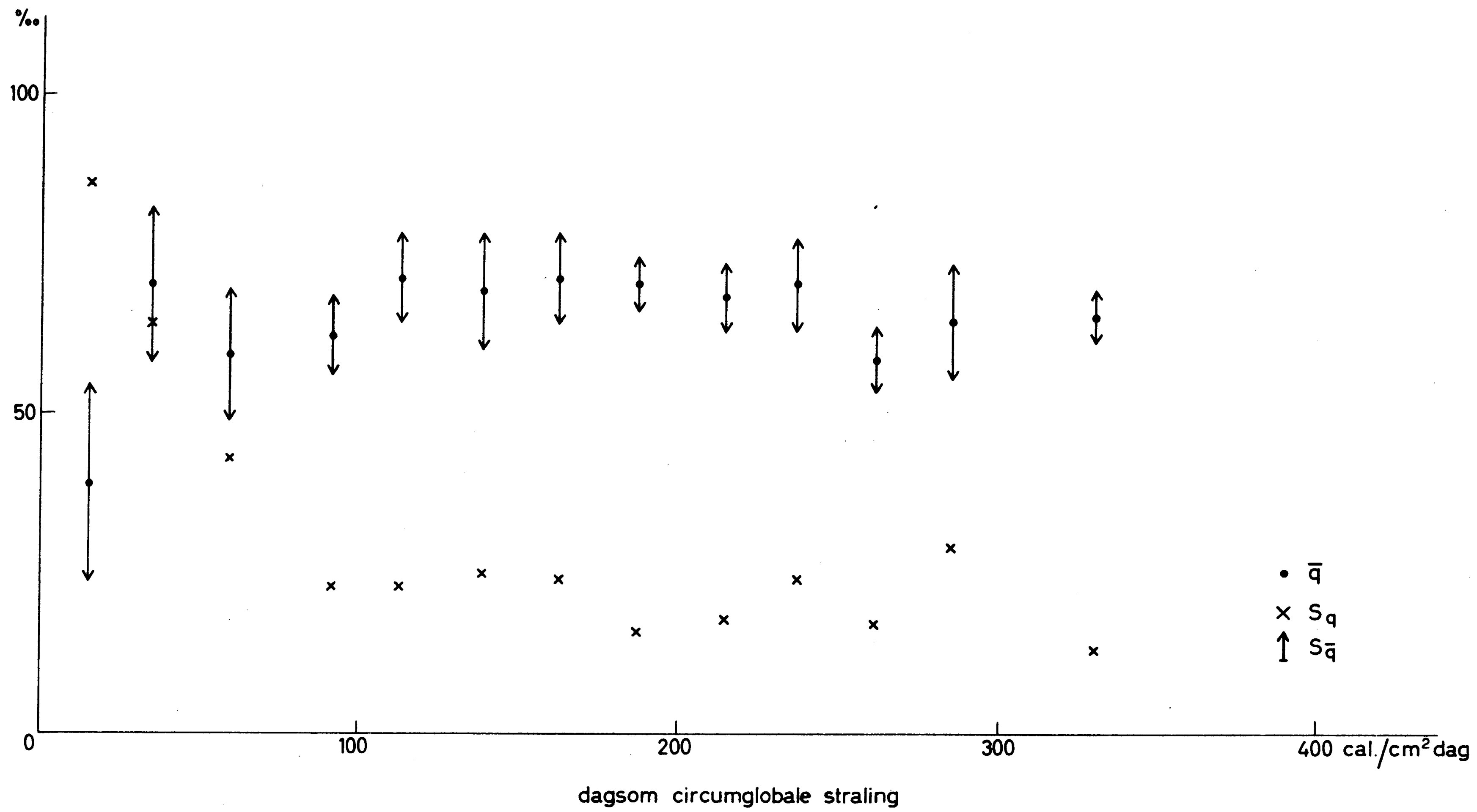
‰
100
50
0
100
200
300
400 cal./cm²dag
q̄
Sq
Sq̄
dagsom circumglobale straling

fig. 1