

Onderlinge vergelijking van  
waarnemingen met drie bolpyranometers  
van Bellani

door

Dr. H.J. de Boer  
=====

<u>INHOUD</u> =====	Pag.
Samenvatting	2
1. Inleiding	2
2. Waarnemingsfout en ijkfout	6
3. Verwisselbaarheid van plaats der instrumenten	7
4. Distributieve verdeling van procentuele afwijkingen in verschillende intervallen van stralingsintensiteit	9
5. Correctie voor herleiding op het gemiddelde	11
6. De procentuele afwijkingen van het gemiddelde tegenover de procentuele fout der metingen uitgezet ten opzichte van de regressiekromme.	13
7. Conclusies	13
Literatuur	14

### Samenvatting

Drie bolpyranometers volgens Bellani, welke in het Fysisch Meteorologisch Observatorium te Davos zijn vervaardigd en geijkt, zijn op 23 augustus 1957 op het terrein van het K.N.M.I. opgesteld. Met ingang van 24 augustus 1957 zijn met de drie instrumenten dagsommen van de circum-globale straling bepaald. Het waarnemingsmateriaal over 6 maanden is statistisch bewerkt geworden. Het rekenkundig gemiddelde van de drie dagsommen wordt beschouwd als de beste schatting van de ware dagsom.

Telkens na een zekere tijd van waarneming werden de instrumenten cyclisch verwisseld in hun plaats van opstelling. Het bleek, dat deze verwisseling van plaats geen invloed had op de aanwijzing der instrumenten. Van de drie instrumenten, welke respectievelijk de nummers 23, 24 en 25 dragen, bleek no. 24 de voorkeur te verdienen. De redenen voor deze voorkeur zijn:

- 1<sup>o</sup> de frequentieverdelingen van de procentuele afwijkingen van elk der drie instrumenten met het gemiddelde  $\bar{I}$  in de drie intervallen  $0,0 \leq \bar{I} \leq 25,0$ ;  $25,1 \leq \bar{I} \leq 50,0$ ;  $50,1 \leq \bar{I} \leq 75,0$  bleken in de twee laatste intervallen dezelfde gedaante te hebben; in het eerste interval bleek de frequentieverdeling van no. 24 symmetrisch te zijn, terwijl die van no. 23 en no. 25 dit beslist niet waren.
- 2<sup>o</sup> van de drie regressiekrommen tussen de procentuele afwijkingen van elk der drie instrumenten van  $\bar{I}$  en  $\bar{I}$  zelf bleek de regressiekromme van no. 24 het dichtst langs de  $\bar{I}$ -as te lopen.

Uit de drie regressiekrommen zijn drie correctiekrommen berekend, waarmee elke willekeurige dagsom van elk der drie instrumenten kan worden gereduceerd tot de beste schatting van de dagsom.

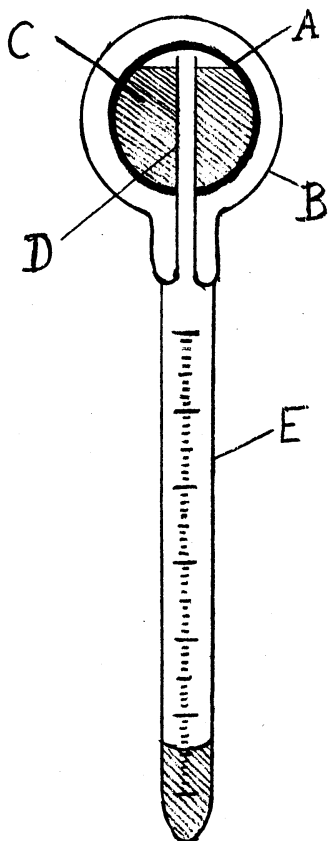
De aldus bepaalde beste schatting van een dagsom wordt afgerond op hele  $\text{cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ .

De procentuele afwijkingen van  $\bar{I}$  voor elk der instrumenten liggen voor 87%-90% binnen de maximale fout, veroorzaakt door aflezing en door gebruik van een ijkfactor als discontinue functie van de temperatuur. De instrumentele fout is hierbij dus niet in rekening gebracht.

### 1. Inleiding

Het grondprincipe van de bolpyranometer van Bellani (1776-1852) bestaat hierin, dat straling omgezet wordt in warmte. Deze warmte doet een vloeistof verdampen. De hoeveelheid verdampte vloeistof is dan een maat voor de hoeveelheid ontvangen straling. Dit principe is in het Fysisch.Meteorologisch Observatorium te Davos opnieuw uitgewerkt door P. Courvoisier en H. Wierzejewski [1954].

Een glazen bol A (zie figuur) is omgeven door een metaalmantel, welke door middel van verdamping op de bol is aangebracht; eerst een laag koper, dan een laagje nikkel en tenslotte een niet-gepolijst laagje chroom aan de buitenkant. Op het chroomlaagje is ook nog een grauwe, gelijkmatig absorberende, verflaag aangebracht. De metaalmantel is het zogenaamde ontvangende oppervlak, d.w.z. in die mantel wordt de ontvangen straling in warmte omgezet. Om de bol A met metalen mantel is nog een glazen bol B aangebracht om te beletten, dat door convection en conductie van de buitenlucht warmte van de metaalmantel wordt weggevoerd. (Zie H.J. de Boer [1958]).



Om dit goed uit te voeren wordt de ruimte tussen A en B zo goed mogelijk tot een vacuum gemaakt.

De glazen bol A is (zie tekening) gevuld met alcohol. Door de bol heen zit een glazen buis D, die naar beneden uitloopt in een wijder reservoir E. E is voorzien van een maatverdeling in centimeters en millimeters. De in de metaalmantel opgewekte warmte zal alcohol in C doen verdampen. Deze damp zet zich uit door D naar E, alwaar

condensatie optreedt. Het verschil in hoogte van de alcoholspiegel langs de maatverdeling, waargenomen tussen twee tijdstippen, is een maat voor de tussen die twee tijdstippen door bol A ontvangen straling (Courvoisier en Wierzejewski [1954], blz. 424 e.v.).

Zoals het toestel is geconstrueerd, kan de warmte, opgewekt in de metalenmantel, praktisch slechts op twee wijzen worden afgevoerd, 1° door straling, 2° door afvloeiing naar de alcohol in C, waar dan verdamping plaats vindt. De laatst genoemde wijze van warmte-afvoer werkt zoveel krachtiger dan de eerstgenoemde, dat voor het overgrote deel de warmte-afvoer op deze wijze geschiedt. De reden van dit verschijnsel is, dat het emissievermogen in het infrarood van metalen ongeveer slechts 10% van dat van een zwart lichaam bedraagt, terwijl in een metalen omhulsel de warmte snel gelijkmatig over de bol verdeeld wordt. Bovendien is de absorptie van het kortgolvlige zonnenspectrum door chroom vrij constant met de golflengte; daarom is een niet-gepolijst oppervlaidje van chroom op de metaalmantel aangebracht.

Er zijn nog enkele bijzonderheden van de bolpyranometer uit het artikel van Courvoisier en Wierzejewski te vermelden, welke van belang zijn voor het gebruik van het instrument. De ijkfactor K is het getal, waarmee het niveauverschil van de alcoholspiegel in buis E, in cm gemeten op twee verschillende tijdstippen, moet worden vermenigvuldigd om te weten hoeveel straling, gemeten in caloriën

per  $\text{cm}^2$  van het boloppervlak van A, op de metaalmantel van A is aangekomen tussen die twee tijdstippen. De ijkfactor K neemt iets af met toenemende temperatuur, daar de verdampingswarmte afneemt met toenemende temperatuur, n.l. ongeveer 0,2% per  $^{\circ}\text{C}$ . Op het ijkcertificaat wordt dan ook de waarde van K opgegeven voor verschillende temperaturen.

De traagheid van het instrument is groot. Als op het tijdstip  $t=0$  een constante hoeveelheid straling op een volledig gevulde bol A wordt geworpen, dan zal de destillatiesnelheid van de alcohol, d.w.z. de toename van de hoogte van de alcoholspiegel in E, eerst na 45 minuten 90% van de stationaire waarde bereikt hebben. In de loop van de dag verdampt alcohol en vermindert de hoeveelheid alcohol in A, waardoor de warmtecapaciteit afneemt en daardoor ook de tijdconstante. Het instrument is dus het beste te gebruiken als integrator met éénmaal dagelijkse aflezing vlak voor zonsopgang. Is de dag zo lang, dat bol A leeg zal zijn vóór zonsondergang, dan zal het beste zijn om wanneer de zon in het zenith staat een tussentijdse aflezing te doen en het apparaat te kippen, waardoor de bol weer zover volloopt, dat de inhoud tot de volgende morgen voldoende is. Afleesfouten en fouten, welke kunnen ontstaan door het aflezen bij zeer verschillende luchttemperaturen van begin en eindstand van de alcoholzuil, zijn meestal ver beneden 1%. In hoeverre deze bewering juist is, zullen we in de volgende paragraaf zien.

De som van de fouten in de bepaling van dagsommen van de straling bedraagt hoogstens ongeveer 3%. Voor kleine dagsommen kan deze uitspraak niet juist zijn.

Het K.N.M.I. had zich drie bolpyranometers volgens Bellani aangeschaft; deze instrumenten waren door het Fysisch-Meteorologisch Observatorium Davos vervaardigd en voorzien van de nummers 56023, 56024 en 56025. Voor elk van de instrumenten was een ijkcertificaat bijgevoegd met ijkfactoren  $K_t$  voor verschillende temperaturen  $t$ . De voor elk instrument bepaalde ijkfactor  $K_t$  is te Davos zo berekend, dat elk instrument daarmee de standaard te Davos zo goed mogelijk benadert. Elk instrument vertoont natuurlijk een afwijking van die standaard. De beste schatting van de "ware" dagsom aan straling, welke door de standaard wordt aangegeven, wordt door ons dus verkregen door het rekenkundig gemiddelde te nemen van de door elk van de drie instrumenten bepaalde dagsommen.

Op 23 augustus 1957 werden de drie bolpyranometers opgesteld in het instrumentenpark nabij het Landbouwhuis. De opstelling geschiedde zo, dat een gelijkbenige driehoek door de instrumenten wordt gevormd, waarbij de zijde van de driehoek 1,6 m lang is en de basis 1,9 m. De hoogte van de bol boven de grond is 1,5 m.

Elke morgen om 08<sup>h</sup>00 wordt de hoogte van de alcoholkolom, afgerond tot op de naaste 0,1 cm, van elke meter afgelezen. Na elke aflezing wordt het instrument gekipt, zodat de alcohol uit de meetbuis in de bol terugstroomt.

Daarna wordt het instrument weer in de vorige stand gebracht. Een beetje alcohol zal altijd in de meetbuis achterblijven. Na enkele minuten, als men zeker is dat alle alcohol van de wanden van de meetbuis naar beneden is gedropen, wordt de hoogte van de alcoholspiegel opnieuw afgelezen. Het verschil hoogte tussen de eerste aflezing van heden om 08<sup>h</sup>.00 met de tweede aflezing van gisteren om 08<sup>h</sup>.00 geeft aan in cm tot op één tiende nauwkeurig de lengte van de kolom overgedestilleerde alcohol tussen beide genoemde tijdstippen.

De lengte van de kolom alcohol moet dan nog omgezet worden in straling. Dit gebeurt door de lengte in cm te vermenigvuldigen met ijkfactor  $K_t$ ; het product geeft dan aan de hoeveelheid straling opgevangen door de bol in cal per cm<sup>2</sup> van het oppervlak van de bol. Als bepalende temperatuur wordt genomen de gemiddelde temperatuur over het tijdvak van 00<sup>h</sup>.40 tot 00<sup>h</sup>.40 de volgende dag, welke waarde aan het weerkaartje wordt ontleend. Als voorbeeld wordt nu pyranometer no. 56023 genomen. Het ijkoertificaat van dit instrument geeft op  $K_t = 8,6$  bij  $t = -10^\circ\text{C}$ ;  $K_t = 8,4$  bij  $t = 0^\circ\text{C}$ ;  $K_t = 8,2$  bij  $t = 10^\circ\text{C}$ ; enz. Deze waarden zijn berekend uit de formule  $K_t = K_0 \times (1 - 0,0022 t)$ , waarbij  $K_0$  de waarde 8,4 heeft. De berekening van  $K_t$  heeft nu in de praktijk als volgt plaats gevonden. Rondom de temperatuurwaarden, welke een geheel aantal malen  $2\frac{1}{2}^\circ\text{C}$  bevatten, wordt een interval van  $2\frac{1}{2}^\circ\text{C}$  uitgezet. Aan dat temperatuurinterval wordt een  $K_t$ -waarde toegekend, welke behoort bij het centrale punt van dat interval. Zie onderstaande tabel. Is nu de temperatuur gebleken  $6,1^\circ\text{C}$  te zijn geweest, dan is de bijbehorende  $K_t$ -waarde 8,30.

interval in °C	-11 1/4 -8 3/4	-8 3/4 -6 1/4	-6 1/4 -3 3/4	-3 3/4 -1 1/4
$K_t$	8,60	8,55	8,50	8,45

interval in °C	- 1 1/4 +1 1/4	+1 1/4 +3 3/4	+3 3/4 +6 1/4	+6 1/4 +8 3/4
$K_t$	8,40	8,35	8,30	8,25

interval in °C	+ 8 3/4 +11 1/4	+11 1/4 +13 3/4	+13 3/4 +16 1/4	+16 1/4 +18 3/4
$K_t$	8,20	8,15	8,10	8,05

interval in °C	+18 3/4 + 21 1/4
$K_t$	8,00

De aldus berekende dagsommen van de straling worden telkens ingevuld op die dag, waarop de eerste van de twee corresponderende aflezingen plaats vond. De eerste volledige waarnemingsdag is 24 augustus 1957 geweest. Het in dit rapport bewerkte materiaal is van 6 maanden (24-8-'57 tot en met 23-2-'58) afkomstig.

Het is de bedoeling aan het bewerkte materiaal te zien hoe groot de spreiding van de aflezingen voor elk van de drie instrumenten is, welke de tolerantie is en hoe de waarnemingen van elk instrument verbeterd kunnen worden met die van het andere tweetal.

## 2. Waarnemingsfout en ijkfout

De lengte van de alcoholkolom wordt bepaald door het verschil van twee aflezingen. Elke aflezing wordt afgerond tot op millimeters en heeft dus een maximale fout van  $\pm 0,05$  cm. De maximale fout in de lengte van de alcoholkolom bedraagt dus  $\pm 0,1$  cm of de nauwkeurigheid van de lengtebepaling is 0,1 cm.

In de inleiding is medegedeeld, dat bij de bewerking van het materiaal de ijkfactor met sprongetjes van 0,05 verandert, dus bij intervallen van  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Bij een temperatuur van  $10^{\circ}\text{C}$  bedraagt dan de maximale fout voor instrument no. 56023 0,30%, voor no. 56024 0,30% en voor no. 56025 0,27%; ruwweg voor alle drie instrumenten 0,3% (In het vervolg zullen de drie instrumenten worden aangeduid door no. 23, no. 24 en no. 25 respectievelijk.)

De maximale fout in % is voor een stralingssom van  $a$  cal  $\text{cm}^{-2}$  bij  $10^{\circ}\text{C}$  is dan gelijk aan

$$\pm \left( \frac{0,1 \text{ ijkfactor} \cdot 100}{a} + 0,3 \right)$$

In onderstaande tabel zijn bij elkaar gebracht de maximale fout in % voor de drie instrumenten bij verschillende waarden van de dagsommen van straling in cal  $\text{cm}^{-2}$  berekend met behulp van bovenstaande formule.

Tabel 1

Straling in cal cm <sup>-2</sup>	maximale fout in %		
	no.23	no.24	no.25
5	±16,7	±16,9	±18,9
10	8,5	8,6	9,6
20	4,4	4,5	4,9
30	3,0	3,1	3,4
40	2,3	2,4	2,6
50	1,9	2,0	2,2
75	1,4	1,4	1,5
100	1,1	1,1	1,2
150	0,9	0,9	0,9
200	0,7	0,7	0,8
250	0,6	0,6	0,7

Uit tabel 1 blijkt, dat eerst bij 50 cal cm<sup>-2</sup> de maximale fout ongeveer ± 2% is. Dit is in tegenstelling met hetgeen de constructeurs beweren; n.l. dat afleesfouten en dergelijke bij een enkele aflezing meestal ver beneden 1% liggen.

Ook in de inleiding is vermeld, dat de som van alle fouten bij dagsommen volgens de constructeurs hoogstens ongeveer 3% bedraagt. Voor waarnemingsfouten en ijkfouten alleen moet men dagsommen hebben boven 30 cal cm<sup>-2</sup> om een fout van hoogstens 3% te hebben. Voor de som van alle fouten zullen de dagsomwaarden nog groter moeten zijn om een dergelijke fout te kunnen toelaten.

Misschien, dat de zienswijze van de constructeurs juist is voor het stralingsklimaat van Davos, waar de dagsommen in de winter ongetwijfeld veel hoger zullen zijn dan die gemeten in De Bilt. In paragraaf 6 wordt van de inhoud van tabel 1 gebruik gemaakt voor de betrouwbaarheid van een enkele dagsombepaling, waarbij de dagsom kan liggen tussen 20 en 250 cal cm<sup>-2</sup>.

### 3. Verwisselbaarheid van plaats der instrumenten.

Zoals hierboven reeds is medegedeeld beschikken we over de metingen gedurende 6 maanden van dagsommen circumglobale straling in cal cm<sup>-2</sup>. De metingen zijn uitgevoerd met drie instrumenten no. 23, 24 en 25, welke in een driehoek waren opgesteld. Van tijd tot tijd werden de instrumenten cyclisch verwisseld, n.l. op 1 oktober 1957, op 1 november 1957 en op 6 januari 1958. De bedoeling van deze verwisseling is om na te gaan, of de plaats van invloed is op de gemeten dagsommen van de straling.

Per dag werd uit de drie verkregen dagsommen het rekenkundig gemiddelde ( $\bar{I}$ ) bepaald; eveneens werd voor elk instrument per dag de afwijking van  $\bar{I}$  uitgerekend, zowel in cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> als in procenten van  $\bar{I}$ .

De drie instrumenten in een driehoek opgesteld kunnen elk drie standplaatsen hebben, n.l. I, II en III. Voor elk van de drie instrumenten worden de procentuele afwijkingen van  $\bar{I}$  voor elk van de drie mogelijk standplaatsen bijeengebracht in de 4 intervallen  $50,0 < \bar{I} \leq 75,0$ ;  $75,0 < \bar{I} \leq 100,0$ ;  $100,0 < \bar{I} \leq 125,0$  en  $125,0 < \bar{I} \leq 150,0$ . In onderstaande tabel 2 is vermeld de aantallen, welke in de verschillende mogelijke gevallen voorkomen.

Tabel 2

interval	$50,0 < \bar{I} \leq 75,0$			$75,0 < \bar{I} \leq 100,0$			$100,0 < \bar{I} \leq 125,0$			$125,0 < \bar{I} \leq 150,0$		
instr.no.	23	24	25	23	24	25	23	24	25	23	24	25
I	14	14	14	9	9	9	6	6	6	9	9	9
II	3	3	3	5	5	5	4	4	4	2	2	2
III	8	8	8	7	7	7	2	2	2	3	3	3

Men onderstelt nu het volgende: Onderlinge verwisseling in de plaats van de drie bolpyranometers heeft geen invloed op de procentuele afwijkingen van  $\bar{I}$ .

Deze onderstelling werd met behulp van de H-toets voor de 4 bovengenoemde intervallen van  $\bar{I}$  afzonderlijk, maar ook gezamenlijk, getoetst. De resultaten van deze toetsing zijn in tabel 3 bijeengebracht.

Tabel 3

instrument →	no.23			no.24			no.25		
	H	v	P	H	v	P	H	v	P
$50,0 < \bar{I} \leq 75,0$	3,40	2	0,19	3,10	2	0,21	2,96	2	0,23
$75,0 < \bar{I} \leq 100,0$	3,15	2	0,21	1,74	2	0,41	1,30	2	0,52
$100,0 < \bar{I} \leq 125,0$	2,83	2	0,23	0,12	2	0,94	0,85	2	0,65
$125,0 < \bar{I} \leq 150,0$	3,66	2	0,16	3,21	2	0,20	2,99	2	0,23
$50,0 < \bar{I} \leq 150,0$	13,04	8	0,11	8,17	8	0,42	8,10	8	0,43

De overschrijdingskansen P voor elk van de drie pyranometers in elk van de 4 intervallen en in alle 4 intervallen tezamen, vermeld in tabel 3, geven duidelijk aan ( $P > 0,05$ ), dat de geuite onderstelling niet behoeft te worden verworpen.

Tegen deze conclusie kan worden ingebracht dat volgens tabel 2 in sommige intervallen de waarnemingsreeks erg kort is (bv. 2, 3 of 4).



Daarom is een andere nulhypothese opgesteld: De opstelling I geeft voor elk van de drie pyranometers dezelfde onderlinge afwijkingen als opstelling II en III tezamen. Deze hypothese is getoetst met de toets van Wilcoxon. De resultaten van deze toetsing zijn verzameld in tabel 4.

Tabel 4

instrument no. →	u-waarden			$\frac{1}{2}$ mn	$\sigma$	P-waarden		
	23	24	25			23	24	25
$50,0 < \bar{I} \leq 75,0$	110	$92\frac{1}{2}$	$47\frac{1}{2}$	77	18,27	0,08	0,41	0,11
$75,0 < \bar{I} \leq 100,0$	$29\frac{1}{2}$	$71\frac{1}{2}$	69	54	14,07	0,09	0,23	0,30
$100,0 < \bar{I} \leq 125,0$	18	$16\frac{1}{2}$	$18\frac{1}{2}$	18	6,24	1,00	0,87	1,00
$125,0 < \bar{I} \leq 150,0$	14	$31\frac{1}{2}$	20	$22\frac{1}{2}$	7,50	0,28	0,26	0,79
$50,0 < \bar{I} \leq 150,0$	$171\frac{1}{2}$	212	155	$171\frac{1}{2}$	25,04	1,00	0,11	0,92

De P-waarden in tabel 4 geven aan de tweezijdige overschrijdingskansen. Daar alle P-waarden groter dan 0,05 blijken te zijn, is er geen reden om de gestelde hypothese te verwerpen.

Indien bij de berekening van de P-waarden de correctie voor het optreden van gelijken onder de rangnummers wordt toegepast, dan veranderen de P-waarden praktisch niet van waarde. De conclusie blijft dus gelden, dat verwisseling van plaats geen invloed heeft op de afwijkingen van de dagsommen van elk instrument van het gemiddelde der dagsommen van de drie instrumenten.

4. Distributieve verdeling van procentuele afwijkingen in verschillende intervallen van stralingsintensiteit.

Ten einde de meetresultaten van de drie instrumenten no. 23, 24 en 25 met elkaar te kunnen vergelijken en daar de onnauwkeurigheid van lage waarden der dagsommen vrij groot is, hebben we distributieve frequentieverdelingen van de procentuele afwijkingen van elk instrument van  $\bar{I}$  in drie intervallen van  $\bar{I}$ , nl.  $0,0 \leq \bar{I} \leq 25,0$ ;  $25,1 \leq \bar{I} \leq 50,0$ ;  $50,1 \leq \bar{I} \leq 75,0$ , en in intervallen van 1% van de procentuele afwijkingen opgemaakt. De aantallen waarnemingen in de verschillende intervallen voor elk der drie instrumenten zijn in tabel 5 bijeen gebracht. In het interval  $0 \leq \bar{I} \leq 25,0$  zijn er 56 waarnemingen, in het interval  $25,1 \leq \bar{I} \leq 50,0$  bevinden zich 27 waarnemingen en in het derde interval zijn er 26 waarnemingen van elk der drie instrumenten.

Tabel 5

interval van proc.afw.	$0,0 \leq \bar{I} \leq 25,0$			$25,1 \leq \bar{I} \leq 50,0$			$50,1 \leq \bar{I} \leq 75,0$		
	23	24	25	23	24	25	23	24	25
$\leq - 5,0$	8	4	10	2	3	0	1	0	1
-4,9 - -4,0	7	2	0	0	1	0	1	1	0
-3,9 - -3,0	1	8	2	1	0	0	0	1	0
-2,9 - -2,0	5	1	3	4	1	0	0	0	1
-1,9 - -1,0	9	4	2	5	5	1	4	0	2
-0,9 - 0,0	7	17	5	7	9	6	12	13	3
+0,1 - 1,0	1	6	6	5	6	7	6	8	15
1,1 - 2,0	4	5	5	0	1	6	1	2	2
2,1 - 3,0	4	1	4	1	1	4	0	0	0
3,1 - 4,0	2	2	4	1	0	1	1	0	0
4,1 - 5,0	3	1	5	0	0	0	0	1	0
$> 5,0$	5	5	10	1	0	2	0	0	2

In tabel 5 kan men constateren, dat in het interval  $50,1 \leq \bar{I} \leq 75,0$  de procentuele afwijkingen van no. 23 goed symmetrisch verdeeld liggen rondom  $-0,4$ , die van no. 24 rondom  $-0,1$  en die van no. 25 rondom  $+0,5$ . Het is dus moeilijk aan één der drie instrumenten de voorkeur te geven, tenzij men zou willen laten gelden, dat alleen alle afwijkingen  $(I_{24} - \bar{I})/\bar{I}$  binnen  $\pm 5\%$  blijven. Van no. 23 valt er één waarneming en van no. 25 vallen drie waarnemingen buiten  $\pm 5\%$ . Ook in het interval  $25,1 \leq \bar{I} \leq 50,0$  is het moeilijk voorkeur aan één der drie instrumenten te geven.

Echter in het interval  $0 \leq \bar{I} \leq 25,0$  geven we de voorkeur aan no. 24 daar alle waarnemingen vrij goed symmetrisch rondom een interval (i.c. het interval  $-0,9 - 0,0$ ) liggen; de frequentieverdelingen van de beide andere instrumenten zijn veel minder symmetrisch. Van no. 24 liggen van de 56 waarnemingen slechts 9 procentuele afwijkingen van  $\bar{I}$  buiten  $\pm 5$ , terwijl voor no. 23 13 en voor no. 25 20 procentuele afwijkingen buiten  $\pm 5,0$  liggen.

Ten einde de symmetrie van de verdeling van de procentuele afwijkingen van no. 24 nog beter te doen uitkomen, hebben we andere intervallen van procentuele afwijkingen gekozen; deze nieuwe verdelingen van de drie instrumenten in het interval  $0 \leq \bar{I} \leq 25,0$  zijn in tabel 6 verzameld.

Tabel 6

interval van proc. afw.	$0,0 \leq \bar{I} \leq 25,0$		
	23	24	25
$\leq - 8,0$	2	2	4
-7,9 - -6,0	4	2	3
-5,9 - -4,0	9	2	3
-3,9 - -2,0	6	9	5
-1,9 - 0,0	16	21	7
+0,1 - 2,0	5	11	11
2,1 - 4,0	6	3	8
4,1 - 6,0	3	3	7
6,1 - 8,0	0	1	7
$> 8,0$	5	2	1

Uit tabel 6 blijkt nu duidelijker, dat alleen no. 24 een symmetrische verdeling der procentuele afwijkingen heeft, terwijl bovendien de breedte van de distributieve verdeling van de proc. afw. van no. 24 veel smaller is, dan die van de beide andere instrumenten.

Door de eigenschappen in deze paragraaf genoemd zouden we aan bolpyrameter no. 56024 de voorkeur boven de andere twee moeten geven.

Bij de bewerking van het materiaal in de frequentieverdelingen van tabel 5 en tabel 6 is geen rekening meer gehouden met de standplaats van elk instrument, daar in de voorgaande paragraaf reeds was aangetoond, dat verschil in standplaats geen invloed op de procentuele afwijkingen had.

5. Correctie voor herleiding op het gemiddelde.

Voortbouwende op de aanname dat de gemiddelde waarde van de door de drie instrumenten bepaalde dagsommen aan circumglobale straling de beste schatting van de ware dagsom is, hebben we op grafiekpapier alle proc.afw. van no.23 ten opzichte van  $\bar{I}$  uitgezet tegen de corresponderende  $\bar{I}$ -waarden; alleen waarden groter dan  $20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$  zijn uitgezet, zodat in fig.1 135 punten zijn te vinden. Van de punten, welke in de volgende zeven intervallen liggen ( $25 \leq \bar{I} \leq 50$ ;  $50 \leq \bar{I} \leq 75$ ;  $75 \leq \bar{I} \leq 100$ ;  $100 \leq \bar{I} \leq 125$ ;  $125 \leq \bar{I} \leq 160$ ;  $160 \leq \bar{I} \leq 215$ ;  $215 \leq \bar{I} \leq 250$ ), zijn in elk interval de zwaartepunten op-gemaakt. In fig.1 zijn deze zwaartepunten in de 7 intervallen met kruisjes aangegeven. Door de kruisjes hebben we op het oog zo goed mogelijk een glatte regressiekromme getrokken. Deze is in de figuur met een getrokken lijn aangegeven. Het blijkt nu, dat de regressiekromme voor no. 23 in haar geheel beneden  $\bar{I}$  ligt.

Dit betekent, dat bij elke waarneming van een dagsom iets moet worden opgeteld om de beste schatting te krijgen. Hoeveel moet er dan telkens bij worden opgeteld?

Gesteld, dat de dagsom op  $128,3 \text{ cal cm}^{-2}$  is bepaald. Volgens de regressiekromme is de afwijking van no. 23 dan  $-0,5\%$ . Dat betekent, dat bij  $128,3 \text{ cal cm}^{-2}$   $0,5\%$  van dit bedrag moet worden opgeteld of  $0,6 \text{ cal cm}^{-2}$ . Met behulp van deze regressiekromme kan dus gemakkelijk voor elke waarde van  $\bar{I}$  worden berekend, hoeveel  $\text{cal cm}^{-2}$  tot in tienden bij de reeds tot in tienden van  $\text{cal cm}^{-2}$  bepaalde dagsom moet worden opgeteld om de beste schatting te krijgen.

In fig.4 hebben we deze bedragen uitgezet tegenover de overeenkomstige  $\bar{I}$ -waarden en door de uitgezette punten een glatte kromme getrokken. Deze kromme, welke uiteraard geheel in het positieve deel van de figuur ligt, geeft dus op eenvoudige wijze weer, hoeveel  $\text{cal.cm}^{-2}$  bij elke willekeurige waarde van  $\bar{I}$  (tot aan  $250 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ ) moet worden opgeteld om de beste schatting te krijgen.

De 135 procentuele afwijkingen van no. 24 ten opzichte van  $\bar{I}$ , waarbij  $\bar{I}$  groter dan  $20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$  is, zijn in figuur 2 uitgezet tegenover de overeenkomstige  $\bar{I}$ -waarden. Evenals in het vorige geval hebben we door de zwaartepunten van dezelfde 7 intervallen in de  $\bar{I}$ -waarden als voor no. 23 op het oog een glatte regressiekromme getrokken. Deze regressiekromme ligt bijna geheel in het negatieve deel van de figuur, hoewel de afwijkingen maar klein zijn. De regressiekromme van fig.2 kan nu ook gemakkelijk omgezet worden in een correctiekromme, welke aangeeft, hoeveel  $\text{cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$  tot in tienden bij een dagsombepaling tot in tienden van  $\text{cal cm}^{-2}$  van no. 24 moeten worden opgeteld om met instrument no. 24 de beste schatting van de dagsom van circumglobale straling te verkrijgen. Deze correctiekromme is in figuur 5 weergegeven.

Dezelfde bewerkingen zijn verricht aan de 135 procentuele afwijkingen van de dagsomwaarden van no. 25 ten opzichte van  $\bar{I}$ , waarbij  $\bar{I}$  groter is dan  $20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ . In figuur 3 zijn de 135 punten uitgezet en is de regressiekromme van no. 25 getekend. Men kan nu opmerken, dat bij een bepaalde waarde van  $\bar{I}$  de som van de bijbehorende procentuele afwijkingen van de drie instrumenten nul moet zijn. De regressiekromme van no. 25 blijkt ook dus automatisch geheel in het positieve deel van de figuur te liggen.

De correctiekromme voor dit instrument is in fig.6 weergegeven. Als we de drie verschillende correctiekrommen beschouwen, dan blijkt dat instrument no. 24 dagsommen oplevert, welke het dichtst bij de beste schatting liggen. Ook in dit opzicht zou men een voorkeur voor no. 24 kunnen hebben.

6. De procentuele afwijkingen van het gemiddelde tegenover de procentuele fout der metingen uitgezet ten opzichte van de regressiekromme.

In paragraaf 2 is berekend de maximale afleesfout en de maximale fout ten gevolge van het feit, dat een ijkfactor tussen zekere temperatuurgrenzen geldig is. In tabel 1 is de som van deze maximale fouten bij elk van de drie instrumenten voor zekere waarden van de dagsom aan circumglobale straling medegedeeld. In fig.1 hebben deze sommen van maximale fouten in procenten van no. 23 uitgezet aan weerszijden van de regressiekromme. Vervolgens is een gladde streeplijn door deze punten getrokken. Het blijkt nu, dat van de 135 punten, welke in fig. 1 waren uitgezet, slechts 13 buiten het "tolerantie" gebied van de streeplijnen vallen. Verder is bij de berekening van de som van de maximale fouten en dus bij de breedte van het tolerantiegebied nog geen rekening gehouden met instrumentele fouten; indien dit wel zou geschieden, dan zou de breedte van het tolerantiegebied nog toenemen en het aantal punten, dat binnen het gebied valt nog groter worden dan 90%. Hetzelfde proces wordt ook toegepast op de 135 punten van no. 24 in fig.2. Het blijkt, dat daar 120 van 135 punten (=89%) binnen het gebied vallen. In fig.3 blijken 117 van de 135 punten (=87%) van instrument no. 25 binnen de "tolerantie" te vallen. Voor deze instrumenten geldt ook, dat het "tolerantie" gebied breder zal worden en dus meer dan 89% resp. 87% van alle punten zal bevatten, als ook de instrumentele fouten in de beschouwing worden opgenomen.

Op deze plaats moet nogmaals nadruk gelegd worden op hetgeen de constructeurs van de Bellani Bolpyranometers meedelen over de fouten, zonder, dat de grootte hiervan wordt verklaard:

- 1° De afleesfout en de fout tengevolge van de toepassing van een ijkfactor, welke in de temperatuur intervallen constant is en discontinue van waarde verandert aan de grenzen der intervallen, bedraagt meestal ver beneden 1% van de dagsommen.
- 2° De totale fout bedraagt hoogstens ongeveer 3%.

7. Conclusies.

Uitgaande van de aanname, dat de beste schatting van de ware dagsom van de circumglobale straling wordt verkregen door het rekenkundig gemiddelde te nemen van de dagsommen van de drie instrumenten, en constaterende in tabel 5 en tabel 6, dat apparaat no. 24 de voorkeur verdient boven de andere twee, zou no. 24 als standaard voor kortgolvlige circumglobale straling op het K.N.M.I. kunnen dienen.

Met alle drie instrumenten moeten als volgt de dagsommen worden bepaald. Het verschil in hoogte van de alcoholkolom tussen de aflezingen van de hoogte

van de alcoholkolom tot op 1/10 cm nauwkeurig aan het begin van twee opeenvolgende dagen wordt vermenigvuldigd met een ijkfactor om de hoeveelheid straling in cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> aan te geven. De ijkfactor wordt bepaald, zoals dit in de inleiding is vermeld. Daarna wordt een correctie tot op 1/10 cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> toegepast, welke op resp. fig. 4, 5 of 6 kan worden afgelezen. Hiermede is dan de beste schatting verkregen.

Deze beste schatting is dan uitgedrukt tot in 1/10 cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>. Daar de totale fout (zie § 6, 2<sup>o</sup>) hoogstens ongeveer 3% bedraagt, kan de aldus verkregen dagsom tot op de naaste gehele cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> worden afgerond zonder aan de nauwkeurigheid te kort te doen, althans bij dagsommen groter dan 40 cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup>; n.l. de fout, aangegeven door de streeplijn in fig. 1, 2 en 3 vermeerderd met deze nieuwe afrondingsfout is bij ongeveer 40 cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> ± 3%. Nemen we aan, dat de instrumentale fout 2% bedraagt, dan mag de afronding tot op hele caloriën plaats vinden praktisch voor elke grootte van de dagsom (zie tabel 1.)

Ik dank de heer H. de Hart voor zijn hulp bij de bewerking van het materiaal en bij de uitvoering van de toetsen.

#### Literatuur

- [1954] Courvoisier, P. und H. Wierzejewski; "Das Kugelpyranometer Bellani", Archiv Met., Geoph. u. Bioklim. , Serie B Bd. 5 (1954), S. 413-446.
- [1958] de Boer, H.J.; "Over een eenvoudig instrument om straling tussen het gewas te meten", De Bilt, K.N.M.I., V-26 (R III-216-1958).

afwijkingen in % van nr 23 t.o.v.  $\bar{J} = \frac{23+24+25}{3}$   
 waarden < 20 cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> zijn niet uitgezet

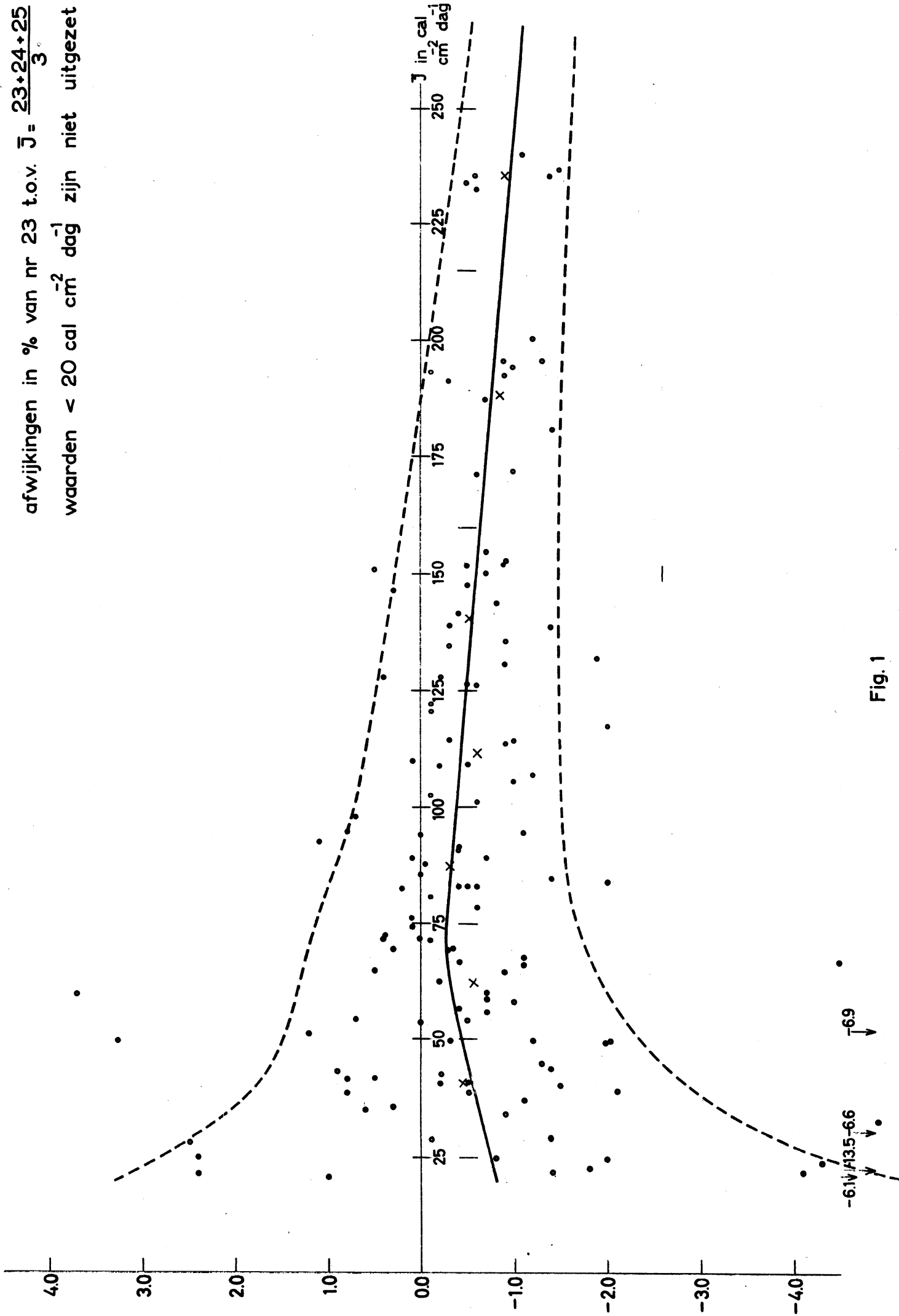


Fig. 1

↑ 6.7

afwijkingen in % van nr 24 t.o.v.  $\bar{J} = \frac{23+24+25}{3}$   
waarden  $< 20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dag}^{-1}$  zijn niet uitgezet

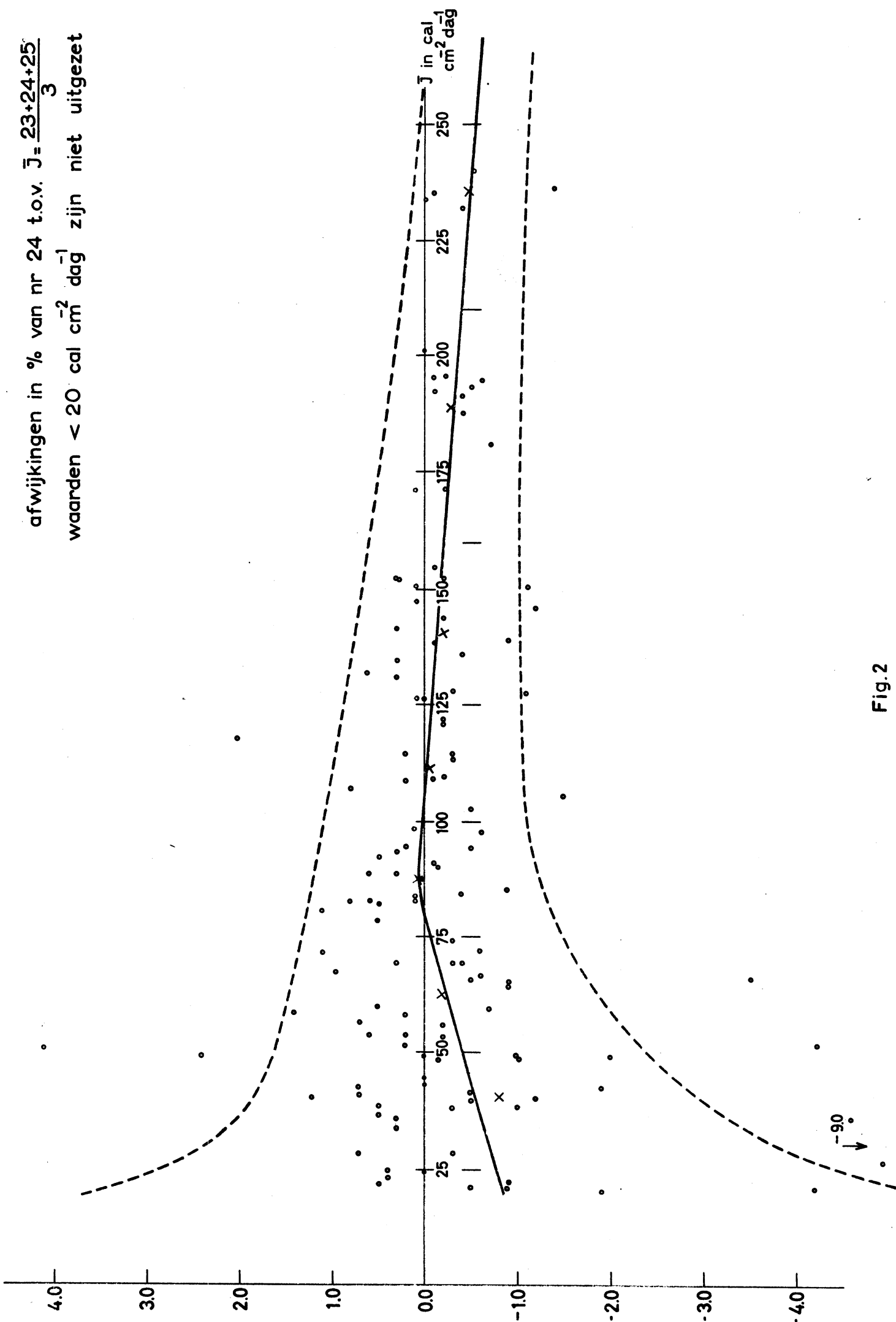


Fig. 2



66.1 119.1 13.6  
 6.7 11.0 8.0

afwijkingen in % van nr 25 t.o.v.  $\bar{J} = \frac{23+24+25}{3}$   
 waarden < 20 cal cm<sup>-2</sup> dag<sup>-1</sup> zijn niet uitgezet

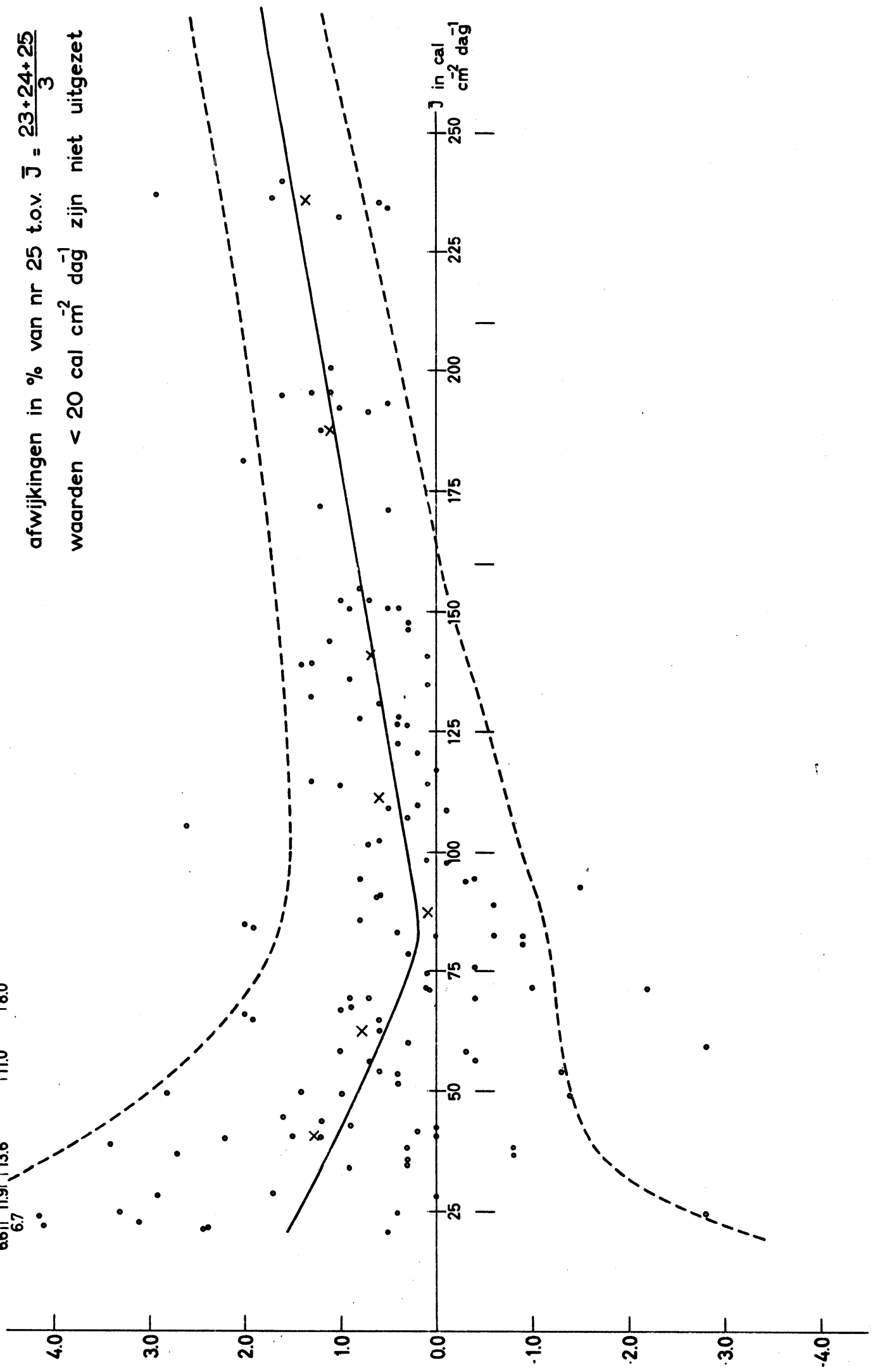


Fig. 3

correctie op dagsommen van  
nr. PBK 56023 N

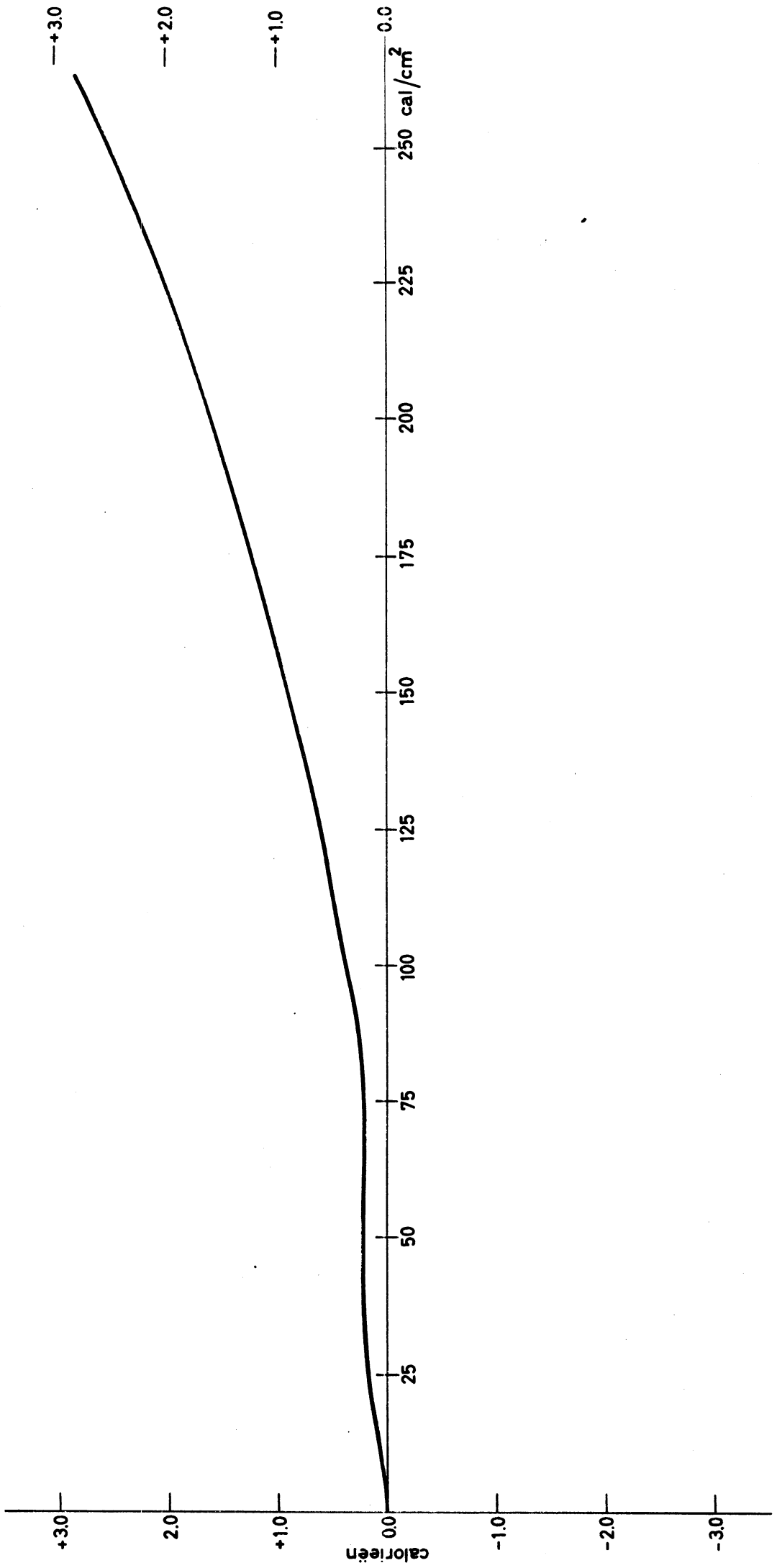


Fig. 4

correctie op dagsommen van  
nr. P BK 56024 N



Fig. 5

correctie op dagsommen van  
nr. P B K 26025 N

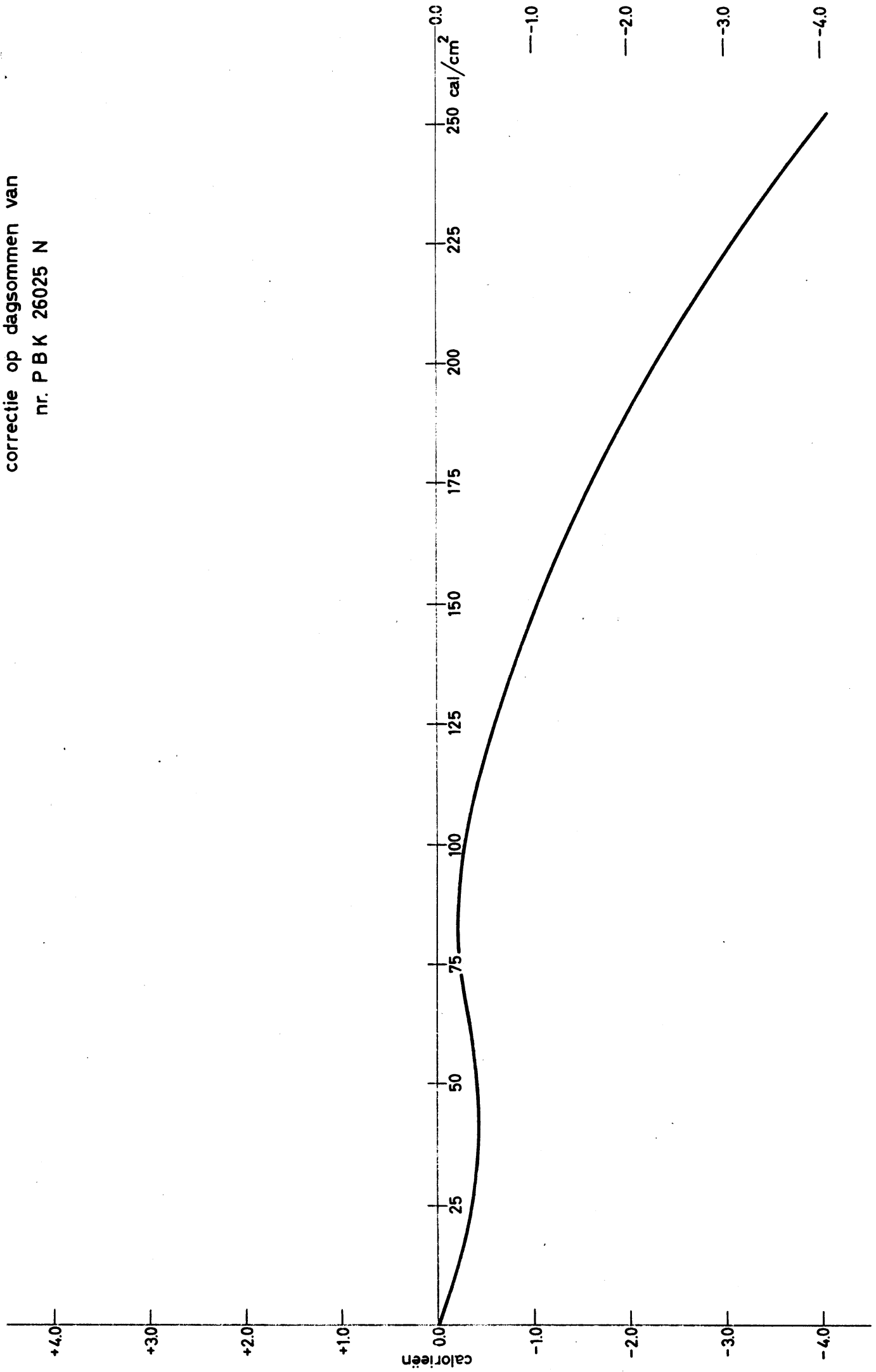


Fig. 6