

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT
SCIENTIFIC REPORT

W. R. 78-14

A. J. Frantzen en W. R. Raaff

De globale straling in het Rijnmondgebied



De Bilt, 1978

Publikationsnummer: K.N.M.I. W.R. 78-14 (M.O.)

U.D.C.: 551.521.1 (492.61) :
551.501.721

Samenvatting

Met behulp van metingen van de globale straling van 1 november 1970 tot 1 februari 1974 op 12 stations in het Rijnmondgebied is nagegaan of er in dit gebied verschillen in stralingsontvangst optraden.

Het centrale gedeelte van dit gebied, met name Rotterdam en omgeving, ontving in de meetperiode 8 à 10 % minder straling dan de rand van dit gebied.

Daar het vermoeden bestaat dat deze verminderde stralingsontvangst is te wijten aan luchtverontreiniging, die in het Waterweggebied wordt geproduceerd, zijn de uursommen van de globale straling bij onbewolkt weer in beschouwing genomen. De uursommen op de stations bij onbewolkt weer zijn vergeleken met die te Greup, een station aan de rand van het gebied. Deze "relatieve" uursommen zijn ingedeeld naar seizoen en windrichting.

In het zomerhalfjaar is een maximaal verschil van 11 % in de globale straling over het gebied gemeten en in het winterhalfjaar zelfs 19 %. Het minimum van de globale straling werd in het zomerhalfjaar te Berkel, Vlaardingen en Rotterdam, in het winterhalfjaar te Berkel, Heenvliet en Rotterdam aangetroffen. Voor een verschuiving van de ligging van het stralingsminimum in afhankelijkheid van de windrichting zijn zwakke aanwijzingen.

De verschillen in globale straling tussen sommige stations worden, onder aanname van een nauwkeurigheid in de meetuitkomsten van 5 %, toegeschreven aan verschillen in turbiditeit in de grenslaag.

Summary

Differences in insolation within the industrial region of the Nieuwe Waterweg west of Rotterdam in The Netherlands have been investigated by comparing during three years measurements of global radiation at twelve stations.

The central part of the area, in particular Rotterdam and its surroundings, has received less global radiation than the outskirts during the period considered; the deficit was 8 to 10 %.

In order to show that the deficit is due to increased attenuation by polluted air, the hourly sums of global clear sky radiation have been considered relative to those obtained at Greup, a station situated at the fringe of the area, distinguishing between seasons and wind direction.

In summer a maximum difference of 11 % in solar radiation is observed across the area; in winter the deficit amounted to 19 %. The minimum in global radiation in the summer half of the year was found at Rotterdam, Berkel and Vlaardingen, and in the winter half of the year at Rotterdam, Berkel and Heenvliet. There are slight indications of a shift of the minimum, dependent on wind direction.

Assuming an accuracy of 5 % in the radiation measurements, the differences in insolation are taken to be real and attributable to a difference in turbidity in the boundary layer over the area considered.

Inhoud

	blz.
1. Inleiding	1
2. Materiaal	3
3. Klimatologische resultaten	4
4. De globale straling bij onbewolkt weer in het Rijnmondgebied	5
4.1 Theoretische beschouwing	5
4.2 Meetfouten	9
4.3 Meetresultaten	10
5. Zonnige dagen	15
Dankbetuiging	16
Literatuur	16
Tabellen en figuren	

De globale straling in het Rijnmondgebied

A.J. Frantzen en W.R. Raaff

1. Inleiding

Uit onderzoeken is gebleken dat de inkomende kortgolvlige straling in stadsgebieden gemiddeld ongeveer 10 à 20 % minder bedraagt dan in de landelijke omgeving [1, 2]. Dit zou in hoofdzaak aan een verschil in verzwakking van de zonnestraling door luchtverontreiniging zijn te wijten. Dit effect is in een aantal steden onderzocht.

In het stedelijk en industriegebied van Budapest is in de winter over een afstand van 15 kilometer gemiddeld een verschil van 18 % in de globale straling, gemeten met Robitzsch pyranometers, geconstateerd. De verschillen waren afhankelijk van de windrichting en werden in verband gebracht met de mate van luchtverontreiniging [3].

In het Cincinnati-gebied vergeleek Bach [4] metingen met Volz fotometers op een heilige dag met die op een dag met een heldere atmosfeer; hij kwam tot de conclusie dat de verzwakking van de directe straling door de atmosfeer, afgezien van absorptie door waterdamp, voor respectievelijk 65 en 30 % in de onderste kilometer plaatsvond.

Yamashita [5] vergeleek de globale straling op drie plaatsen in en nabij Toronto, op afstanden van 15 à 20 km van elkaar gelegen, op negen wolkenloze dagen. Het grootste verschil tussen de meetuitkomsten in en buiten de stad bedroeg 13 %.

Fujimoto [6] vergeleek de globale straling, gemeten op wolkenloze dagen, te Tokio, als representatief voor een plaats met veel luchtverontreiniging, met die van het 60 km noordelijker gelegen Tateno, als representatief voor een plaats met weinig luchtverontreiniging. Het verschil in dagwaarden bedroeg gemiddeld ongeveer 10 %.

In Nieuw-Zeeland vonden Tapper en Owens [12] uit metingen op twintig onbewolkte dagen in het eerste halfjaar van 1976 een gemiddeld verschil van 15 % in de globale straling tussen stad en platteland.

In Nederland zijn in de IJmond door de Dienst Milieuhygiëne Zaanstad metingen verricht met solarimeters van Kipp en Zonen in de omgeving van het Hoogoventerrein [7]. Men kwam tot de conclusie dat alleen op korte afstand van het Hoogoventerrein (minder dan 5 km) windafwaarts gedurende enkele uren van de dag een significant verminderde zoninstraling kon optreden. De vermindering bedroeg gemiddeld ongeveer 16 % op dagen met een relatieve zonneshijnduur van meer dan 50 %.

Het Rijnmondgebied is een belangrijk haven- en industriegebied. In de directe omgeving zijn veel tuinbouwkassen gelegen.

Van 1 november 1959 tot 1 november 1961 is de globale straling gemeten op zes plaatsen in het Rijnmondgebied. De Boer [8] heeft met behulp van de resultaten van deze metingen de verschillen in globale straling tussen deze plaatsen onderzocht en vond dat deze in een aantal gevallen significant waren, afhankelijk van de windrichting en de ligging van het meetstation. Hij gaf o.m. aan dat de globale straling, bij onbewolkte hemel en gemiddeld over de hele periode en alle windrichtingen, op het platteland 13 tot 17 % groter was dan in het centrum van het stedelijk en industriegebied van Rotterdam. De grote verschillen in globale straling meent hij te mogen toeschrijven aan de verschillen in luchtverontreiniging.

Mede naar aanleiding van het rapport van De Boer [8] zijn in de Rijnmond opnieuw continue metingen van de globale straling gedaan, thans in een langere periode, nl. van 1 november 1970 tot 1 februari 1974, en op een groter aantal plaatsen. Over deze metingen wordt in dit rapport verslag uitgebracht.

2. Materiaal

Continue metingen van de globale straling in het golflengtegebied 0,3 tot $3\ \mu\text{m}$ zijn verricht op de volgende twaalf stations in het Rijnmondgebied:

Stationsnummer	Stationsnaam
801	Berkel
802	Berkenwoude
803	Greup
804	Heenvliet
805	Hellevoetsluis
806	Maasland
807	Naaldwijk
808	Oostvoorne
809	Rotterdam (radartoren in Waalhaven)
810	Vlaardingen-mast (op 10 m hoogte)
811	Vlaardingen-watertoren (op 40 m hoogte)
812	Ypenburg

De ligging van deze stations in is fig. 1 aangegeven. De afstand tussen het meest westelijke station Oostvoorne en het meest oostelijke station Berkenwoude is ongeveer 40 kilometer.

De globale straling is gemeten met pyranometers van het type Moll-Gorczyński; de uursommen zijn geregistreerd met behulp van integratoren en Sodeco-tellers. De integratoren zijn ontwikkeld op het KNMI, door drs. S. Schoen van de Instrumentele Afdeling. Per uurvak geeft de integrator een aantal pulsen, dat een maat is voor de hoeveelheid globale straling gedurende dat uurvak. Deze pulsen worden geteld door de Sodeco-teller en het aantal pulsen wordt eenmaal per uur op een telstrook afgedrukt. De pyranometers zijn in het laboratorium geijkt tegen een standaardpyranometer.

Aan de metingen is veel zorg besteed. Zo werd tweemaal per week het kapje van de pyranometer schoongemaakt. Circa eens per jaar werden de instrumenten verwisseld om de invloed van eventueel overblijvende verschillen tussen de instrumenten teniet te doen.

Uit dit meetnet zijn uursommen verkregen gedurende een periode van iets meer dan drie jaren. Door diverse oorzaken bevatten de reeksen van sommige stations echter hiaten, waarmee bij de onderlinge vergelijking van meetresultaten rekening moet worden gehouden.

3. Klimatologische resultaten

Met gebruikmaking van alle gegevens is voor elke maand van het jaar per station de gemiddelde dagsom berekend. Waar op sommige stations een aantal dagen met waarnemingen ontbrak, is het gemiddelde met behulp van de verhoudingenmethode herleid tot een waarde, die representatief mag worden geacht voor de gehele meetperiode. De resultaten zijn in tabel 1 weergegeven. Daarin zijn tevens opgenomen de resultaten verkregen in dezelfde periode te De Bilt, terwijl de gemiddelde dagsom ook is uitgedrukt als een percentage van de gemiddelde dagsom te Greup.

Uit de tabel valt op te maken dat in het Rijnmondgebied over het algemeen te Greup (803) de meeste straling en te Rotterdam (309) de minste straling wordt ontvangen. Voorts blijkt de hoeveelheid straling te De Bilt vergelijkbaar te zijn met die in de Rijnmond.

De periode van waarneming is te kort om een stabiel klimatologisch gemiddelde te verkrijgen. Tabel 1 stelt ons echter in staat eventueel een schatting te maken van een veeljarig gemiddelde door vergelijking met de resultaten, die in De Bilt zijn verkregen.

Na bestudering van de cijfers in tabel 1 is het duidelijk dat de stad Rotterdam minder straling ontvangt dan haar omgeving, per maand 7 à 15 % minder dan te Greup. Dit is waarschijnlijk niet het gevolg van foutieve metingen te Rotterdam Waalhaven, want ook de omgeving, zoals de metingen te Vlaardingen, Berkel en Berkenwoude aantonen, ontvangt minder straling dan Greup, Hellevoetsluis, Oostvoorne en Naaldwijk.

In fig. 2 (a t/m f) is de verdeling van de relatieve gemiddelde stralingsom in procenten ten opzichte van die te Greup weergegeven per seizoen. Deze verdelingen kenmerken zich door:

- een relatief stralingsminimum in Rotterdam en omgeving en een grotere uitgebreidheid van dit minimumgebied in de herfst en de winter dan in de lente en de zomer;
- een relatief stralingsmaximum aan de kust in de lente en ook wel in de zomer.

Om aan te geven hoe gemiddeld over het jaar de verhoudingen verdeeld zijn, is het percentage (t.o.v. Greup) over het jaar gemiddeld in fig. 3 afgebeeld. De ongelijke lengte van de maanden is in aanmerking genomen maar dit maakt niet veel uit.

Het weergeven van de gemiddelde jaarsom leert ons niets nieuws, daar deze hoofdzakelijk wordt bepaald door de verdeling in het zomerhalfjaar.

Ter completering van dit klimatologisch overzicht wordt in tabel 2 de maximale dagsom opgegeven, die in de periode november 1970 t/m januari 1974 in het Rijnmondgebied en te De Bilt is gemeten.

4. De globale straling bij onbewolkt weer in het Rijnmondgebied

Daar het in de bedoeling ligt na te gaan of in het stedelijk en industriegebied van de Rijnmond de verschillen in globale straling mogelijk aan luchtverontreiniging zijn te wijten, is het nodig de globale straling bij onbewolkt weer op de verschillende meetplaatsen te vergelijken. Immers, aanwezigheid van bewolking zou de onderlinge vergelijking van de globale straling zeer bemoeilijken.

4.1 Theoretische beschouwing

Bij doorgang van de atmosfeer wordt de zonnestraling verzwakt, doordat een aantal processen plaatsvindt:

- (1) Een gedeelte van de stralingsenergie wordt geabsorbeerd door gassen en stofdeeltjes. De straling met golflengte kleiner dan $0,3 \mu\text{m}$ wordt nagenoeg geheel door ozon en zuurstof geabsorbeerd.
- (2) Een gedeelte wordt verstrooid door kleine dichtheidsfluctuaties in de lucht en door stofdeeltjes. Van dit deel wordt een gedeelte naar het wereldruim gezonden, een ander gedeelte gaat als diffuse straling naar het aardoppervlak.
- (3) Een gedeelte wordt door wolken of door het aardoppervlak gereflecteerd of geabsorbeerd.

Onder de globale straling, G, wordt verstaan de som van de verticale component van de directe straling, namelijk de van de zon afkomstige straling die rechtstreeks het aardoppervlak bereikt, plus de diffuse straling, D, die via verstrooiing tot het aardoppervlak doordringt. In D is begrepen het deel van de door het aardoppervlak gereflecteerde straling, die door de atmosfeer weer naar het aardoppervlak wordt terugverstrooid.

Bij afwezigheid van bewolking is de globale straling op een horizontaal vlak

$$G = I \sin h + D$$

waar h de zonshoogte is.

Voor de directe zonnestraling in een klein golflengtegebied λ tot $\lambda + d\lambda$, ontvangen aan het aardoppervlak op een vlak loodrecht op de directe zonnestraling bij afwezigheid van bewolking, kan geschreven worden

$$I(\lambda) d\lambda = I_0(\lambda) T(\lambda) d\lambda ,$$

waar $I_0(\lambda)$ is de monochromatische irradiantie aan de rand van de atmosfeer; $T(\lambda)$ is de transmissiefactor die als volgt kan worden uitgesplitst:

$$T(\lambda) = T_1(\lambda) + T_2(\lambda) + T_3(\lambda)$$

$T_1(\lambda)$ is de transmissiefactor i.v.m. Rayleigh-verstrooiing;

$T_2(\lambda)$ is de transmissiefactor na absorptie door zuurstof, ozon en waterdamp;

$T_3(\lambda)$ is de transmissiefactor na extinctie door het aerosol.

Geïntegreerd over de golflengte is de globale straling, gemeten door de pyranometer,

$$G = \left(\int_{0,3}^3 I_0(\lambda) T_1(\lambda) T_2(\lambda) T_3(\lambda) d\lambda \right) \sin h + D$$

waarbij de term D afhangt van de verstrooiing in de atmosfeer, dus van $T_1(\lambda)$, $T_3(\lambda)$ en het albedo.

Het verschil in globale straling, die op twee vlak bij elkaar gelegen stations wordt ontvangen bij afwezigheid van bewolking, bijvoorbeeld te Greup en te Rotterdam, zal in hoofdzaak worden veroorzaakt door een verschil in transmissie door de onderste laag van de atmosfeer.

Het verschil in zonshoogte is te verwaarlozen; de absorptie van zonnestraling door ozon en zuurstof mag voor beide stations in gelijke mate gelden, evenals de Rayleigh-verstrooiing. Het zou echter denkbaar zijn dat de hoeveelheid waterdamp in de onderste laag van de atmosfeer verschilt. Voorts zouden de hoeveelheid en de samenstelling van het aerosol boven de twee plaatsen kunnen verschillen, hetgeen de waarde van $T_3(\lambda)$ beïnvloedt en ook de waarde van D . D kan ook verschillend zijn, doordat de reflectie-eigenschappen van het aardoppervlak in de omgeving van de twee stations niet dezelfde hoeven te zijn (verschil in albedo).

De oorzaak van het verschil in globale straling op de twee stations zou dus in hoofdzaak gelegen zijn in een verschil in de hoeveelheid waterdamp en een verschillende turbiditeit boven de plaatsen en in albedo.

De grootte van deze effecten is enigszins te schatten uit de resultaten van Dogniaux [10]. Hij berekende de directe straling en schatte de diffuse straling met behulp van een empirische formule (voor Ukkel) voor een aantal waarden van de zonshoogte h , hoeveelheid condenseerbaar water w en Ångström turbiditeitscoëfficiënt β , bij onbewolkte hemel.

Tabel 3 geeft I , D en G in W/m^2 .

Tabel 3

h	60°				30°			
	1,0 cm		2,0 cm		1,0 cm		2,0 cm	
w	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20
β	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20
I	776	656	734	620	350	268	320	245
D	170	264	201	296	108	156	125	171
G	946	920	935	916	458	424	445	416

$\beta = 0,10$ geldt als een typische waarde voor schone lucht op zeeniveau en $\beta = 0,20$ als een typische waarde voor een heige stedelijke atmosfeer. Uit metingen van de turbiditeit te De Bilt is gebleken [13] dat daar β kan variëren tussen 0,03 en 0,45, afhankelijk van het seizoen en van de luchtsoort, maar vooral van de luchtsoort; β is maximaal in de zomer en minimaal in de winter. Afgezien van de seizoensvariatie van β varieert de gemiddelde β per luchtsoort van ongeveer 0,06 in maritiem-arctische lucht tot 0,25 in continentaal-tropische lucht.

Uit tabel 3 is een indruk te krijgen van de verschillen in globale stralingsontvangst op beide stations bij onbewolkt weer bij verschillende waarden van w en β . Worden de waarden van G in deze tabel uitgedrukt als percentages van de waarde van G bij $w = 1,0$ cm en $\beta = 0,10$, dan verkrijgt men de waarden in tabel 4.

Tabel 4

h	60°				30°			
	1,0 cm		2,0 cm		1,0 cm		2,0 cm	
β	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20
G	100,0	97,3	98,8	96,8	100,0	92,6	97,2	90,8

Uit de waarden in tabel 4 kan de conclusie worden getrokken dat bij deze verschillen in w en β de verschillen in globale straling voornamelijk worden bepaald door de turbiditeit. Dit is ook wel te begrijpen, daar de verstrooiing vooral de straling in de kortere golflengten beïnvloedt, waar de intensiteit groter is dan in de langere golflengten. De verschillen in globale straling zijn groter bij lagere zonshoogte, daar de langere lichtweg de effecten vergroot.

Het effect van een verschil in albedo, A , is klein. Als door het aardoppervlak een gedeelte AG wordt gereflecteerd, komt een deel daarvan door verstrooiing in de atmosfeer weer terug naar het aardoppervlak. Met verwaarlozing van de absorptie in de atmosfeer geeft Perrin de Brichambaut [11] voor dit gedeelte:

$$R = 0,08.A.G \quad \text{voor } \beta = 0,05,$$

$$R = 0,15.A.G \quad \text{voor } \beta = 0,10.$$

Het albedo voor een stedelijk oppervlak schijnt te liggen tussen 0,10 en 0,30 [1, 2].

Stel dat het albedo van een stad 0,15 is, dan komt bij $\beta = 0,10$

$$R = 0,15.0,15.G = 0,023.G$$

weer terug als diffuse straling.

Stel dat het albedo van een grasoppervlak 0,25 is, dan komt bij $\beta = 0,10$

$$R = 0,15.0,25.G = 0,038.G$$

weer terug en als $\beta = 0,05$

$$R = 0,08.0,25.G = 0,02.G .$$

Verskil in albedo kan dus zo'n 2 % verschil in globale straling uitmaken.

De globale straling, die op twee nabij elkaar gelegen plaatsen wordt ontvangen, zal dus in het algemeen een verschil vertonen naarmate het waterdampgehalte en/of de hoeveelheid aerosol boven de twee plaatsen verschilt, terwijl ook het albedo van de omgeving van belang kan zijn.

Bijvoorbeeld op het platteland, bij $h = 30^\circ$, $w = 1 \text{ cm}$, $\beta = 0,1$ en $A = 0,25$ wordt $I = 350 \text{ W/m}^2$, $D = 108 \text{ W/m}^2$, $R = 17 \text{ W/m}^2$ en $G = 475 \text{ W/m}^2$. Stel dat voor de stad bij $h = 30^\circ$ geldt: $w = 2 \text{ cm}$, $\beta = 0,2$ en $A = 0,15$, dan is $I = 245 \text{ W/m}^2$, $D = 171 \text{ W/m}^2$, $R \approx 12 \text{ W/m}^2$, $G = 428 \text{ W/m}^2$ oftewel 90 % van de waarde op het platteland.

De term R is eigenlijk maar van weinig belang.

4.2 Meetfouten

De meting van de globale straling met een Moll-Gorczynski pyranometer heeft een bepaalde onnauwkeurigheid, zodat ook twee naast elkaar opgestelde instrumenten een verschillend resultaat kunnen geven. Bij het vergelijken van de globale straling op twee plaatsen moet dus met deze onnauwkeurigheid rekening worden gehouden.

De ijknaauwkeurigheid van het instrument bedraagt ongeveer 3 % (systematische fout).

Een meetuitkomst heeft in het algemeen een meetfout, die bestaat uit een systematische fout en een toevallige meetfout. De afwijking van de som van een aantal meetuitkomsten van de ware som zal voornamelijk worden bepaald door de systematische fout, want bij een groot aantal meetuitkomsten wordt de som van de toevallige meetfouten klein.

Vergelijken we de som van een aantal uurwaarden op een bepaalde meetplaats, Σx_i , met die op een andere meetplaats, Σy_i , dan heeft het verschil een onnauwkeurigheid van 6 %. Bij grotere verschillen moeten we gaan denken aan een verschil in de ware waarde van de globale straling.

De vervuiling van het glasbolletje kan voor beide pyranometers verschillend zijn, waardoor een grotere systematische fout kan optreden. Op grond van de ervaringen is het niet uit te sluiten dat de ongelijke vervuiling van het glasbolletje in een ongunstig geval tijdelijk een extra verschil van 2 % in de globale straling kan geven.

4.3 Meetresultaten

Uit het aanwezige materiaal zijn de uursommen geselecteerd die aan de volgende voorwaarden voldoen:

- op alle twaalf stations is in dat uurvak een waarde van de globale straling verkregen;
- in het desbetreffende uurvak was in het Rijnmondgebied vrijwel geen bewolking aanwezig.

Dit is bepaald aan de hand van de uurlijkse waarnemingen op de synoptische stations Hoek van Holland en Rotterdam (Zestienhoven) door voor beide stations te eisen dat zowel aan het begin als aan het einde van het uurvak de totale bewolkinggraad, N , hoogstens $1/8$ bedroeg.

Tevens is voor de aldus geselecteerde uurvakken een representatieve windrichting bepaald op grond van de windmeting op 10 m hoogte op het synoptische station Rotterdam. Hierdoor is het

mogelijk de stralingsuursommen in te delen naar windrichting om een eventuele samenhang met de verdeling van de globale straling over de Rijnmond te doen blijken. In eerste instantie zijn de stralingsuursommen ingedeeld naar 30-graden windrichtingssectoren, waarbij 020, 030 en 040 zijn samengenomen en aangeduid als 03, enz. en 99 zwakke, veranderlijke wind aangeeft.

Voorts vond een indeling naar seizoen plaats, waarbij de winter de maanden december, januari en februari omvat.

Per seizoen en per windrichtingssector zijn de stralingsuursommen in joule $\text{cm}^{-2}\text{uur}^{-1}$ gesommeerd en uitgedrukt als percentage van de som verkregen te Greup (803). Deze percentages zijn in kaart gebracht. Daar de ruimtelijke verschillen van deze relatieve stralingssommen bij gering verschil in windrichting grote overeenkomsten vertonen, wordt het voldoende geacht hier een ruwere indeling te hanteren door de windrichtingssectoren 06, 09 en 12 samen te nemen tot "oost", 15, 18 en 21 tot "zuid", enz.

Daar bovendien in sommige klassen het aantal klein is, zijn de maanden april t/m september benevens oktober t/m maart samengenomen tot respectievelijk zomerhalfjaar en winterhalfjaar. Het merendeel van de gevallen van onbewolkt weer bleek zich bij oostenwind voor te doen.

De figuren 4 en 5 tonen de aldus verkregen, in kaart gebrachte percentages relatieve stralingssommen. Bij het beschouwen van deze figuren valt het op dat het stralingspercentage te Vlaardingen-watertoren (811) soms onwaarschijnlijk hoog is. Een nader onderzoek leerde, dat t.o.v. de omliggende stations dit station in de voormiddag meer straling registreerde en in de namiddag vergelijkbare hoeveelheden. Een oorzaak hiervoor kon niet worden vastgesteld. Aan de waarnemingsresultaten op dit station moet een twijfelachtige waarde worden toegekend. Het opvallend hoge percentage op dit station in sommige figuren komt doordat deze figuren zijn gebaseerd op merendeels voormiddagwaarnemingen.

In de figuren 4 en 5 zijn lijnen van gelijk percentage getrokken. Dit is eigenlijk niet toelaatbaar maar het bevordert wel de overzichtelijkheid. Aan deze lijnen moet dus niet te veel waarde worden gehecht; vooral aan de randen van de kaartjes is het verloop van

de lijnen onzeker. De lijnen geven ruwweg de gebieden aan van de globale stralingsdepressie in de Rijnmond.

In de zomer is de globale straling bij zwakke wind minimaal in de driehoek Vlaardingen-Rotterdam-Berkel. Bij sterkere wind is iets van een verschuiving van het minimum in overeenstemming met de windrichting te zien, bijv. in de richting van Berkenwoude (802) bij westelijke en zuidelijke windrichtingen. Bij noordenwind zijn de onderlinge verschillen in stralingsontvangst kleiner dan bij de andere windrichtingen. Dit zou kunnen komen doordat te Greup, het referentiestation, de stralingsontvangst ook vermindert.

In de winter is de globale straling bij zwakke wind minimaal in het gebied Berkel-Maasland, of, ruimer opgevat, in het gebied langs en ten noorden van de Nieuwe Waterweg. Voor een verschuiving van het minimum windafwaarts is wel enige aanwijzing te vinden (zie bijv. de 90 % -lijn).

In de zomer vinden we dus stralingsverschillen tot 9 à 11 %, in de winter tot 10 à 19 %.

Daar in zeer ongunstige gevallen instrumentele meetfouten aanleiding kunnen geven tot verschillen in globale straling van ongeveer 10 %, zou de conclusie getrokken kunnen worden dat de verschillen in globale straling reëel zijn, althans tussen sommige stations. Hiervoor pleit het gegeven dat de instrumenten van tijd tot tijd zijn verwisseld en het waarnemingsfeit dat in het algemeen de stations, gelegen in het centrale, meest bebouwde deel van het beschouwde gebied, minder globale straling ontvangen dan de randstations.

Toch is enige voorzichtigheid t.a.v. deze conclusie te betrachten. Het is mogelijk dat de vervuiling van het pyranometerbolletje en de reiniging ervan op verschillende meetplaatsen in ongelijke mate heeft plaatsgehad.

Voorts kan zeer plaatselijke bewolking of bewolking, die zich tussen de waarnemingstijdstippen voordeed, invloed hebben gehad op de meetuitkomsten.

Het moet echter onwaarschijnlijk worden geacht dat deze, zich incidenteel voordoende, verstorende omstandigheden grote invloed op de globale stralingstotalen hebben uitgeoefend.

De maximale verschillen bedragen over het gebied, gemiddeld over de periode, dus op grond van de getallen in de figuren 4 en 5:

Windrichting	Zomer	Winter
Variabel	10 %	16 %
Noord	6 %	10 %
Oost	9 %	13 %
West	11 %	19 %
Zuid	10 %	16 %

Deze percentages zijn ontleend aan de figuren 4 en 5 en berusten dus op een steekproef uit het materiaal, nl. de perioden met vrijwel onbewolkt weer en metingen op een beperkt aantal plaatsen.

Ofschoon de verschillen in straling in de winter groter zijn dan in de zomer, zullen, omdat de globale stralingssommen in de zomer veel groter zijn dan in de winter, over het jaar genomen de verschillen in straling meer overeenkomen met die in de zomer. Deze verschillen zijn blijkbaar afhankelijk van de plaats en de windrichting.

Daar de meetplaatsen in een klein gebied bij elkaar liggen, moet de oorzaak van de verschillen in straling, afgezien van de meetfouten, gelegen zijn in verschillen in verzwakking van de zonnestraling. In zo'n klein gebied zullen deze verschillen hoofdzakelijk worden bepaald door verschillen in de samenstelling in de onderste laag van de atmosfeer; met name ware te denken aan stoffen, die door het gebied zelf in de atmosfeer worden gebracht en die aangeduid kunnen worden met luchtverontreiniging.

Uit de beschouwing in 4.1 en in het bijzonder tabel 4 blijkt, dat er bijv. bij een verschil in turbiditeit een groter verschil in globale straling gevonden zou moeten worden bij lage zonshoogte dan bij grotere zonshoogte. Vermoedelijk zijn de grotere verschillen in het winterhalfjaar, vergeleken met die in het zomerhalfjaar, aan deze afhankelijkheid van de zonshoogte te wijten, ofschoon het niet is uit te sluiten dat door het vaker voorkomen van stabiele situaties in het winterhalfjaar grotere

concentraties van stralingverzwakkende stoffen in de onderste laag van de atmosfeer dicht bij de bron voorkomen.

In tabel 5 zijn de percentages, die in de figuren 4 en 5 zijn geplot, nogmaals opgegeven. De percentages representeren dus de globale stralingssommen als proportie van de overeenkomstige stralingssommen te Greup.

Ervan uitgaande dat de turbiditeit in het Rijnmondgebied het geringst is te Greup, behalve dan misschien in situaties bij noordenwind, geven deze percentages een kwalitatieve indicatie van de turbiditeit ten opzichte van die te Greup.

In tabel 5 kan men per station de percentages bij de verschillende windrichtingen met elkaar vergelijken.

De grootste percentages worden over het algemeen bij noordenwind aangetroffen, behalve in de zomer te Hellevoetsluis, dat bij westenwind een groter percentage straling ontvangt dan bij de andere windrichtingen, en in de winter te Heenvliet, Hellevoetsluis, Oostvoorne en Rotterdam, waar bij zwakke variabele wind het grootste percentage wordt gevonden.

De laagste percentages komen in de zomer in het algemeen voor bij zuidenwind; dit geldt voor Berkel, Berkenwoude, Hellevoetsluis, Naaldwijk en Ypenburg.

Voor Rotterdam is de straling minimaal bij westenwind, voor Vlaardingen bij zwakke, variabele wind en voor Heenvliet, Maasland en Oostvoorne, die in het westen van het Waterweggebied zijn gelegen, bij oostenwind.

In de winter worden de laagste percentages voor de meeste stations bij westenwind bereikt, behalve voor Heenvliet (daar bij oostenwind) en Maasland (daar bij zwakke, variabele wind).

Bij vergelijking van de percentages bij de verschillende windrichtingen moet wel bedacht worden dat behalve de ligging van het station ten opzichte van gebieden die veel bijdragen tot de turbiditeit, ook de stabiliteit in de atmosferische grenslaag een grote rol speelt. Bij een grote stabiliteit is het verspreidend vermogen van de atmosfeer gering en zal in het algemeen

een grotere turbiditeit worden gevonden dan in onstabiele situaties bij overigens gelijkblijvende omstandigheden.

De cijfers in tabel 5 laten dus niet toe conclusies te trekken aangaande de ligging van de brongebieden van de deeltjes in de onderste atmosfeer, daar de stabiliteit mede bepalend is.

5. Zonnige dagen

Bij de in 4.3 gegeven uitkomsten moet men wel in het oog houden, dat van uur tot uur bekeken het beeld sterk kan afwijken van dat in fig. 4 of 5.

Als illustratie hiervan is in de figuren 6 en 7 voor een aantal uurvakken op maandag 13 augustus 1973 de relatieve uursom geplot. De windrichting varieerde van 70 graden tot 90 graden bij onbewolkt weer. Een 95 %-lijn is in de figuren ingetekend,

Deze dag was er één in een rij van aaneengesloten zonnige dagen, nl. 11 augustus tot en met 16 augustus. Om een beeld te geven van de verandering van dag tot dag is in fig. 7 voor elk van deze dagen de mediaan van de relatieve stralingsuursom geplot. Er blijken zich geen spectaculaire veranderingen van dag tot dag voor te doen. Opmerkelijk is dat de zaterdag en zondag zich nauwelijks van de andere weekdays onderscheiden.

Na deze reeks van zonnige zomerdagen is in fig. 8 de dagelijkse mediaan van de relatieve uursom geplot voor een drietal zonnige herfst dagen, nl. 28 tot en met 30 oktober 1971. Met DD is de overwegende windrichting op de desbetreffende dag in tientallen graden opgegeven. Te Berkel werd de straling aanzienlijk verzwakt. De weerssituatie werd in deze dagen gekenmerkt door een hogedrukgebied boven de Noordzee; overdag steeg de temperatuur tot omstreeks 12 graden, om 's nachts tot even onder het vriespunt te dalen.

Men zou zich kunnen afvragen hoe de straling in het Rijnmondgebied zich verhoudt tot de straling in De Bilt. Om hiervan een beeld te krijgen, is in tabel 6 voor een aantal zonnige dagen de relatieve dagsom (dagsom globale straling t.o.v. de dagsom te Greup)

weergegeven. Uit deze tabel blijkt, dat de straling te De Bilt vergelijkbaar is met die op de randstations in het Rijnmondgebied.

Dankbetuiging

De in dit rapport bewerkte metingen zijn tot stand gekomen dank zij de inspanning van een aantal KNMI-medewerkers.

De verzorging van de instrumenten en meetresultaten was in handen van de Instrumentele Afdeling van het KNMI en de heren R.J. Slikker en C.A. Engeldal.

Bij de bewerking van de meetresultaten werd gewaardeerde steun ondervonden van de Werkgroep Hydrometeorologie op het KNMI.

Literatuur

- [1] T.R. Oke Review of Urban Climatology 1968-1973.
WMO-No. 383, Tech. Note No. 134, 1974.
- [2] T.J. Chandler Urban Climatology and its Relevance to
Urban Design.
WMO-No. 438, Tech. Note No. 149, 1976.
- [3] L. Gajzágó Variation of Global Radiation in Budapest.
"Urban Climates", WMO-No. 254. TP. 141,
Tech. Note No. 108, p. 79, 1970.
- [4] W. Bach Variation of Solar Attenuation with Height
over an Urbanized Area.
J. Air Poll. Control Ass., 21 (10):
621-628, 1971.
- [5] S. Yamashita Air Pollution Study from measurements
of Solar Radiation.
Arch. Met. Geoph. Biokl., B 21: 243-253,
1973.
- [6] F. Fujimoto Influence of Atmospheric Pollution on
the Solar Radiation Measured on the
Ground. Part I.
The Geoph. Mag., JMA, 37 (1): 1-48, 1974.
- [7] Dienst Milieuhygiëne Onderzoek met behulp van Solarimeters
Zaanstad naar de Hoeveelheid Onderschept Zonlicht
in de IJmond.
Rapport, 1977.

- [8] H.J. de Boer Attenuation of Solar Radiation due to
Air Pollution in Rotterdam and its
Surroundings.
KNMI De Bilt, Wetenschappelijk Rapport
WR 66-1, 1966.
- [9] N. Robinson Solar Radiation.
Elsevier, 1966.
- [10] R. Dogniaux Variations qualitatives et quantitatives
des composantes du rayonnement solaire
sur une surface horizontale par ciel
serein en fonction du trouble atmosphérique.
KMI België, Publ. Serie B, Nr. 62, 1970.
- [11] Ch. Perrin de Rayonnement solaire et échanges radiatifs
Brichambaut naturels.
Gauthier-Villars, Parijs, 1963.
- [12] N.J. Tapper en Radiation transfers in the Christchurch
I.F. Owens area with special reference to the effect
of pollution.
Symp. Met. and Air Poll. 1976, New Zealand
Met. Service, 1977, 113-121.
- [13] A.J. Frantzen The Turbidity at De Bilt in the Netherlands.
Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B., 24,
307-320, 1977.

Tabel 1. Gemiddelde dagelijkse intensiteit van de globale straling in de periode 1 november 1970 - 31 januari 1974 in W/m^2 en in % van de gemiddelde dagelijkse intensiteit te Greup (803).

Maand	Berkel Berken- woude		Greup	Heenvliet	H'sluis	Maasland	Naaldwijk	Oostvoorne	Rotterdam	Vlaardingen		Ypenburg	De Bilt
	801	802								803	804		
jan.	22,7 88,0	24,0 93,0	25,8 100,0	24,0 93,0	24,9 96,5	22,8 88,4	25,1 97,3	24,7 95,7	22,1 85,7	23,5 91,1	23,7 91,9	23,2 89,9	23,9 92,6
feb.	45,4 93,2	47,2 96,9	48,7 100,0	45,8 94,0	47,8 98,2	47,3 97,1	48,6 99,8	47,4 97,3	43,2 88,7	45,6 93,6	46,7 95,9	47,6 97,7	46,2 94,9
mrt.	107,5 96,3	107,0 95,9	111,6 100,0	106,3 95,3	109,5 98,1	108,7 97,4	113,1 101,3	111,3 99,7	104,3 93,5	105,6 94,6	106,6 95,5	108,9 97,6	104,8 93,9
apr.	141,0 96,7	141,5 97,1	145,8 100,0	144,5 99,1	146,3 100,3	146,6 100,5	153,7 105,4	149,5 102,5	134,7 92,4	140,2 96,2	142,4 97,7	147,2 101,0	139,3 95,5
mei	192,3 93,3	192,2 93,2	206,2 100,0	198,8 96,4	201,3 97,6	199,1 96,6	204,9 99,4	205,2 99,5	185,2 89,8	191,6 92,9	194,3 94,2	199,2 96,6	190,5 92,4
juni	211,7 93,8	212,0 93,9	225,7 100,0	219,7 97,3	217,1 96,2	216,9 96,1	223,2 98,9	224,3 99,4	204,3 90,5	211,4 93,7	209,7 92,4	219,6 97,3	209,3 92,7
juli	196,2 93,8	194,4 93,0	209,1 100,0	202,9 97,0	204,5 97,8	203,5 97,3	209,9 100,4	209,0 100,0	191,6 91,9	195,7 93,6	195,2 93,4	204,5 97,8	191,1 91,4
aug.	171,2 92,4	178,5 96,3	185,3 100,0	174,9 94,4	172,7 93,2	174,3 94,1	178,2 96,2	177,2 95,6	165,1 89,1	169,7 91,6	169,6 91,5	175,4 94,7	175,5 94,7
sep.	119,1 85,9	129,8 93,6	138,7 100,0	127,0 91,6	127,5 91,9	126,7 91,3	131,0 94,4	131,9 95,1	121,9 87,9	123,5 89,0	123,4 89,0	127,6 92,0	128,5 92,6
okt.	75,0 83,6	82,1 91,5	89,7 100,0	81,2 90,5	82,3 91,8	78,3 87,3	81,4 90,7	81,2 90,5	78,0 87,0	77,9 86,8	78,7 87,7	78,8 87,3	80,8 90,1
nov.	31,6 86,3	33,3 91,0	36,6 100,0	33,3 91,0	34,1 93,2	31,7 86,6	33,3 91,0	33,2 90,7	31,0 84,7	32,2 88,0	33,3 91,0	32,1 87,7	34,4 94,0
dec.	20,9 90,5	21,6 93,5	23,1 100,0	20,4 88,3	21,1 91,3	19,5 84,4	21,0 90,9	21,4 92,6	19,4 84,0	20,6 89,2	21,3 92,2	19,7 85,3	22,1 96,1

Tabel 2. Maximale gemeten dagintensiteit van de globale straling in W/m^2 uit de periode
1 november 1970 - 31 januari 1974.

Maand	Berkel		Berken- woude		Greup		Heenvliet		H'sluis		Maasland		Naaldwijk		Oostvoorne		Rotterdam		Vlaardingen Mast Watertoren		Ypenburg		De Bilt																																																																																																																											
	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824																																																																																																																										
jan.	63,4	67,8	66,8	69,6	66,7	66,6	64,5	66,3	61,2	63,7	66,9	63,4	66,0	128,9	136,6	157,2	126,9	134,7	136,2	121,3	129,7	108,9	126,3	129,1	116,7	191,7	186,1	202,7	191,7	199,7	186,7	195,9	196,2	188,8	186,1	185,2	189,1	190,5	280,3	278,6	280,6	278,7	284,5	281,7	282,3	272,1	279,7	274,2	278,2	275,3	283,4	306,3	320,0	339,1	316,4	324,1	319,9	318,9	321,9	302,4	304,5	325,7	342,0	355,9	333,9	345,0	345,9	343,2	349,0	325,9	349,7	327,3	337,5	313,3	319,0	340,2	325,7	325,3	338,9	330,6	328,0	320,4	320,7	325,6	327,8	318,5	267,9	275,0	293,9	279,5	284,5	279,4	282,2	286,0	268,3	275,0	279,1	286,3	188,3	214,7	237,6	207,4	210,6	204,5	213,0	219,2	207,6	205,0	204,5	226,4	153,9	151,5	174,4	153,6	157,6	150,1	151,2	152,7	149,9	149,4	157,3	150,6	72,5	83,3	104,1	74,8	80,8	82,5	80,7	79,4	79,2	81,8	90,6	80,2	57,9	61,6	61,9	55,8	50,7	56,8	48,0	44,0	61,0	59,6	45,8	55,9

Tabel 5. Relatieve stralingsommen bij onbewolkt weer op een aantal stations in het Rijnmondgebied, in procenten.

Stationsnaam	Halfjaar	W i n d r i c h t i n g				
		Var.	Noord	West	Zuid	Oost
Berkel	zomer	93,2	95,2	91,7	90,5	92,0
	winter	84,2	92,6	81,1	84,1	86,9
Berkenwoude	zomer	94,5	98,1	92,8	91,1	95,7
	winter	92,6	95,5	86,9	90,8	92,1
Heenvliet	zomer	94,9	96,2	95,8	95,6	92,8
	winter	92,6	92,0	85,4	90,6	85,2
Hellevoetsluis	zomer	94,0	96,5	96,9	92,2	93,5
	winter	95,0	93,1	88,5	92,3	91,8
Maasland	zomer	93,5	96,8	94,4	93,6	92,3
	winter	86,0	92,8	86,9	88,2	87,7
Naaldwijk	zomer	96,7	100,2	95,8	93,2	94,5
	winter	88,3	93,5	88,0	90,5	91,7
Oostvoorne	zomer	93,6	97,6	97,1	94,3	92,6
	winter	94,9	90,5	88,6	90,6	89,5
Rotterdam	zomer	90,0	94,2	88,9	90,1	91,9
	winter	91,1	90,0	83,4	87,6	87,4
Vlaardingen	zomer	90,6	96,6	93,2	91,0	91,3
	winter	88,6	95,5	85,7	87,3	87,2
Ypenburg	zomer	96,0	99,0	96,3	92,0	94,6
	winter	91,4	92,9	84,8	87,1	89,8

Tabel 6. Relatieve stralingsdagssommen op een aantal zonnige dagen.

Datum	wind- richting	801	802	804	805	806	807	808	809	810	812	260
2- 5-1971	060°	96,8	98,3	93,7	97,4	96,2	99,1	94,4	97,4	95,5	98,4	97,6
8- 7-1971	100°	92,4	92,0	92,3	93,5	90,0	93,5	91,3	92,3	90,6	93,6	97,3
11- 7-1971	360°	95,2	96,1	92,2	93,8	93,0	97,7	92,0	94,2	90,2	95,2	100,3
7- 9-1971	100°	78,7	88,5	86,2	88,4	86,5	90,1	84,6	87,8	86,7	89,4	90,7
7-10-1971	230°	78,5	86,6	85,4	90,1	88,1	92,0	89,2	87,3	86,7	88,5	87,4
28-10-1971	090°	73,1	83,4	78,8	84,0	79,9	83,5	80,1	81,1	78,9	82,5	88,2
27- 4-1973	280°	90,3	91,5	95,1	95,4	93,3	94,7	95,0	87,9	92,7	93,4	89,3
13- 8-1973	080°	93,7	98,9	93,0	91,8	96,4	96,2	92,1	91,8	93,1	95,5	99,0
14- 8-1973	090°	92,0	98,3	94,3	93,4	92,9	94,9	93,0	90,5	92,1	95,3	99,1
15- 8-1973	090°	92,7	98,5	94,4	94,0	93,1	95,8	94,0	90,3	92,3	95,4	99,5
27-10-1973	110°	97,8	101,4	105,4	105,0	86,9	99,3	101,8	97,5	99,8	98,1	102,1

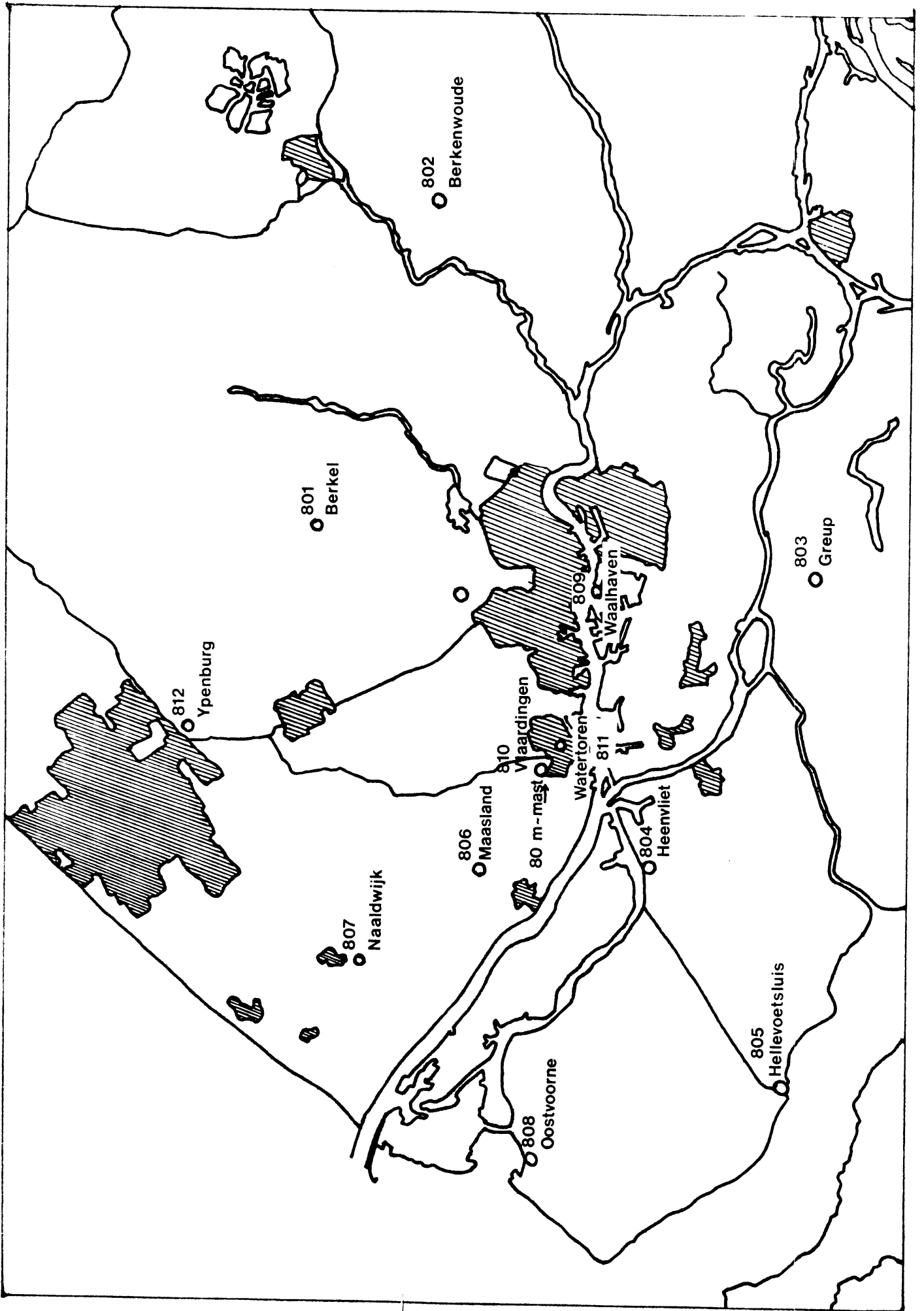


fig. 1

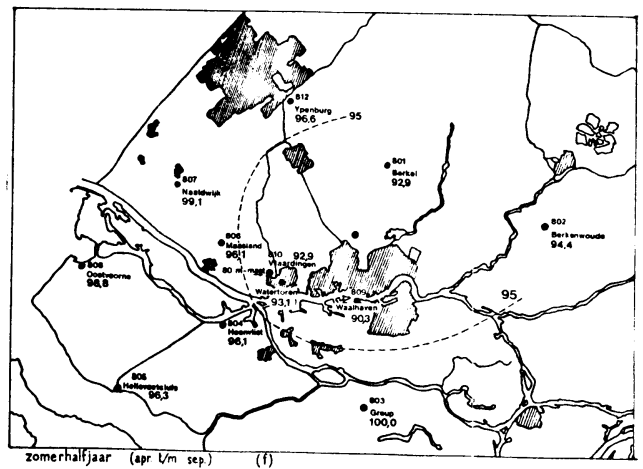
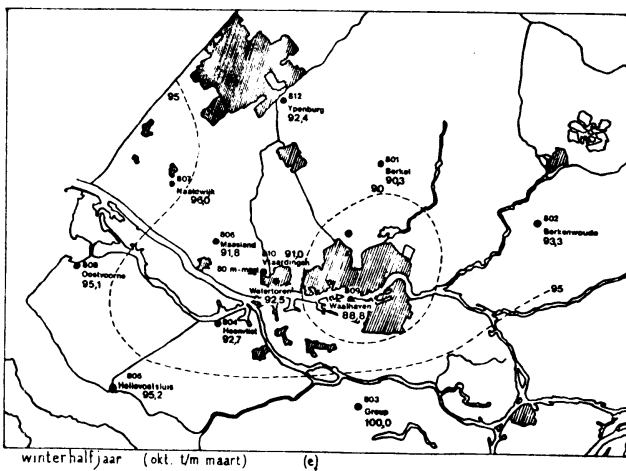
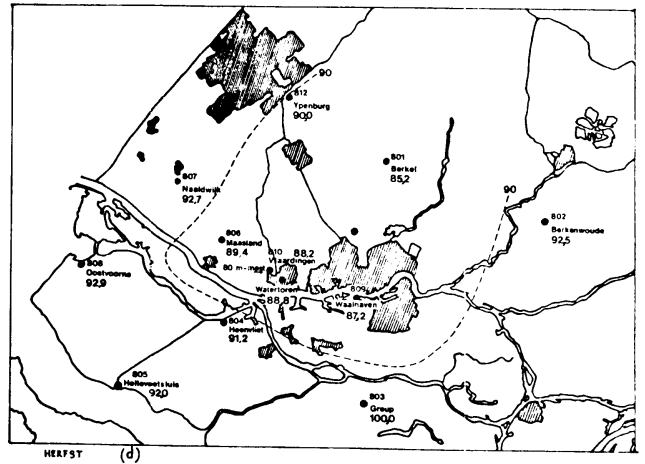
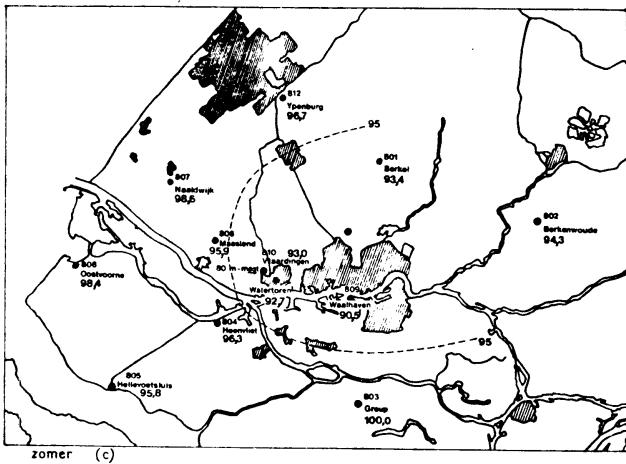
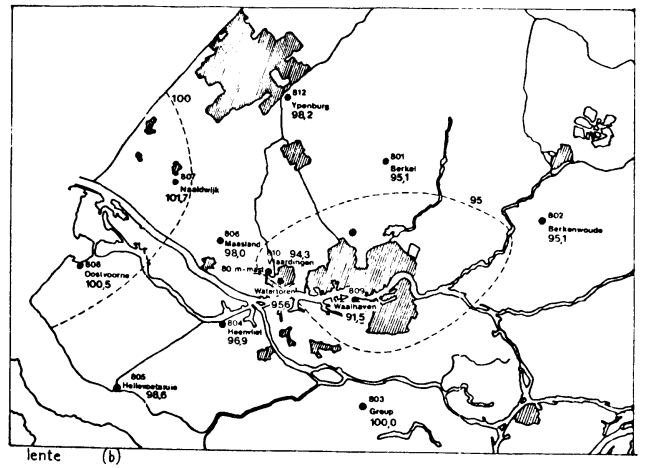
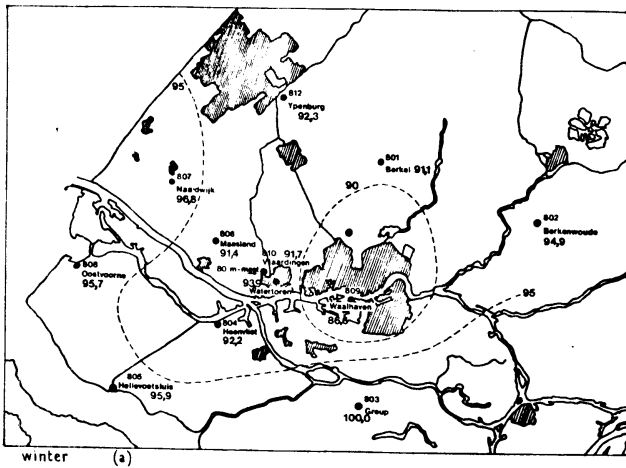


FIG. 2

RELATIEVE GLOBALE STRALING

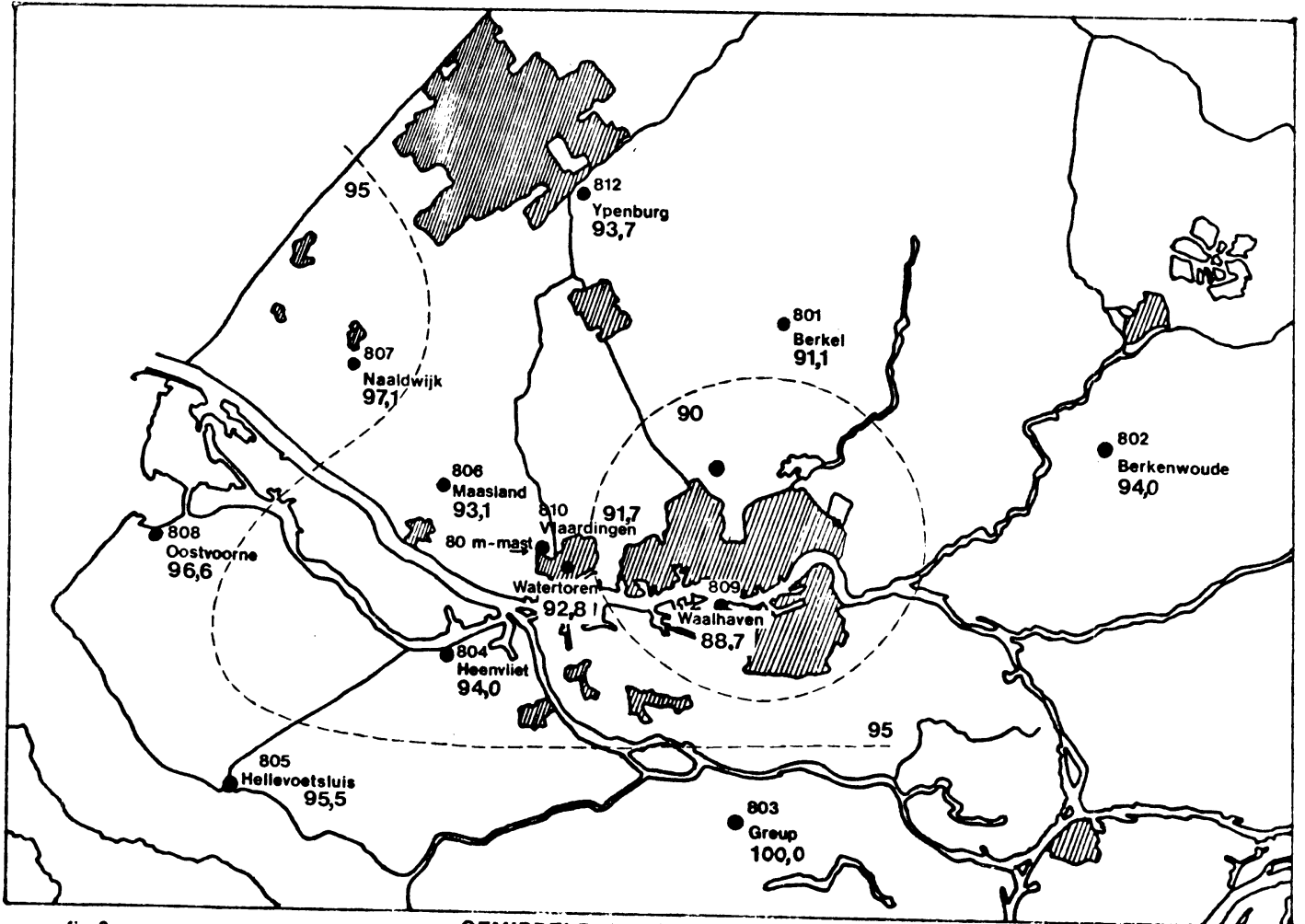
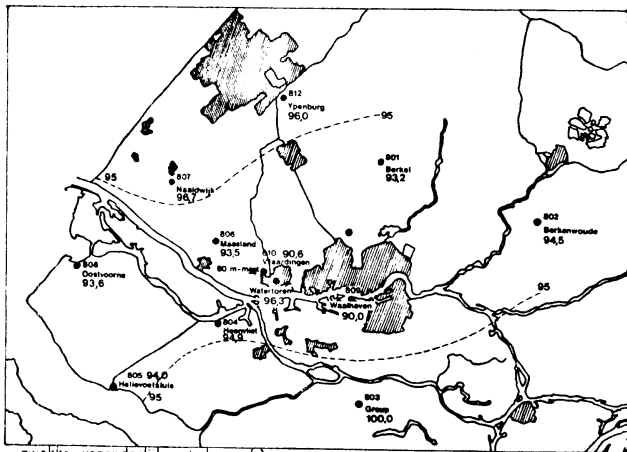
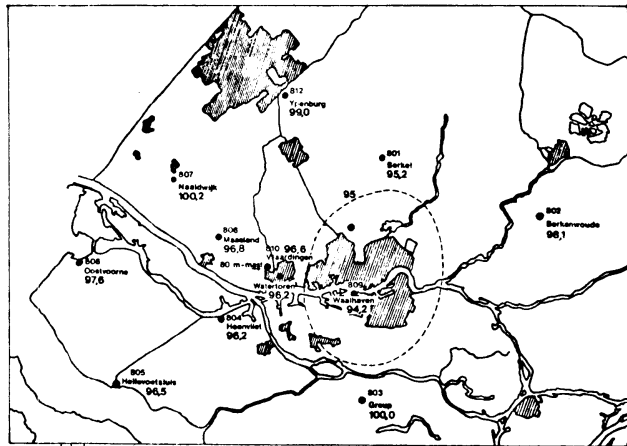


fig. 3

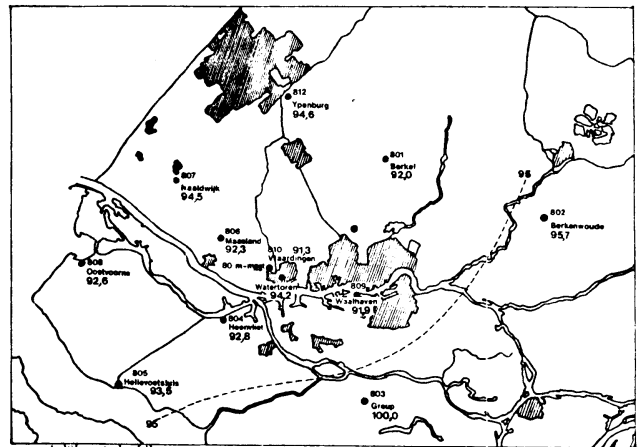
GEMIDDELD PERCENTAGE PER JAAR



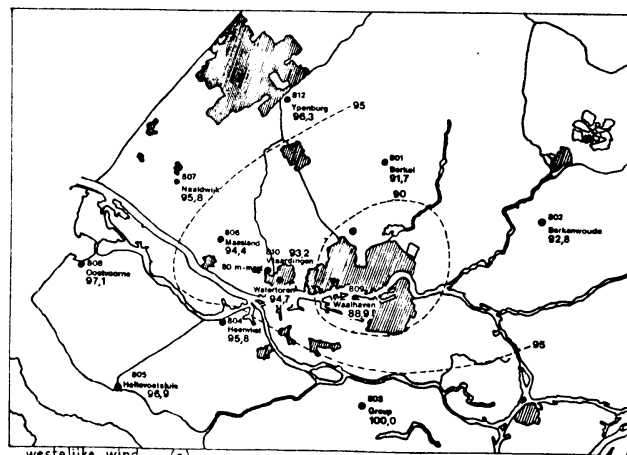
zwakke, veranderlijke wind (a)



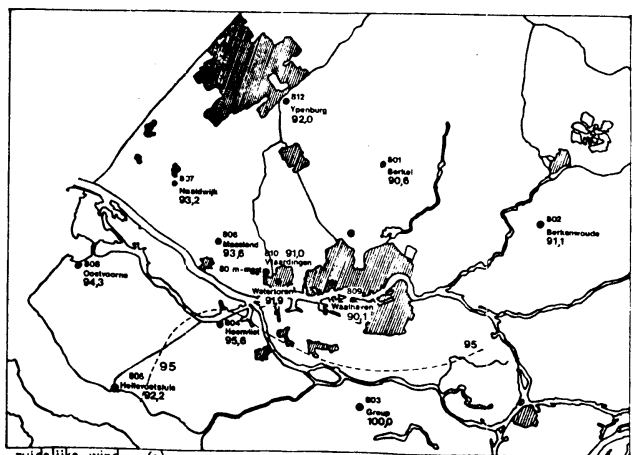
noordelijke wind (b)



oostelijke wind (d)



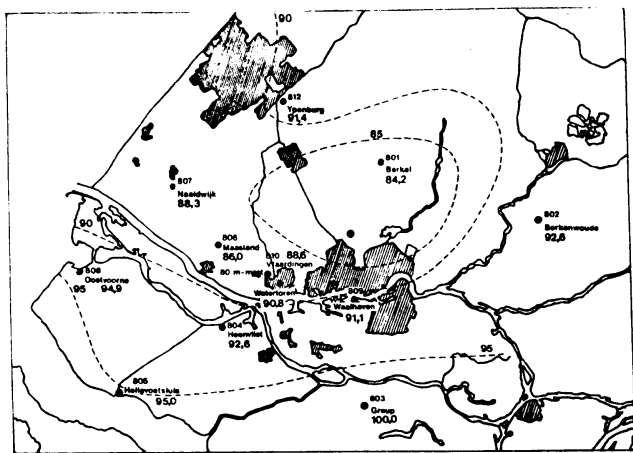
westelijke wind (c)



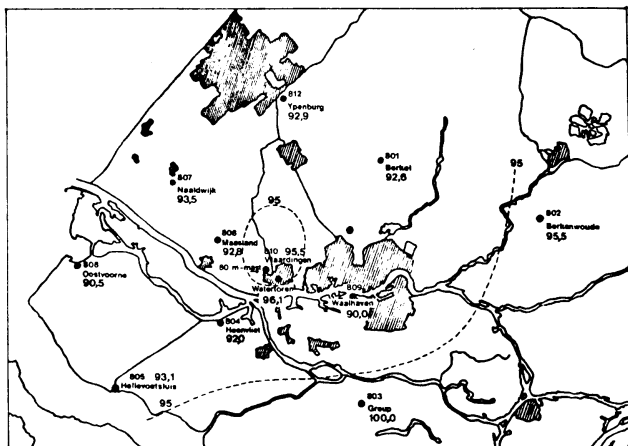
zuidelijke wind (e)

FIG. 4

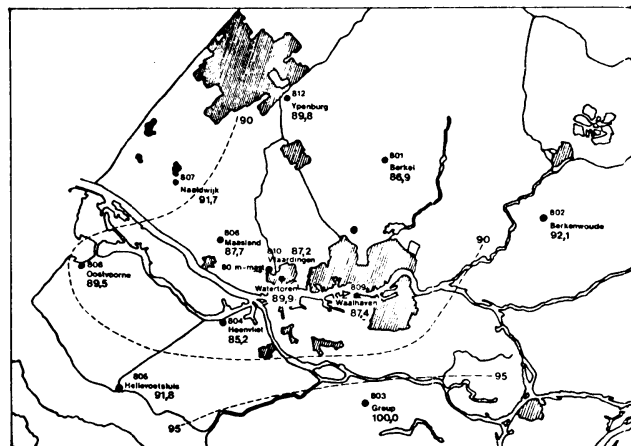
RELATIEVE GLOBALE STRALING BIJ ONBEWOLKT WEER IN HET ZOMERHALFJAAR (APR.—SEPT.)



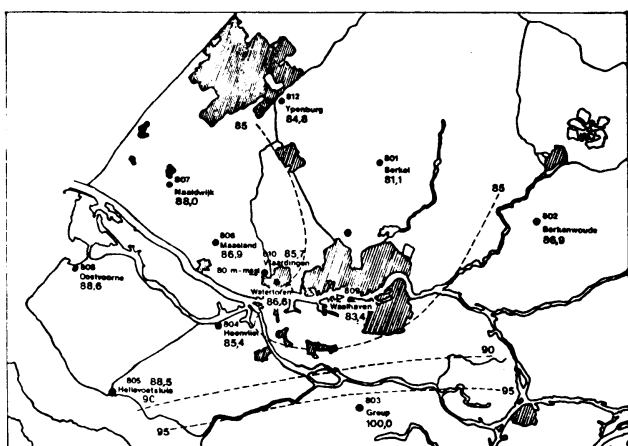
zwakke, veranderlijke wind (a)



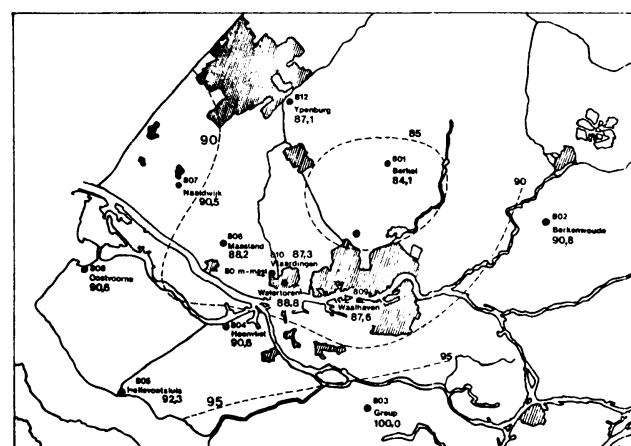
noordelijke wind (b)



oostelijke wind (d)



westelijke wind (c)



zuidelijke wind (e)

FIG. 5
RELATIEVE GLOBALE STRALING BIJ ONBEWOLKT WEER IN HET WINTERHALFJAAR OKT — MAART

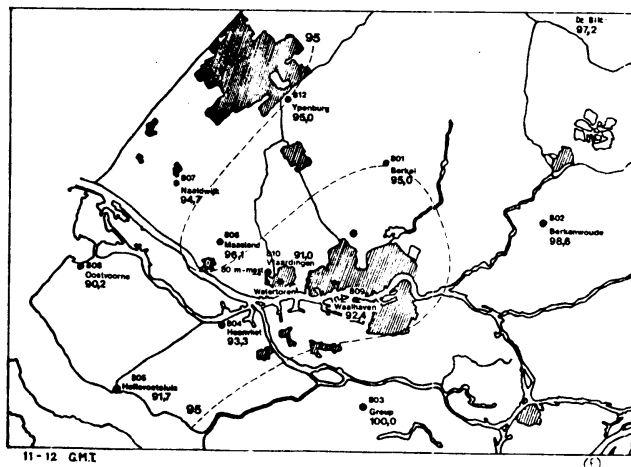
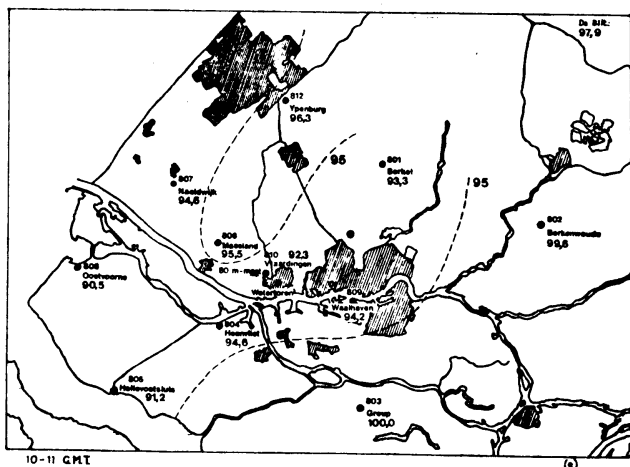
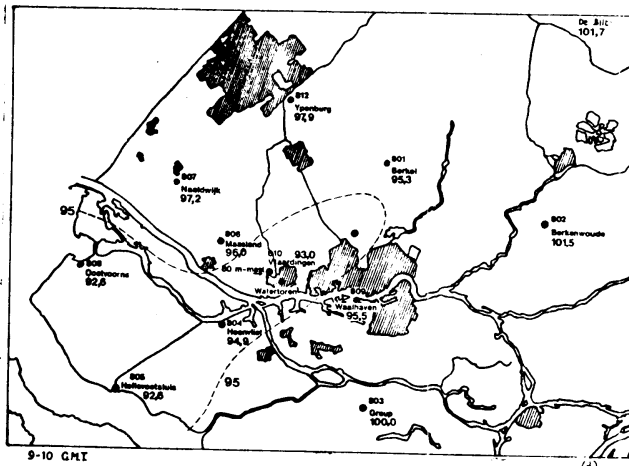
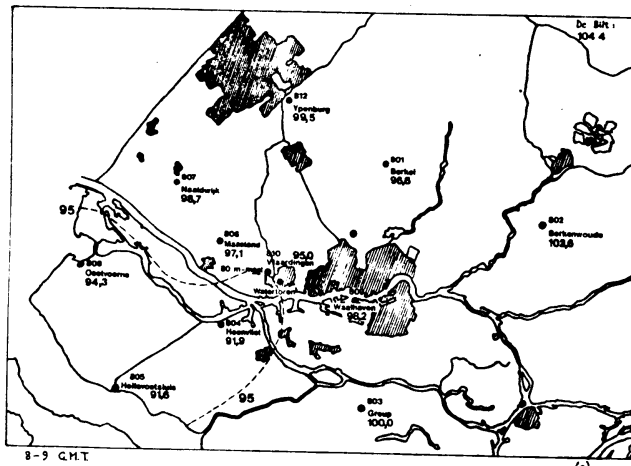
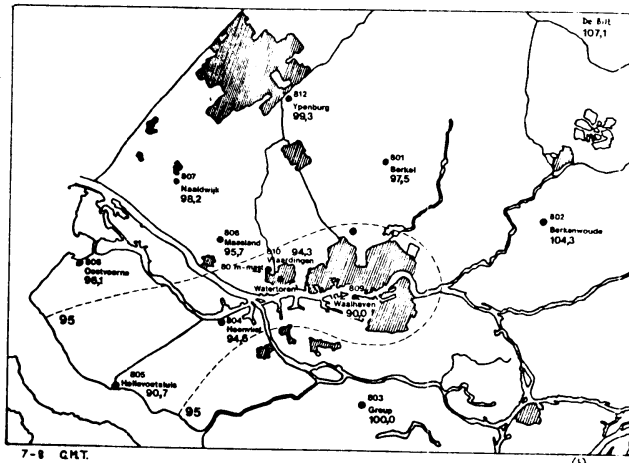
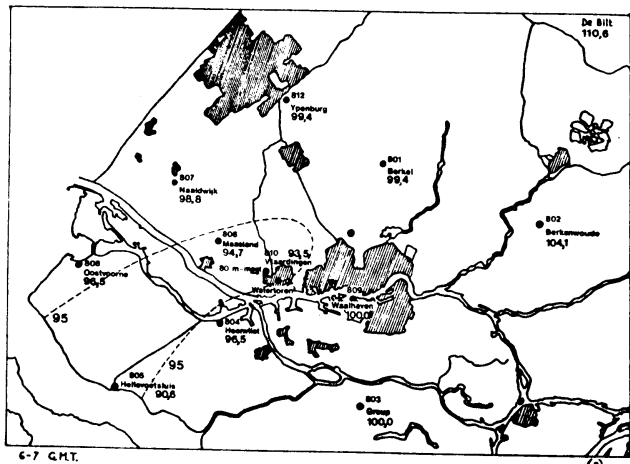


FIG. 6
RELATIEVE STRALINGSUURSOM OP 13 AUG. 1973

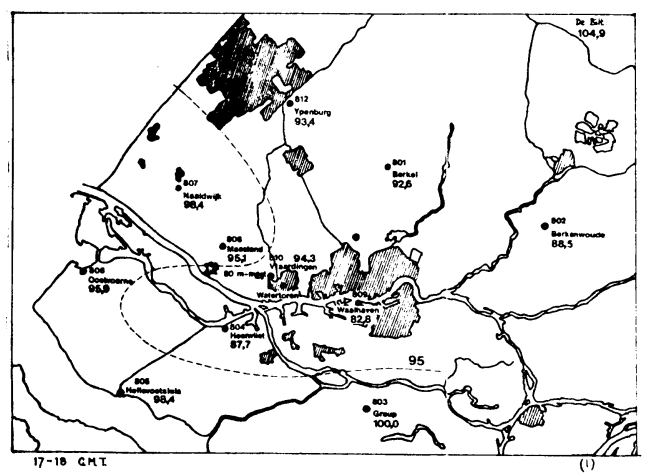
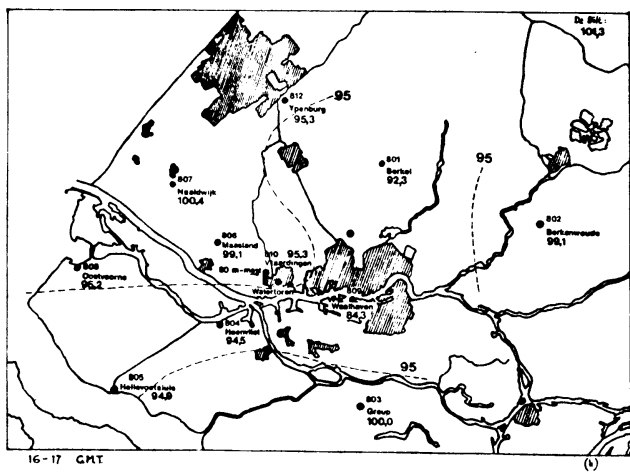
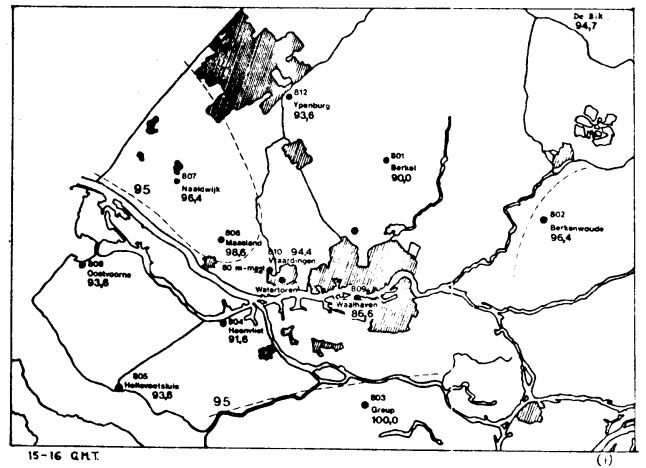
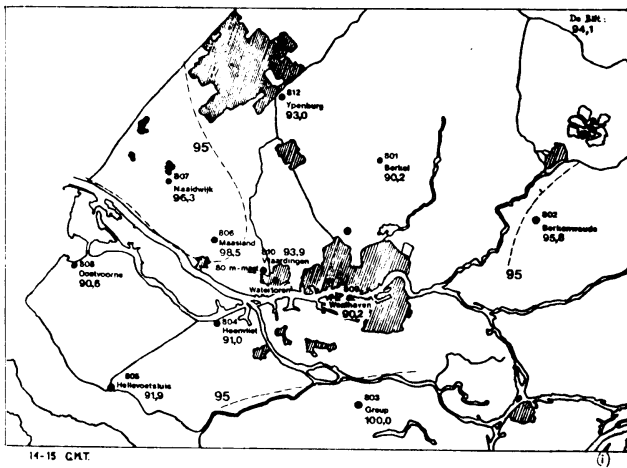
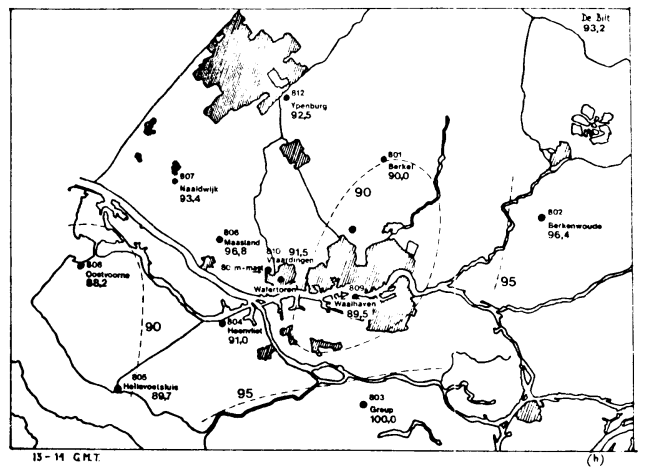
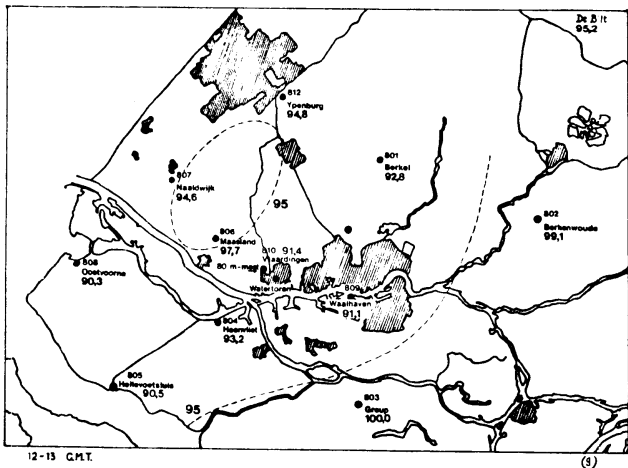
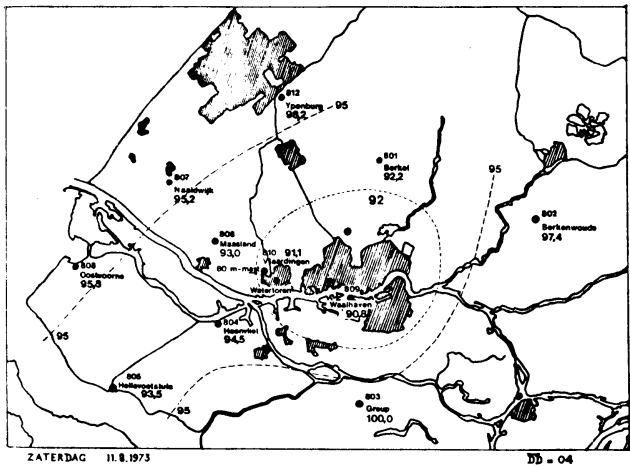


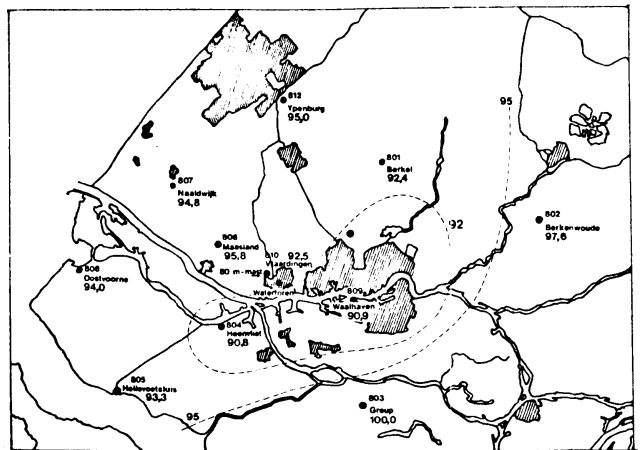
FIG. 6



ZATERDAG 11.8.1973

DB = 04

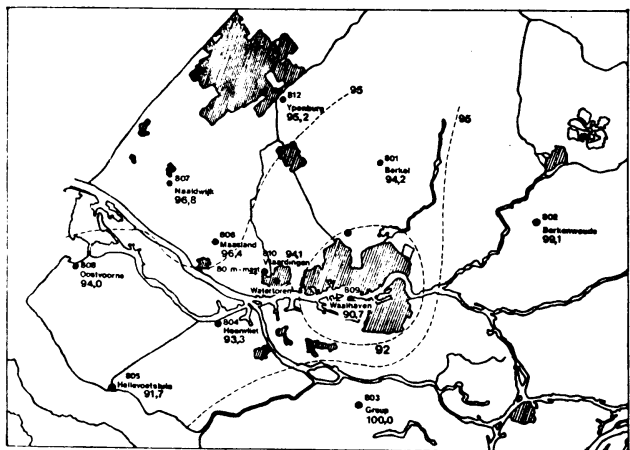
a



Zondag 12.8.73

DB = 06

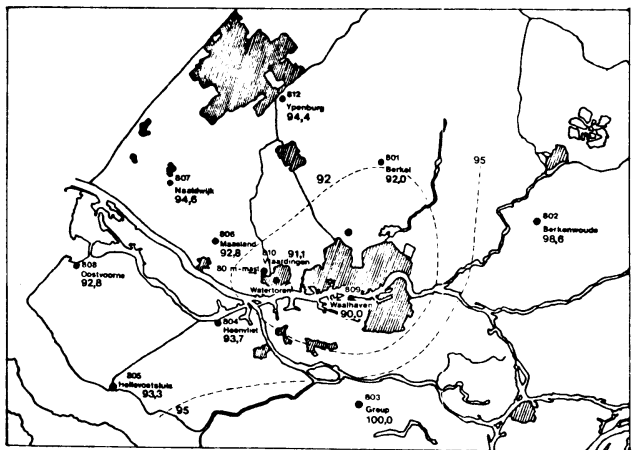
b



MAANDAG 13.8.1973

DB = 08

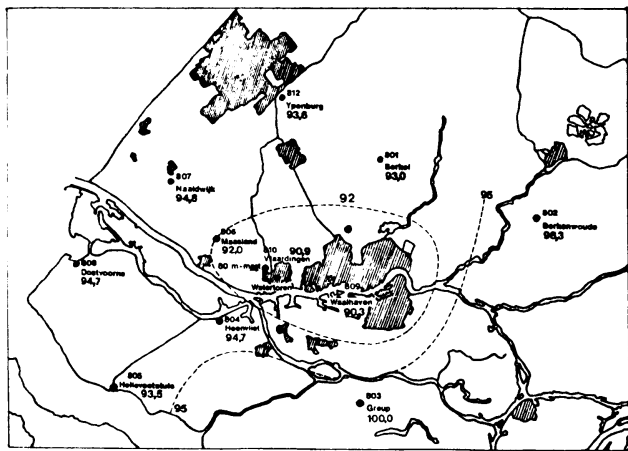
c



DINSDAG 14.8.1973

DB = 09

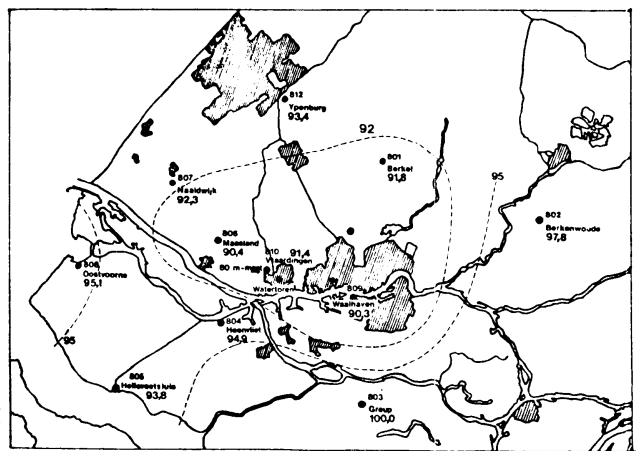
d



WOENSDAG 15.8.1973

DB = 09

e



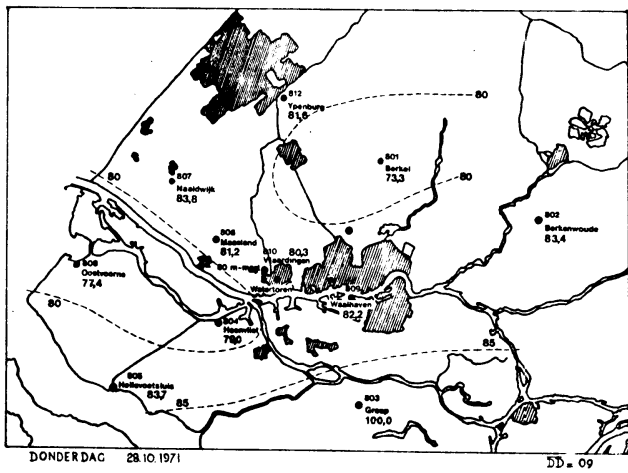
DONDERDAG 16.8.1973

DB = 11

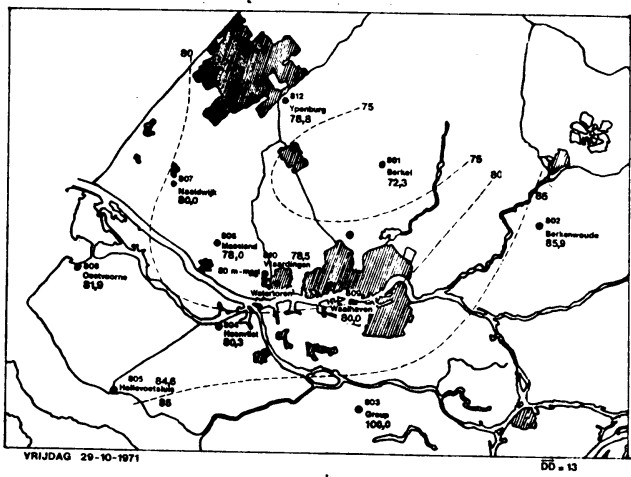
f

FIG. 7

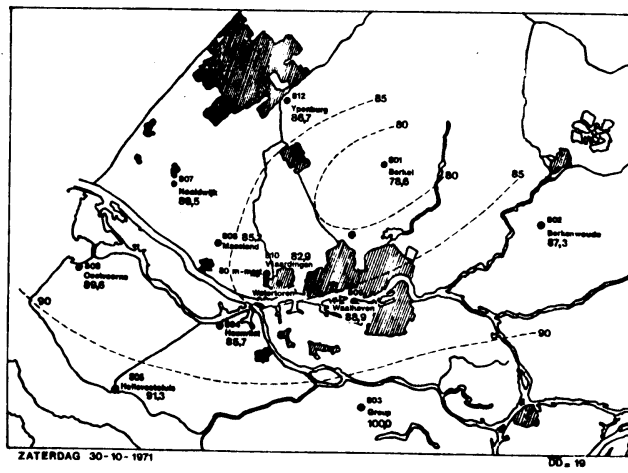
DAGELIJKE MEDIAAN VAN DE RELATIEVE STRALINGSUURSUM



a



b



c

FIG. 8