

14 JAN. 1977

KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT

PUBLICATIE no 154

# DE DROOGTE VAN 1976



Kon. Ned. Meteor. Inst.  
De Bilt  
IV. e. 77.

DE BILT , DECEMBER 1976



18

14 JAN. 1977

DE DROOGTE VAN 1976

Kon. Ned. Meteor. Inst.  
De Bilt  
IV. e. 77.

Publikationsnummer K.N.M.I.: 154

U.D.C.: 551.577.38

De droogte van 1976

I N H O U D

	Pag.
0. Inleiding -----	1
1. De neerslaghoeveelheden in Nederland -----	1
2. De neerslaghoeveelheden elders in Europa -----	9
3. Neerslag en verdamping in Nederland -----	11
4. Luchtvochtigheid, temperatuur en weertypen tijdens de droogteperiode -----	14
5. De luchtcirculatie boven Europa -----	18
6. De luchtcirculatie op het Noordelijk Halfrond -----	24
7. Diversen -----	27
8. Samenvatting -----	29
9. Literatuurverwijzingen -----	32



## De droogte van 1976

### 0. Inleiding

In Nederland, maar ook in andere delen van West-Europa is het in 1976 opvallend droog geweest. Dit gaf aanleiding tot vele vragen, zowel vanuit de maatschappij (met name vanuit die sectoren die door de droogte werden getroffen, zoals landbouw, drinkwatervoorziening enz.) als vanuit de kring van de meteorologen zelf. Om deze vragen te beantwoorden werden in de loop van het jaar op het KNMI diverse ad-hoc onderzoekjes verricht. Het leek zinvol om de resultaten hiervan in een enigszins samenhangende vorm te bundelen, om zo een beter overzicht te krijgen van het droogte-verschijnsel dat zich heeft voorgedaan. Mede op grond van een aantal aanvullende onderzoekjes is een tamelijk compleet beeld verkregen van de omvang van de droogte en van de zeldzaamheid ervan. Daarnaast wordt in dit rapport een beschrijving gegeven van de circulatietoestand van de atmosfeer waarbij de droogte optrad. Deze beschrijving heeft zowel betrekking op de circulatie boven Europa en de Atlantische Oceaan als op sommige aspecten van de circulatie boven het gehele Noordelijk Halfrond.

Een van de problemen bij het samenstellen van dit rapport was de keuze van het tijdvak waarvoor de beschrijving zou moeten gelden. Aangezien de droogte in februari was begonnen en in feite najaar 1976 nog voortduurde lag het voor de hand om het te beschrijven tijdvak in februari te laten beginnen. Impliciet werd dan echter gekozen voor een soort definitie van wat droogte is en om iedere subjectieve keuze in deze te vermijden is met name voor de neerslag het materiaal bewerkt voor de vaste tijdvakken lente plus zomer (maart t/m augustus) en lente en zomer apart. In het algemeen hebben de gegevens echter betrekking op de periode februari t/m september 1976.

In dit rapport ligt de nadruk in eerste instantie op een overzichtelijke presentatie van de gegevens die een aantal aspecten van het droogteverschijnsel beschrijven. De meeste conclusies hebben een zeer voorlopig karakter, enerzijds vanwege de onvolledigheid van het beschikbare materiaal, anderzijds vanwege het feit dat een diepgaand onderzoek binnen de beschikbare tijd niet kon plaatsvinden.

### 1. De neerslaghoeveelheden in Nederland

#### 1.1 De periode t/m september 1976

Uit tabel 1, waar voor de verschillende hoofdstations in Nederland de neerslag in 1976 met het klimatologisch gemiddelde wordt vergeleken, blijkt dat de droogte in 1976 al in februari begonnen is en tot september geduurd heeft. Vooral de maanden april en augustus waren uitzonderlijk droog. Voor de periode maart-augustus en de lentemaanden (maart-mei) en zomermaanden (juni-augustus) apart is nagegaan hoe zeldzaam deze droogte in Nederland geweest is. Bovendien is nagegaan hoe de droogte over ons land verspreid lag en of er een zekere persistentie van droogte in opeenvolgende jaren of van lente naar zomer in hetzelfde jaar bestaat.

Maand	Neerslagstations										Gebieds-gemiddelde		Hoofddorp	
	Eelde <sup>1)</sup>			Den Helder <sup>1)</sup>			De Bilt		Vlissingen		Beek <sup>1)</sup>			
Januari	123.2	66.8	105.0	64.2	107.9	68.0	56.3	61.9	87.2	62.4	97.7	64.7	107	50.9
februari	30.5	49.1	20.2	46.2	17.1	52.2	21.8	44.8	30.5	50.4	21.9	49.2	19	43.3
maart	23.8	40.8	20.2	38.6	36.8	44.6	35.9	39.1	25.0	43.3	29.6	41.9	29	42.8
april	4.4	48.4	3.6	40.0	9.8	48.8	10.2	41.9	18.0	50.4	6.9	45.3	6	42.0
mei	44.8	52.6	18.8	38.4	25.0	51.5	17.5	44.1	32.1	56.1	34.3	48.9	22	44.3
juni	41.6	56.4	17.7	37.4	52.8	58.0	22.8	48.9	23.3	64.3	30.6	54.2	35	55.5
juli	41.0	90.8	44.6	63.9	43.4	76.8	70.0	69.4	60.0	67.3	36.8	77.4	43	75.2
augustus	19.0	87.0	29.9	71.3	16.4	88.0	17.8	66.1	18.3	80.5	23.5	82.4	16	87.6
september	49.0	73.2	78.4	74.6	63.6	71.2	79.2	72.8	95.9	65.0	71.7	72.2	117	81.1

Tabel 1. Neerslag voor de verschillende hoofdstations in Nederland gedurende de maanden januari-september 1976 (1e kolom) vergeleken met de klimatologische waarden (2e kolom, periode 1930-1960). Hetzelfde voor de gebiedsgemiddelde reeks (periode 1930-1960) en de Hoofddorp reeks (1735-1975).

1) De normalen van Gröningen in plaats van Eelde, van Stein in plaats van Beek en de gegevens van 1976 van De Kooij in plaats van Den Helder worden hier gegeven.



## 1.2 Zeldzaamheid van de droogteperiode maart-augustus

1.2.1 Uit een lange neerslagreeks, de Zwanenburg-Hoofddorp reeks vanaf 1735 is op de volgende wijze een cumulatieve frekwentieverdeling verkregen: voor elke opeenvolgende neerslagklasse tussen  $n$  en  $n+5$  mm is het aantal jaren geteld, dat de totale neerslag in deze klasse viel. De klassen lopen dus van 0-4.4, 4.5-9.4, enz. Het totale aantal gevallen wordt nu op 100 genormeerd, zodat de mate van voorkomen van de verschillende klassen (frekwenties) in % verkregen wordt. Deze frekwentieverdeling wordt cumulatief op waarschijnlijkheidspapier uitgezet (zie fig. 1).

Als de oorspronkelijke frekwentieverdeling door een normale verdeling beschreven kan worden, kan de cumulatieve frekwentieverdeling, die op waarschijnlijkheidspapier is uitgezet, in goede benadering door een rechte benaderd worden. De waarneming van 1976 is op deze rechte uitgezet. (Dit is in de verschillende grafieken gebeurd door een  $\Delta$  in te vullen.) Hierna kan afgelezen worden hoe vaak per eeuw een droogte als in 1976 voorkomt. Voor de Hoofddorpreeks is dit gedaan. Het blijkt echter, dat deze reeks niet door een normale kromme beschreven kan worden. De reden hiervan is, dat neerslagreeksen nogal eens een scheef verloop hebben, omdat ze eenzijdig begrensd zijn: er kan nooit minder dan 0 mm neerslag vallen. Om de scheefheid te beschrijven is gebruik gemaakt van een andere theoretische verdeling, de  $\Gamma$ -verdeling [1], waarvan de frekwentieverdeling als volgt beschreven wordt:

$$f(n) = \frac{\lambda^p}{\Gamma(p)} n^{p-1} e^{-\lambda n} \quad \text{voor } n > 0$$

$$f(n) = 0 \quad \text{voor } n \leq 0$$

Met behulp van een rekenmachineprogramma kunnen de parameters  $\lambda$  en  $p$  (die beide  $>0$  zijn) uit de neerslaggegevens berekend worden. De cumulatieve frekwentieverdeling  $f(n)$ , die bij deze  $\lambda$  en  $p$  behoort, is weer in de grafiek uitgezet. De bijbehorende waarden van 1976 is met een  $\square$  aangegeven. De  $\square$ -waarde ligt altijd lager dan de  $\Delta$ -waarde.

Uit de langlopende, dus relatief betrouwbare, Hoofddorpreeks blijkt dat het gedurende 241 jaar nog niet eerder is voorgekomen dat er in de lente-+ zomermaanden zo weinig neerslag viel als in 1976.

De kans dat het nog eens zo droog of droger wordt is 0.3%; d.w.z. verwacht mag worden dat zo'n droogte eens per drie eeuwen voorkomt. Deze uitspraak heeft zelf echter weer een spreiding: als de neerslagreeks zoals die tot nu toe gemeten is ook in de toekomst niet van statistische eigenschappen verandert (als er dus géén klimaatwijziging optreedt) dan is er 95% kans, dat er tussen de één keer per eeuw en één keer per 800 jaar in Hoofddorp een droogte optreedt, die minstens zo erg is als die in 1976.

1.2.2 Neerslagreeksen, zoals de Hoofddorpreeks, die waarnemingen van één station bevatten hebben de eigenschap uitschieters te kunnen vertonen als gevolg van enkele buien, die op dat station wel maar ergens anders niet vielen. Beter is het daarom een gebiedsgemiddelde neerslagreeks te nemen, waarin de neerslagcijfers van een groot aantal stations verwerkt zijn. Nederland heeft zo'n gebiedsgemiddelde neerslagreeks vanaf 1849, de zg. Braakreeks, waarin op dit ogenblik  $\pm$  300 neerslagstations verwerkt worden. Voor de Braakreeks is ook een cumulatieve frekwentieverdeling opgemaakt. Door de neerslagwaarde van 1976 in te vullen in de Braakreeks (die door de middeling over neerslagstations beter aan de eisen van een normale verdeling voldoet) vinden we ook hier dat het gemiddeld eens per 300 jaar, gemiddeld over Nederland, minstens zo droog is gedurende de lente- + zomermaanden als in 1976 (zie figuur 2).

We mogen echter verwachten dat het minder vaak voorkomt dat het op verschillende plaatsen tegelijkertijd droog is (zoals in de Braakreeks) dan op één plaats (Hoofddorp).

Omdat 1976 zo extreem droog is geweest als nog nooit eerder in de meetperiode is voorgekomen moeten we met beovengenoemde uitspraken zeer voorzichtig zijn, omdat geextrapoleerd is juist in een gebied van de kromme waar de afwijking van een ideale normaalverdeling of een  $\Gamma$ -verdeling groot kan zijn.

1.2.3 Om een indruk te krijgen hoe de droogte over het land verdeeld was, zijn de cumulatieve frekwentieverdelingen van de 5 hoofdstations uitgezet (zie figuur 3 t/m 7). Omdat het aantal waarnemingsjaren niet zo groot is (95 jaar) en de cumulatieve frekwentieverdeling hierdoor bij een nieuw droog jaar sterk verandert, zijn hier geen  $\Gamma$ -verdelingen berekend. Hoe vaak een droogte van 1976 verwacht kan worden is afgelezen door aan te nemen dat de verdeling aan een normaalverdeling voldoet, waarbij zonodig een kleine correctie in de richting van grotere zeldzaamheid werd toegepast.

Uit tabel 2 blijkt dat de kans op nog eens zo'n droge maart-september periode het grootst is in Beek en het kleinst in Vlissingen en Eelde. Relatief gezien (namelijk ten opzichte van het plaatselijk klimaatgemiddelde) is het in Vlissingen, Hoofddorp en Eelde droger geweest dan op andere plaatsen in ons land. Uit andere cijfers (distriktsgemiddelde neerslagcijfers die gegeven worden in 3.2) wordt bevestigd dat het Zuidwesten en het Noordoosten van het land droger geweest zijn dan de rest van Nederland.

Periode	Eelde	Den Helder	De Bilt	Vlissingen	Beek	Gebiedsgemidd.	Hoofddorp
maart-aug.	0.5	1.5	1.5	0.5	2	0.3	0.3
maart-mei	1.5	1	2	4	5	2.5	1.5
juni-aug.	2	6	6	0.5	4	1.5	2

Tabel 2. De kans dat een minstens zo grote droge periode als in 1976 nog eens voorkomt. Deze kans wordt gegeven in verwacht aantal keren per eeuw, waarbij van een ongewijzigd klimaat is uitgegaan.

- 1.2.4 Naast de droogteverdeling per plaats kan ook de droogteverdeling in de tijd bekeken worden. Nagegaan is, hoe zeldzaam een droge lente als in 1976 of een droge zomer als in 1976 in Nederland is (figuur 8 t/m 21).  
Uit de gebiedsgemiddelde neerslagreeks (de Braakreeks) blijkt dat de zomer relatief gesproken droger was dan de lente (de kans op nog eens minstens zo'n droge zomer is 1,5 keer per eeuw en de kans op nog eens zo'n droge lente 2,5 keer per eeuw). Als we naar de verschillende stations apart kijken zien we dat het vooral in Vlissingen in de zomer, zowel relatief als absoluut gesproken, veel droger is geweest als in de lente, terwijl Den Helder en De Bilt relatief gesproken in de zomer duidelijk natter zijn geweest.

### 1.3 Persistentie

- 1.3.1 Behalve over de zeldzaamheid van droge lentes en zomers kan ook iets gezegd worden over de opeenvolging. Het is interessant om te weten of er een grotere dan toevallige kans bestaat dat droge jaren door droge jaren gevolgd worden. Omdat er in andere onderzoeken (zie o.a. Deij [2] ) nog nooit iets van jaar op jaar persistentie in neerslagcijfers is ontdekt, is deze hypothese maar zeer summier onderzocht. De jaren, waarin het in lente + zomer òf in de lente- en zomermaanden afzonderlijk even droog of droger als in 1976 geweest is worden gegeven in tabellen 3 t/m 5. Er zijn geen aanwijzingen dat droogte van jaar op jaar persistent is. Om dit toch iets beter te onderzoeken is nagegaan hoe vaak de overgangen droog → droog, nat → nat, droog → nat en nat → droog in de Braakreeks voorkomen. Dit is weergegeven in tabel 6. Hieruit blijkt, dat de overgang HH iets vaker voorkomt dan de overgang LL (namelijk 38 tegen 31 keer). Dit is echter niet verwonderlijk omdat het aantal jaren met meer dan een gemiddelde hoeveelheid regen (H) ook groter is dan het aantal jaren met (L) (namelijk 38 tegen respectievelijk 31).

Tabellen 3 t/m 6 →

Jaar	Neerslag in zomer (juni-augustus)						
	Eelde <sup>1)</sup> < 105	Den Helder <sup>1)</sup> < 100	De Bilt < 120	Vlissingen < 50	Beek <sup>1)</sup> < 105	Geb.Gemidd. < 100	Hoofddorp < 100
1818			GEEN GEGEVENS				98
1857							89
1885			85.0		103.1		91
1887		95.3	60.3				
1899	86.4	89.4	76.3			88.5	
1904					99.4		
1911	83.4	84.7			99.9		
1921		74.5	85.4			95.3	
1932							92
1949		95.9	110.1		101.0		72
1955		78.1					
1959		99.0	104.1				
1967		81.2					
1976	101.7	92.2	112.6	47.6	101.6	90.9	94

Tabel 3. De hoeveelheid neerslag in de zomer wordt gegeven voor jaren waarin minder of ongeveer evenveel neerslag is gevallen dan in de zomer van 1976. (De grens die aangehouden is staat bij het station vermeld.)

1) De gegevens voor 1976 zijn van De Kooij in plaats van Den Helder. Gegevens ouder dan 1950 zijn van Groningen en Maastricht in plaats van respectievelijk Eelde en Beek.

Jaar	Neerslag in lente (maart-juni)							
	Eelde <sup>1)</sup> < 75	Den Helder <sup>1)</sup> < 45	De Bilt < 75	Vlissingen < 70	Beek <sup>1)</sup> < 80	Geb.Gemidd. < 75	Hoofddorp < 60	
1747							54	
1785	G E E N G E G E V E N S							59
1833							44	
1875						71.1		
1880						62.2		
1883					53.3			
1886					73.4			
1892			71.2	65.3				
1893		21.1	37.7	41.8	45.2	46.8	47	
1894					79.7			
1900				62.5	76.0			
1921					63.4			
1929				53.6	76.3	74.0	57	
1936				60.3				
1944				63.8	72.1			
1974				68.4				
1976	73.0	42.6	71.6	63.6	75.1	70.8	57	

Tabel 4. Als in tabel 3. maar nu voor de lentemaanden.

Jaar	Neerslag in lente + zomer (maart-augustus)						
	Eelde <sup>1)</sup> < 180	Den Helder <sup>1)</sup> < 145	De Bilt < 195	Vlissingen < 120	Beek <sup>1)</sup> < 185	Geb.Gemidd. < 175	Hoofddorp < 160
1887			184.9				
1893		130.1			173		
1921		130.2	165.8				
1976	174.7	134.8	184.2	111.2	176.7	161.7	151

Tabel 5. Als in tabel 3 maar nu voor de lente + zomermaanden.

HH	HL
38	28
LH	LL
28	32

Tabel 6. Overgangsmatrix voor de gebiedsgemiddelde neerslagreeks (1849-1975). In jaren met H is er meer dan de gemiddelde hoeveelheid neerslag gevallen, in jaren met L te weinig. (In totaal zijn er 66 H's en 61 L's.)

1.3.2 Een andere interessante zaak is de mate van persistentie van de droogte in opeenvolgende perioden in hetzelfde jaar (bv. maand-op-maand of seizoen-op-seizoen). Uit diverse onderzoeken blijkt dat in tegenstelling tot de temperatuur (zie o.a. Van den Dool [3]) de neerslag over deze relatief lange perioden geen persistentie vertoont. Ook tijdens de afgelopen droogteperiode moest de conclusie dan ook steeds zijn dat de beneden normale hoeveelheid neerslag in voorjaar en begin zomer geen enkele aanwijzing gaf omtrent het voortduren van de droogte in juli en augustus. Tekenend in dit verband is het volgende voorbeeld: beschouwen we alle jaren uit de periode 1735 t/m 1975 die over de periode januari t/m juni te Hoofddorp minder neerslag brachten dan 225 mm (1976: 218 mm). In totaal zijn dit 50 jaren. Het vervolg in juli, geklassificeerd als weinig (< 55.7 mm), normaal (> 55.7, < 92.7 mm) en veel (> 92.7 mm) neerslag ziet er dan als volgt uit:

Weinig : 19 jaren

Normaal: 14 jaren

Veel : 17 jaren.

Ofschoon het onderzoek naar persistentie over langere tijd in de neerslagreeksen van individuele stations steeds negatieve resultaten opleverde, werden in de gebiedsgemiddelde reeks voor Nederland (de Braakreeks) enkele aanwijzingen gevonden voor een samenhang tussen de droogte in opeenvolgende tijdvakken van enkele maanden. Zo werd bv. gevonden dat de 5% droogste zomers in de Braakreeks op één uitzondering na voorafgegaan werden door voorjaren met een beneden normale hoeveelheid neerslag. Onderstaande tabel 7 licht dit resultaat toe.

Tabel 7. →

	Zomer: RR < 115 mm (5% droogste zomers)	Voorjaar: RR < 135 mm (50% droogste lenten)
1857	107.9 mm	102.9 mm
1885	111.1 mm	124.6 mm
1887	106.9 mm	119.6 mm
1899	88.5 mm	165.8 mm
1911	108.7 mm	112.7 mm
1921	95.9 mm	81.7 mm
1976	90.9 mm	70.8 mm

Tabel 7. Braakreeks 1849-1976.

De uitzondering wordt gevormd door het jaar 1899.

De kans dat door het toeval tenminste 6 van deze 7 droogste zomers voorafgegaan werden door voorjaren met minder neerslag dan normaal is volgens de binomiaalrekening 0.0573. Verder onderzoek met gebiedsgemiddelde neerslagreeksen zal moeten uitwijzen in hoeverre we hier met een reëel fysisch persistentie verschijnsel te maken hebben.

## 2. De neerslaghoeveelheden elders in Europa

### 2.1 CLIMAT-kaarten

Ook uit de ons omringende landen kwamen in de loop van de zomer berichten over grote droogte, met name uit Engeland en West-Frankrijk. Om een vergelijking te kunnen maken tussen de situatie bij ons en in andere delen van Europa is gebruik gemaakt van de zg. CLIMAT-berichten waarin voor een aantal Europese stations maandelijks het quintiel van de neerslagsom van de afgelopen maand staat aangegeven. Voor de maanden februari t/m augustus zijn deze quintielen in kaart gebracht waarna de gebieden met neerslag in de quintielen 3, 4 of 5 (normaal tot te nat) zijn afgebakend van de gebieden met neerslag in quintiel 1 of 2 (te droog). Vanwege de grilligheid van de verdelingen leek een verdere detaillering van de analyse niet zinvol. Uit de kaartjes 1 t/m 7 kan worden opgemaakt dat behalve het grootste deel van Nederland en Denemarken ook zuid-oost-Engeland, west-België en de noord-westelijke delen van Frankrijk in ieder van de 7 maanden te droog zijn gebleven. Laten we een onderbreking van een enkele maand toe dan zien we dat Bretagne en noord-Duitsland erbij komen, maar dat het te droge gebied in feite niet zoveel groter wordt. De grote droogte van 1976 is kennelijk toch beperkt gebleven tot een gebied van hooguit 1000 bij 1000 km, waarvan Nederland ongeveer het centrum vormt.

Verder zien we in de kaartjes dat het neerslagpatroon in Europa in de verschillende maanden zeker niet hetzelfde is geweest.

Zoals ook later bij de bespreking van de luchtcirculatie boven Europa zal blijken hebben zich in de periode van februari t/m augustus wel degelijk grote circulatieveranderingen voorgedaan. Deze waren echter van dien aard dat een relatief klein gebied rond Nederland continu verstoken bleef van grote hoeveelheden neerslag.

## 2.2 Baurreeks

Reeds vroeg in de zomer was de afvoer van de Rijn erg laag geworden (zie figuur 42). In verband daarmee ging de aandacht uit naar de neerslaghoeveelheden in het stroomgebied van de Rijn en met name in Duitsland. Gebiedsgemiddelde waarden waarover we de beschikking hadden waren de zg. Baur-waarden van de maandsom van de neerslag, gemiddeld over 14 duitse stations ten westen van de Oder. De afwijkingen van normaal waren voor de verschillende maanden van 1976 (in mm):

jan.	febr.	mrt.	apr.	mei	juni	juli	aug.
+51	-21	-23	-26	-4	-41	-26	-40

Ook in West-Duitsland begon de droogte dus in februari en duurde, zij het in sommige maanden minder extreem als in Nederland, voort tot in het najaar.

De gemiddelde maandsommen van de neerslag op de 14 duitse stations zijn bekend voor alle maanden vanaf januari 1851. Deze zg. Baurreeks is op dezelfde wijze bewerkt als de neerslagreeksen voor Nederland. Uit de figuren 22 t/m 24 blijkt dat lente en zomer in West-Duitsland natter zijn dan in Nederland, en wel door het minder voorkomen van kleine seizoen (en maand) -waarden. Verder volgt uit de grafieken dat in Duitsland de lente van 1976 niet zo uitzonderlijk droog was, maar dat de droogte van de zomer en van voorjaar en zomer samen niet zoveel minder uitzonderlijk was dan in ons land.

## 2.3 Ruimtelijke samenhang

Interessant is verder nog om na te gaan in hoeverre in de gebiedsgemiddelde reeksen van Nederland en West-Duitsland dezelfde jaren als zeer droog te voorschijn komen. Van de 14 droogste lente + zomers uit de Braakreeks (droogste 10%) behoren er 9 ook tot de 14 droogste uit de Baurreeks (zie figuur 25). De overige 5 waren in Duitsland overigens ook aanzienlijk droger dan normaal. Omgekeerd is dat niet het geval: enkele van de 14 droogste lente + zomers in Duitsland lieten in Nederland een vrijwel normale of zelfs bovennormale neerslaghoeveelheid zien (1865, 1869 en 1947). Droogte in Nederland in voorjaar en zomer gaat dus redelijk samen met droogte in West-Duitsland. Droogte in West-Duitsland is wel eens samengegaan met een normale of bovennormale hoeveelheid neerslag in Nederland.

## 2.4 Persistentie

Ook de Baurreeks is summier onderzocht op de aanwezigheid van samenhang van neerslaghoeveelheden in opeenvolgende tijdvakken. Evenals bij de gebiedsgemiddelde neerslagreeks voor Nederland zijn er aanwijzingen voor persistentie gevonden. De hiervoor besproken ruimtelijke samenhang houdt echter in dat de Baurreeks en de Braakreeks niet als onafhankelijke reeksen beschouwd mogen worden. Het feit dat bepaalde statistische verbanden in beide reeksen gevonden worden draagt daarom nauwelijks bij tot de statistische significantie van het desbetreffende verband.



### 3. Neerslag en verdamping in Nederland

#### 3.1 Neerslag en Verdamping

Droogte wordt niet alleen door neerslag maar tevens door de verdamping bepaald. Bij het beschrijven van de droogte van 1976 zal derhalve tevens aandacht aan de verdamping moeten worden besteed. Nu is dit helaas geen eenvoudige zaak. Het verdampingsproces is zeer ingewikkeld, niet in de laatste plaats omdat het door veel factoren wordt bepaald. Deze factoren kunnen ruwweg worden ingedeeld in meteorologische, planten-fysiologische, bodemkundige en geohydrologische. Op het ogenblik zijn er geen berekenings-methoden voorhanden, waarmee met behulp van eenvoudig te meten invoergegevens de verdamping uit diverse gebieden in Nederland, die qua begroeiing, bodemsoort, ligging e.d. van elkaar verschillen, de verdamping kan worden bepaald. Wel is het mogelijk de meteorologische grootheden, zoals straling, windsnelheid, luchtvochtigheid en temperatuur apart te beschouwen en wel door invoering van het begrip "potentiële verdamping ( $E_p$ )". Deze zal hier worden gedefinieerd als de verdamping uit een zeer uitgestrekt, homogeen, van buiten droog, oppervlak, dat is begroeid met een groen kortgeknipt en gesloten gewas en dat optimaal van water is voorzien. Deze definitie heeft het nadeel dat hij slechts van toepassing is voor een zeer specifiek oppervlak, doch heeft het voordeel dat hij alleen afhankelijk van meteorologische factoren is. Het blijkt dat  $E_p$  redelijk nauwkeurig kan worden geschat met routinematig gemeten grootheden, te weten zonneshijnduur, windsnelheid, luchtvochtigheid en temperatuur. Dit geschiedt met behulp van de formule van Penman [4]. Hiermee kan de zg. openwaterverdamping  $E_o$  worden berekend. Voor de wijze waarop de Penman-formule door het KNMI wordt toegepast wordt verwezen naar Kramer [5]. Het blijkt dat indien de hoogte van het gewas, genoemd in de definitie van  $E_p$ , ongeveer 10 cm is,  $E_p$  redelijk nauwkeurig kan worden geschat met  $0.8 E_o$ . Beschouwt men de neerslag  $N$  verminderd met  $E_p$  dan verkrijgt men wat men het "potentieel netto neerslag-overschot" zou kunnen noemen. In deze grootheid zijn alle meteorologische grootheden samengevat, die het verschijnsel droogte bepalen. Uit het voorafgaande blijkt wel dat de fysische betekenis van dit getal betrekkelijk klein is omdat  $E_p$  slechts is gedefinieerd voor gras van 10 cm hoog, dat goed van water is voorzien. Omdat er echter niets beters is zal in het nu volgende de grootheid  $N-E_p$  worden beschreven. Bij de interpretatie van deze grootheid moet het in de allereerste plaats gezien worden als een getal dat droogte "meteorologisch" karakteriseert.

#### 3.2 Verdeling in 1976 binnen Nederland

De neerslag  $N$ , de openwaterverdamping  $E_o$  en het hiervan afgeleide potentieel netto neerslag-overschot ( $N-0.8 E_o$ ) werden bepaald voor de 15 distrikten, zoals die in de maandelijkse publikatie van het KNMI [6] worden gebruikt.

In de kaarten 8, 9 en 10 zijn de resultaten voor de periode maart t/m augustus weergegeven. Tevens werden de in 1976 opgetreden waarden vergeleken met de normaalwaarden van de periode 1930-1960.

In kaart 8 is de neerslagverdeling weergegeven. Deze kaart bevestigt datgene wat reeds aan de hand van de gegevens van de 5 hoofdstations in paragraaf 1. werd gevonden: in de kustprovincies viel zowel relatief als absoluut de minste hoeveelheid neerslag

In Zeeland viel bijna 60% te weinig. Het distrikt 6, dat zuidelijk Drente en bijna geheel Overijssel beslaat kwam er het minst slecht af. Hier viel een 46% onder normale hoeveelheid.

In kaart 9 is de openwaterverdamping  $E_0$  per distrikt weergegeven. Opgemerkt moet worden dat in elk distrikt slechts één station is gelegen. Op zich is dit niet zo'n groot bezwaar, omdat de ruimtelijke variabiliteit van  $E_0$  niet zo groot is. Belangrijker is echter te weten dat niet op alle stations de meteorologische grootheden worden gemeten, die voor de Penman-formule nodig zijn. De gegevens die ontbraken werden door middel van ruimtelijke interpolatie verkregen.

Uit kaart 9 blijkt dat in de zuidelijke provincies de afwijkingen ten opzichte van normaal het grootste zijn: ca. 20%.

Gemiddeld over geheel Nederland bedroeg deze afwijking 17%.

Het potentieel netto neerslag-overschot is in kaart 10 per distrikt weergegeven. Omdat de normaalwaarden voor de periode maart t/m augustus relatief klein zijn, zijn voor dit geval de absolute waarden van de verschillen ten opzichte van de normaalwaarden vermeld. Kaart 10 laat zien dat de Waddeneilanden, Groningen, Friesland, Drente en Overijssel de kleinste afwijkingen ten opzichte van normaal hebben. De grootste afwijkingen ten opzicht van normaal zijn in Zuid-Holland, Zeeland, Noord-Brabant en Gelderland opgetreden. Absoluut had Zeeland te kampen met het grootste potentiële netto neerslag-tekort: -444 mm.

### 3.3 Het verloop vanaf 1 maart per maand

Het verloop van de neerslag van maand op maand is reeds beschreven in paragraaf 1.1. Derhalve zal hier alleen het verloop van het potentieel netto neerslag-overschot worden beschouwd. Om niet te veel in detail te treden en om het aantal tabellen en grafieken te beperken zal dit alleen geschieden met de landelijke gemiddelden en zal de verdeling over Nederland van maand op maand buiten beschouwing worden gelaten. Mocht blijken dat aan deze informatie grote behoefte bestaat dan zal in een later stadium worden bezien of dit facet van de droogte van 1976 alsnog kan worden behandeld.

In de meeste gevallen is men niet zozeer geïnteresseerd in dit potentieel netto neerslag-overschot per maand, maar meer in de cumulatieve som vanaf een bepaalde datum. Hiervoor werd 1 maart gekozen. Indien  $X_i = N_i - 0.8 E_{0i}$ , waarbij de index  $i$  de maand aanduidt (januari = 1 etc.) dan zal dus worden beschouwd de grootheid

$$IJ_k = \sum_{i=3}^{i=k} X_i \quad \text{met } k = 3, 4, 5, \dots$$

Bij de aanvang van het op schrift stellen van deze paragraaf waren de gegevens t/m september ( $k = 9$ ) beschikbaar. In figuur 26 is  $IJ$  (in mm) als functie van de maand uitgezet. Het is duidelijk te zien dat  $IJ$  tot en met augustus continu afneemt. Pas in september is de neerslag weer groter dan de potentiële verdamping, waardoor na augustus  $IJ$  weer iets toeneemt.

### 3.4 Vergelijking met 1911-1975

Teneinde een inzicht te verkrijgen in de zeldzaamheid van de in 1976 opgetreden situatie werd een gedeeltelijk nog niet gepubliceerde reeks van maandsommen van  $E_0$  bewerkt. Deze reeks, die als een uitbreiding kan worden gezien van de reeks van Kramer [5], betreft

12 stations voor 1911 t/m 1960 en 15 stations voor 1961 t/m 1975. Het is goed te realiseren dat hoe verder is teruggegaan in de tijd des te minder meteorologische gegevens, nodig voor de Penman-formule, aanwezig waren. Dit heeft uiteraard gevolgen voor de betrouwbaarheid en de representativiteit van de bewerkte reeks.

Voor wat de neerslag betreft: hiervoor kan worden beschikt over de gebiedsgemiddelde reeks van Braak.

Met behulp van bovengenoemde gegevens werd voor elk jaar vanaf 1911  $IJ_k$ , de cumulatieve som van de neerslag minus de potentiële verdamping bepaald voor maart, maart en april, maart, april en mei etc. (dus voor  $k = 3, 4, 5 \dots$ ).

Op deze manier werd voor elke  $k$  65 waarden van  $IJ_k$  verkregen. Hiervan werden cumulatieve frekwentieverdelingen opgesteld, welke vervolgens op normaal waarschijnlijkheidspapier werden uitgezet. Hieruit blijkt dat in het algemeen  $IJ$  niet als normaal verdeeld mag worden beschouwd; er treden voornamelijk afwijkingen bij "de staarten" op. Dus o.a. juist in het gebied van de extreme lage waarden van  $IJ$ , waarin wij geïnteresseerd zijn wijkt de frekwentieverdeling van  $IJ$  af van de normaalverdeling. Er is voorsnog geen poging gedaan te onderzoeken aan welke andere verdeling  $IJ$  voldoet. Wel konden de grafische voorstellingen van de cumulatieve verdelingen van  $IJ$  worden gebruikt voor het vaststellen van de grenswaarden waaronder respectievelijk 90%, 10% en 2% van de waargenomen waarden van  $IJ_k$  lagen. Deze grenswaarden werden eveneens in figuur 26 uitgezet. Bovendien zijn nog de gemiddelde waarden van  $IJ_k$  voor 1911-1975 in figuur 26 weergegeven.

Op deze manier wordt een duidelijker beeld verkregen over de zeldzaamheid van de droogte van 1976. Alle  $IJ$ -waarden in 1976 opgetreden na maart, zijn kleiner dan de 2% grenswaarden vastgesteld voor de periode 1911-1975.

### 3.5 Vergelijking met andere droge jaren

In figuur 27 is  $IJ_k$  uitgezet voor  $k = 8$ ; dus de som van  $N - E_p$  van de halfjaarlijkse periode maart t/m augustus tegen het jaar. Bij de interpretatie van deze grafiek is het goed te weten dat vóór 1947 de opstellingshoogte van de KNMI-standaardregenmeter 1.50 m bedroeg en na 1947 40 cm. Door het zg. windeffect is vroeger (zie Braak [7]) ongeveer 5% te weinig neerslag opgevangen gemiddeld over Nederland.

Hiervoor is niet gecorrigeerd. Dit betekent dat vóór 1947 de  $IJ$ -waarden van figuur 27 15-20 mm te laag kunnen zijn.

Voor droge jaren zullen uiteraard de correcties kleiner zijn dan voor nattere jaren.

Wat duidelijk uit figuur 27 blijkt is dat naast 1976 ook 1911, 1921 en 1959 lage waarden hadden voor het potentiële netto neerslag-overschot voor het tijdvak maart t/m augustus. Deze jaren werden daarom nader beschouwd.

In figuur 28 zijn analoog aan figuur 26 de cumulatieve sommen van het potentiële netto neerslag-overschot (vanaf 1 maart) uitgezet van deze jaren, weer voor maart t/m september, alsmede de overeenkomstige normaalwaarden van 1911-1975. Te zien is dat 1976 t/m augustus droger was dan de andere droge jaren, maar dat eind september de jaren 1921, 1959 en 1976, vergelijkbaar zijn. Op grond van dit laatste zou kunnen worden geconcludeerd

dat 1976 een extreem droog jaar is geweest, indien "droog" betekent een lage waarde van het potentieel netto neerslagoverschot in de voorjaars- en zomermaanden, doch dat indien het tijdvak maart t/m september wordt beschouwd, er in de periode 1911-1976 2 jaren zijn voorgekomen die vergelijkbaar waren met 1976.

4. Luchtvochtigheid, temperatuur en weertypen tijdens de droogteperiode

4.1 Luchtvochtigheid

Droogte in de zin van uitblijven van neerslag hoeft niet zonder meer te betekenen dat ook de lucht erg droog is. Wanneer echter lange tijd geen regen is gevallen, zullen sommige oppervlakten zo droog zijn geworden dat er praktisch geen verdamping meer plaatsvindt. Als in zo'n geval de aanvoer van vochtige lucht gering is, zal boven deze oppervlakten de luchtvochtigheid sterk kunnen afnemen. Zonder uitvoerige balansberekeningen zal het echter niet mogelijk zijn om uit te maken hoe een bepaalde luchtvochtigheidstoestand tot stand is gekomen.

Hoe het tijdens de droogteperiode in Nederland gesteld was met de luchtvochtigheid is niet uitvoerig geanalyseerd. Alleen voor De Bilt is een grafiek gemaakt van het verloop van de dampspanning (in mbar) voor de periode maart t/m augustus (zie figuur 29). Uit de vergelijking met de normaalwaarden en getallen voor de afgelopen jaren (tabel 8) valt op dat de lucht tijdens de droogteperiode niet uitzonderlijk droog is geweest.

Maand	normaal 1930-1960	1971	1972	1973	1974	1975	1976
jan	6.4	6.6	5.8	7.0	8.2	8.5	7.5
febr.	6.4	6.9	7.0	6.9	7.3	6.3	6.9
maart	7.2	6.3	7.0	7.1	7.7	7.2	6.1
april	8.5	8.4	8.4	7.3	8.2	8.6	7.5
mei	10.7	10.9	10.5	10.5	10.3	9.9	10.5
juni	12.9	12.1	11.7	12.9	13.5	12.0	13.7
juli	15.0	15.0	16.2	14.6	14.2	15.3	15.0
aug.	15.2	15.1	14.1	14.6	14.9	15.7	14.1
sept.	13.5	11.5	11.4	14.0	12.8	13.9	13.0

Tabel 8. Etmaalgemiddelde dampdruk te De Bilt (in mbar).

Alleen in de maanden maart/april en in augustus is de dampdruk iets ondernormaal geweest. Uit een beschouwing van de luchtcirculatie boven Europa (zie volgende hoofdstuk) blijkt dat in deze maanden blokkeringen boven Scandinavië de overhand hadden.

De luchtsoort die bij deze circulaties over ons land uitstroomt is van oorsprong reeds droog (continentaal polaire lucht). Het ligt dus voor de hand om de lage luchtvochtigheden in het vroege voorjaar en in augustus uit de aanvoer van relatief droge lucht te verklaren. Omdat de aanvoer in augustus erg zwak was zou de lage luchtvochtigheid in die maand misschien voor een deel verklaard kunnen worden uit het feit dat de verdamping uit de droge grond erg gering kan zijn geworden.

Een lage dampspanning van de lucht aan de grond verhoogt het optillingskondensatie-niveau en verkleint daarmee de neerslagkansen op dagen dat de atmosfeer voorwaardelijk onstabiel is. Dit zijn de dagen van de zomerse buien. Het nagenoeg uitblijven van flinke buien in de zomermaanden van 1976 werd door sommigen wel aan de droogte van de grond (en de lucht erboven) toegeschreven. Uit het bovenstaande blijkt dat dit hoogstens in augustus het geval kan zijn geweest. Overigens vormt dit mechanisme geen verklaring voor het feit dat er ook uit de passerende fronten relatief weinig regen viel. Fronten betekenen immers een flinke aanvoer van vochtige lucht van de Atlantische Oceaan en de condensatie- en neerslagvorming aan het front zijn in eerste instantie niet afhankelijk van de lokale verticale instabiliteit, maar van de dynamisch geforceerde verticale beweging van de lucht op grote schaal.

Al met al hebben we dus nog geen sluitende verklaring voor het feit dat in 1976 op dagen dat er neerslag viel de hoeveelheden zo gering bleven. Een illustratie van bedoeld feit geeft tabel 9.

	Droog ( < 0.3 mm )	Matig ( 0.3 t/m 4.9 mm )	Veel ( ≥ 5.0 mm )
1976	139 (76%)	36 (20%)	8 ( 4%)
normaal	102 (56%)	57 (31%)	24 (13%)

Tabel 9. Verdeling van de dagsommen van de neerslag te De Bilt voor de periode 1 maart t/m 31 augustus.

Wel kan worden opgemerkt dat tijdens de droogteperiode een frontpassage slechts zelden onmiddellijk gevolgd werd door een tweede of derde front. De ervaring leert dat bij het passeren van zo'n frontenfamilie opeenvolgende fronten een toenemende hoeveelheid regen brengen, althans in de eerste 3 à 4 dagen van zo'n periode.

#### 4.2 Temperatuur

De CLIMAT-kaartjes 11 t/m 17 geven een beeld van de temperatuurverdeling (t.o.v. normaal) in Europa tijdens de droogteperiode. De kaartjes laten zien dat in Nederland en omgeving de droogte in het vroege voorjaar gepaard ging met benedennormale temperaturen en in de maanden mei t/m augustus met bovennormale temperaturen. Dit beeld wijkt niet af van de klimatologische samenhang tussen neerslag en temperatuur in de verschillende maanden. Voor de zomers vanaf 1849 is dit verband in figuur 30 weergegeven. Het betreft hier de gemiddelde zomertemperatuur te De Bilt (zijnde voldoende representatief voor de temperatuur in ons land) en de

gebiedsgemiddelde neerslag volgens de Braakreeks. De figuur laat overigens zien dat er naar weerskanten nog flinke afwijkingen voorkomen, d.w.z. warme zomers die niet zo erg droog zijn (1859, 1947, 1975) en droge zomers die gemiddeld te koel of normaal van temperatuur zijn (o.a. 1921). In samenhang met de eerder besproken geringe verdamping wanneer de grond erg droog is geworden zal de luchttemperatuur overdag sterk kunnen toenemen. De stralings-energie van de zon komt dan namelijk vrijwel geheel ten goede aan de stroom van voelbare warmte. De bijzondere hoge temperatuur op sommige dagen in de droogteperiode kan zeker mede door dit effect zijn veroorzaakt. De record hittegolf in Engeland van 23 juni - 8 juli 1976 wordt door Morris en Ratcliffe [8] ook gedeeltelijk aan dit verschijnsel toegeschreven. Opge-merkt zij dat in zo'n geval de relatieve vochtigheid erg lage waarden kan bereiken, de geringe verdamping en de hoge temperatuur dragen hier immers beide toe bij.

#### 4.3 Weertypen

Onder weertype verstaan we hier een combinatie van weerselementen (temperatuur, neerslag, zonneschijn, enz.) die het weer op een bepaalde dag zoals het subjectief wordt ervaren, enigszins tracht te benaderen.

In [9] is een weertype-kalender en -klimatologie voor De Bilt (1881-1970) gepubliceerd.

Een weertype bestaat hier uit een combinatie van de drie weers-elementen: temperatuur-neerslagsom-zonneschijn.

De daggemiddelde temperatuur behoort tot 1 van de 3 klassen: Below normal (B), Normal (N) of Above normal (A).

De dagsom van de neerslag is ingedeeld in 1 van de 3 klassen:

Dry (D), Moderate (M), Heavy (H) precipitation en voorts werden 3 groepen gemaakt voor het dagelijks zonneschijnpercentage, zijnde: Cloudy (C) voor een dag met betrekkelijk weinig zon, Partly Cloudy (P) voor de middengroep en Sunny (S) voor een zonnige dag.

De grenzen voor de temperatuurklassen zijn  $33\frac{1}{3}\%$  grenzen en ze volgen de jaarlijkse gang van de temperatuur; voor de neerslagsom en het zonneschijnpercentage zijn de grenzen gedurende het gehele jaar constant: 0.3 en 5 mm neerslag en een zonneschijnduur van 25 en 50%. Van de zo geconstrueerde 27 (3x3x3) combinaties van weerselementen, neemt het weertype ADS, zijnde "Warm-Droog-Zonnig" een bijzondere plaats in. Gemiddeld komt dit type, over het jaar gezien, het meeste voor (9.9%). Opgesplitst naar seizoen komt ADS vooral voor in de lente en zomer en is dan van alle typen tevens (gemiddeld) het meest vóórkomende (lente 13.1% en zomer 17.9%). Het voorkomen van het weertype ADS is daarom een redelijke maat voor het karakter van de lente en beter nog van de zomer. Reden om de droogteperiode van 1976 ook eens aan de hand van deze grootheid te bekijken. Dit is gedaan door cumulatieve aantallen van het ADS-type te bepalen.

Ten gevolge van het nauwelijks voorkomen van ADS-dagen in de winter, kunnen cumulatieve aantallen zonder bezwaar vanaf 1 januari worden berekend. De berekeningen zijn uitgevoerd voor alle jaren vanaf 1881 (zie tabel 10a t/m d, die als bijlage is toegevoegd). Uit tabel 10 blijkt dat het verloop van het aantal ADS-dagen in 1976 tot en met de maand mei vrij normaal is geweest (opgetreden: 18 ADS-dagen tegen 13.5 normaal). Dit komt omdat vroeg in het voorjaar het weliswaar droog en zonnig was maar koud, terwijl met name de droge en warme maand mei niet overdreven zonnig was.

In juni maakte het aantal ADS-dagen echter een zeer snelle opmars, waardoor er eind juni nog maar 1 jaar (1893) in de reeks 1881-heden overbleef dat 1976 overtrof. In 1976: jan t/m juni: 36 ADS-dagen tegen 19.1 dagen normaal (1881-1975).

Jaren die met 1976 ongeveer gelijke tred hielden zijn:

1884	met	31	ADS-dagen
1889	met	32	ADS-dagen
1893	met	47	ADS-dagen
1921	met	35	ADS-dagen
1947	met	30	ADS-dagen
1948	met	34	ADS-dagen
1959	met	31	ADS-dagen.

Eind juli was de situatie aldus:

1976: jan. t/m juli: 48 ADS-dagen tegen 24.8 dagen normaal.

Meegaande jaren:

1893	met	52	ADS-dagen	
1921	met	46	ADS-dagen	1884 met 37 ADS-dagen
1947	met	49	ADS-dagen	1889 met 37 ADS-dagen
1948	met	42	ADS-dagen	wijken nu vrij sterk af.
1959	met	46	ADS-dagen	

Eind augustus:

1976: jan. t/m aug. 65 ADS-dagen tegen 30.1 dagen normaal.

Meegaande jaren:

1884	met	56	ADS-dagen (komt terug)	
1893	met	62	ADS-dagen	
1921	met	53	ADS-dagen	1948 met 44 ADS-dagen
1947	met	73	ADS-dagen	valt nu af.
1959	met	55	ADS-dagen	

Eind september:

1976: jan. t/m sept. 65 ADS-dagen tegen 33.8 dagen normaal.

Overeenkomstige jaren:

1884	met	69	ADS-dagen
1893	met	62	ADS-dagen
1921	met	59	ADS-dagen
1947	met	87	ADS-dagen
1959	met	67	ADS-dagen

Op grond van het ADS-verloop over jan. t/m sept. heeft 1976 de meeste overeenkomst met de jaren 1893 en 1921. De overeenkomst met 1884, 1947 en 1959 is minder goed t.g.v. het feit dat in deze jaren september minstens 12 ADS-dagen opleverde, terwijl september 1976 geen enkele ADS meer had.

Tot slot vergelijken we nog even de lijstjes van uitzonderlijke jaren bij de ADS-analyse en bij de analyse van het potentieel netto neerslag-overschot  $N - 0.8 E_0$ . Een dergelijke vergelijking heeft enige zin omdat het in beide gevallen om combinaties van weerselementen gaat die temperatuur, neerslag en zonneshijn gemeenschappelijk hebben.

Opvallend is dan dat over de periode 1911 t/m 1975 (de periode waarover vergelijking mogelijk is) beide analyses 3 jaren als uitzonderlijk aanwijzen (in de zin van de droogte van 1976). Van deze 3 jaren zijn echter alleen 1921 en 1959 gemeenschappelijk. De  $(N - 0.8 E_0)$ -analyse levert dan verder nog 1911 op en de ADS-analyse 1947. Gezien de tekortkomingen van welke index dan ook als het gaat om het weergeven van "droogte" zoals deze in de landbouw etc. wordt ervaren, mogen de 5 genoemde jaren wel bij elkaar worden genomen. Dit betekent dat de periode 1911 t/m 1976, zijnde 66 jaren, maar liefst 5 jaren (1911, 1921, 1947, 1959 en 1976) opleverde waarin van droogte in de zozjuist geschetste zin kon worden gesproken. Afgaande op de ADS-analyse was de frekwentie van voorkomen van zulke jaren in de periode 1881-1910 van dezelfde orde van grootte, nl. 1 x per 10-15 jaar.

## 5. De luchtcirculatie boven Europa

### 5.1 Verband circulatie - weer

Uitzonderlijke weersomstandigheden zoals langdurige droogte hangen in ons klimaat altijd samen met uitzonderlijke toestanden op het gebied van de luchtcirculatie. In zekere zin kan het droogteverschijnsel uit de uitzonderlijke circulatietoestand worden verklaard, maar dit is natuurlijk geen echte verklaring. Het is hoogstens een stapje verder in de keten van oorzaak en gevolg want de volgende vraag is natuurlijk hoe die uitzonderlijke circulatietoestand tot stand kwam. Toch heeft het zin om de relatie luchtstroming - weer in zulke uitzonderlijke omstandigheden nader te bestuderen en wel om de volgende redenen:

- 5.1.1 het hierboven genoemde stapje zal toch noodzakelijk zijn om ooit tot een sluitende verklaring van bv. het droogteverschijnsel te komen;
- 5.1.2 er zijn meerdere circulatietoestanden die tot droogte aanleiding kunnen geven;
- 5.1.3 het is niet geheel ondenkbaar dat de droogte wanneer deze langdurig is, invloed uitoefent op de luchtcirculatie en aldus persistentie van de droogte veroorzaakt;
- 5.1.4 de meeste weersverwachtingmethoden, ook die voor verwachtingen tot een week of langer vooruit (als deze in de toekomst mogelijk worden) zijn gebaseerd op een vooruitberekening van de luchtstroming.

De luchtcirculatie kan op verschillende manieren worden bekeken. De meest direkte manier is om de frekwentie-verdeling van windrichtingen voor een bepaalde plaats te bekijken. Deze methode wordt in dit rapport echter niet gevolgd. Deze frekwentie-verdeling zegt namelijk bijzonder weinig over de aard en ligging van de grote schaal circulatiesystemen (hoge- en lagedrukgebieden) die de windrichting op een bepaalde plaats in ons land bepalen. Het heeft daarom meer zin om meteen maar de frekwentie-verdeling van voorkomen van de verschillende grote schaal circulatietypen te bekijken. De windrichtingen in ons land hangen daar overigens op een bekende manier mee samen.



### 5.2 Grosswetterlagen (GWL)

De circulatietypen waar we in Nederland vooral gebruik van maken zijn de zg. Grosswetterlagen (afgekort GWL). De luchtstromingen boven Europa en aangrenzend oceaangebied worden in het GWL-systeem ingedeeld in 29 typen, voornamelijk op basis van de ligging van het "sturende" hogedrukgebied. Dagelijks wordt aan de hand van weerkaarten het circulatietype bepaald.

Onderscheid wordt gemaakt tussen enerzijds zonale, half geblokkeerde en geblokkeerde circulatietypen, afhankelijk van de geografische breedte van het circulatie bepalende hoge of lage druk systeem en anderzijds tussen het cyclonale en anticyclonale karakter van de typen. Dit cyclonale/anticyclonale karakter wordt vastgesteld voor Midden-Europa. Zie tabel 11.

Luchtstroming	Hoofdgroep	Circulatietype boven Midden Europa	
		Anticyclonaal (=a)	Cyclonaal (z)
Zonaal	West	Wa	Ws-Wz-Ww
Half geblokkeerd	Zuidwest	SWa	SWz
	Noordwest	NWa	NWz
	Hoog Midden Eur.	BM-HM	
	Laag Midden Eur.		TM
Geblokkeerd	Noord	Na-HNa-HB	Nz-HNz-TrM
	Noordoost	NEa	NEz
	Oost	HFa-HNFa	HFz-HNFz
	Zuidoost	SEa	SEz
	Zuid	Sa	Sz-TB-TrW
Niet te benoemen	-	-	-

Tabel 11. Indeling van de GWL.

### 5.3 De toestand in 1976

In tabel 12 (als bijlage toegevoegd) zijn de dagelijkse GWL weergegeven voor de periode van 1 januari - 30 september 1976.

Tabel 13 (als bijlage toegevoegd) geeft een overzicht per maand en een totaal beeld van de afwijkingen van normaal van de cirkulatietypen, zoals die in 1976 januari - september zijn voorgekomen.

Hierbij valt op dat in dit totaalbeeld de grootste bijdrage meestal wordt geleverd door cirkulatietypen, behorend tot de groepen:

- I - zonaal cyclonaal (55 dagen)
- II - half geblokkeerd anticyclonaal (61 dagen)
- III - geblokkeerd anticyclonaal (56 dagen)
- IV - geblokkeerd cyclonaal (58 dagen).

(Deze groepen leveren ook voor iedere maand afzonderlijk de grootste bijdrage.)

De afwijkingen in 1976 ten opzichte van de normale gang van zaken kwamen vooral in de eerste drie groepen voor.

Het algemene beeld van 1976 (jan.-sept.) vertoont:

- een groot tekort aan typen uit groep I;
- een groot tekort aan typen uit groep II;
- een groot overschot aan typen uit groep III.

Beschouwen we elke groep afzonderlijk dan komt het totaalbeeld als volgt tot stand.

Groep I : het tekort werd veroorzaakt vooral door gebrek aan Wz, Ws.  
Groep II : het tekort is te danken aan het afwezig zijn van HM en Nwa; daarentegen kwam BM bijna 2 keer zo vaak voor als normaal.  
Groep III: het overschot is vooral te danken aan het veelvuldig optreden van HFa, NEa en SEa.

Volgens tabel 12 kunnen we de cirkulatie in de afzonderlijke maanden van 1976 als volgt karakteriseren:

januari	: cyclonaal, overwegend zonaal	(Wz)
februari	: anticyclonaal, veelal geblokkeerd	(Sa, SEa)
maart	: anticyclonaal geblokkeerd	(HFa)
april	: half geblokkeerd en geblokkeerd	(BM, NEa, HNz, Nz, HB)
mei	: cyclonaal zonaal	(Wz, TrW)
juni	: anticyclonaal half geblokkeerd en geblokkeerd	(BM, HM) (HFa, NEa)
juli	: anticyclonaal half geblokkeerd en geblokkeerd	(BM) (HNa, HNFa, HFa)
augustus	: anticyclonaal geblokkeerd	(NEa)
september	: cyclonaal geblokkeerd	(TB, TrW)

De in het voorjaar van 1976 opgetreden cirkulatie is niet zo uitzonderlijk. Het is immers het tijdvak van de blokkeringen, zowel voor de Noord- als voor de Oosttypen.

Het meest uitzonderlijke ligt juist in de zomermaanden. Te weten het feit dat de west-circulatie (cyclonaal) niet op gang kwam. Het absolute maximum van het type Wz ligt in juli en augustus (zijnde resp. 6.0 en 6.9 dagen gemiddeld).

Resumé: De cirkulatie in 1976 jan.-sept. stond veelal in het teken van de volgende typen:

HFa, NEa en voorts BM (+ Wa).

Dit overschot ging ten koste van de typen Wz en Ws  
Nwa en HM

en in het algemeen ook van de typen HNa, HB.

Koppelen we de maanden januari en september 1976 los van het totale tijdvak dan wordt de cirkulatie van februari tot en met augustus (de feitelijke droogte-periode) boven Europa hoofdzakelijk bepaald door een gebied van hoge luchtdruk boven Scandinavië (HFa), dat regelmatig uitlopers had in de richting van ons land en Frankrijk (NEa). De luchtdruk was vrijwel steeds laag in het gebied rond IJsland en Zuidoost-Europa. Wanneer de hoge druk als uitloper van het Azoren-hogedrukgebied Scandinavië niet bereikte ontstond vaak een brug van hoge luchtdruk over West- en Midden-Europa (BM). De weerkaarten van 22 augustus, 10 augustus en 30 juni 1976 (kaart 18 t/m 20) geven een voorbeeld van ieder van de 3 typen die de droogte-periode in sterke mate hebben bepaald.

#### 5.4 Analoge jaren

Op grond van de bijzonderheden die in 5.3 werden besproken kunnen mogelijk analoge jaren uit de periode 1881-1975 worden gevonden. We gaan uit van de volgende selectiekriteria (geldend voor de periode jan. t/m sept.):

1. Wz : aantal  $\leq$  40 en in juli-augustus-september  $<$  13
2. BM :  $\geq$  25 (1976:27, normaal 14)
3. HM :  $\leq$  15 (1976:15, normaal 29)
4. Nwa:  $\leq$  10 (1976: 3, normaal 13)
5. HFa:  $\geq$  20 (1976:35, normaal 10)
6. NEa:  $\geq$  15 (1976:19, normaal 9)

Opgemerkt zij dat geen enkel jaar 1976 t.a.v. de opgetreden HFa benadert:

28 HFa - 1942

23 HFa - 1884-1919-1954

22 HFa - 1881-1901-1940

Jaren die aan minstens drie van de zes selectiekriteria voldoen zijn:

	Wz	BM	HM	Nwa	HFa	NEa
1901	x				x	x
1911	x	x		x		x
1919	x	x			x	
1942	x			x	x	
1949	x	x		x		
1951	x		x	x		
1954			x	x	x	
1955	x	x	x			
1959	x			x		x
1968	x		x	x		
1970	x		x	x		
1971			x	x		x
1973	x	x		x		
1975		x	x	x		

Het jaar dat aan de meeste criteria voldoet is 1911. Dat jaar was dus redelijk analoog aan 1976 (t/m september) voor wat betreft het voorkomen van ciklatietypen boven Europa. Het behoort echter ook tot de extreem droge jaren zowel in Nederland als in West-Duitsland.

Dat laatste kan echter niet gezegd worden van het merendeel van de jaren in bovenstaand lijstje. Er zijn zelfs jaren bij waarbij voorjaar en zomer tezamen aanzienlijk te nat uitvielen (1951, 1954 en 1968). Hieruit mag worden geconcludeerd dat een zekere analogie in het voorkomen van circulatietypen boven Europa nog geen garantie biedt voor het optreden van gelijke weersomstandigheden. Lange termijnverwachtingen op basis van circulatie-analogen hebben dit overigens al herhaaldelijk aangetoond, zowel in Nederland als in Engeland. Aan het zojuist genoemde verschijnsel werd in engelse publicaties meermalen aandacht besteed. Onlangs nog werd in een discussie in het Quarterly Journal [10] gewezen op de overeenstemming van de luchtcirculaties in de zomers van 1968 en 1959 terwijl toch het weer buitengewoon verschillend was (bv. in Nederland; neerslag-som zomer 1968: 289 mm, zomer 1959: 126 mm).

### 5.5 De luchtcirculatie in droge jaren

We gaan nu na of het omgekeerde van paragraaf 5.4 waar is: hebben droge jaren enigszins gelijke circulatie-omstandigheden. We doen dit voor de jaren sinds 1881 (want daarvoor zijn de circulatietypen niet beschikbaar) waarvoor geldt dat zowel voorjaar als zomer in Nederland (Braakreeks) zo droog waren dat zij behoren tot de droogste  $33\frac{1}{3}\%$  van de frekwentie-verdeling. Deze jaren zijn: 1884, 1885, 1887, 1892, 1893, 1896, 1904, 1911, 1921, 1929, 1938, 1944, 1959 en 1976. Van deze jaren werd bekeken op hoeveel dagen in de periode van 1 maart t/m 31 augustus circulatietypen voorkwamen die doorgaans droog weer opleveren en met name ook hoeveel dagen van elke soort. Er werden 3 soorten onderscheiden: halfgeblokkeerde typen met hoge druk boven Midden-Europa (HM en BM); geblokkeerde typen met hoge druk boven Scandinavië (HFa en NEa); geblokkeerde typen met hoge druk boven Engeland, Schotland of IJsland (HB en HNa).

Tabel 14 laat het resultaat zien.

	HM/BM	HFa/NEa	HB/HNa	Totaal
Normaal (1881-1975)	26 (49%)	13 (24%)	14 (27%)	53
1884	29 (41%)	31 (44%)	10 (15%)	70
1885	20	7	19	46
1887	37 (53%)	0 (0%)	33 (47%)	70
1892	29	15	23	67
1893	42 (46%)	17 (18%)	32 (36%)	91
1896	17	27	8	52
1904	36	12	14	62
1911	32 (36%)	33 (37%)	23 (27%)	88
1921	38 (48%)	18 (23%)	23 (29%)	79
1929	60 (61%)	9 (9%)	30 (30%)	99
1938	39 (46%)	19 (23%)	26 (31%)	84
1944	23 (33%)	12 (17%)	35 (50%)	70
1959	34 (43%)	28 (35%)	18 (22%)	80
1976	36 (40%)	42 (47%)	12 (13%)	90

Tabel 14. Aantallen en percentages van totaal in lente + zomer.

Het blijkt dat in 1885, 1892, 1896 en 1904 de droogte niet kan worden verklaard uit een sterk bovennormaal aantal droge circulatietypen, althans niet door de typen die hier in beschouwing zijn genomen. (Voor deze jaren zijn ook geen percentages voor de 3 typen apart berekend.) Het gaat nu om de overige 10 jaren. We gaan uit van het feit dat normaal de 3 gekozen typen ruwweg in de verhouding 2:1:1 voorkomen. Uit de tabel blijkt dat dit ook in redelijke mate het geval was in de droge jaren 1893, 1921, 1938 en 1959. (In [11] wijst Berlage ook op een bepaalde overeenstemming van de circulaties in 1921 en 1959.) Het huidige jaar 1976 wijkt echter vrij sterk af van deze 2:1:1 verhouding. De HFa/NEa (Scandinavië)-klasse overheerst ten koste van de HB/HNa (IJsland)-klasse. Overeenkomst in deze vertoont vooral 1884 en in mindere mate 1911. Tenslotte vinden we dan nog de jaren 1887 en 1944 met overheersend HB/HNa typen en apart 1929 met een overschot van hogedrukgebieden boven Midden-Europa. De conclusie is duidelijk: de 14 droge jaren vallen in maar liefst 5 groepen uiteen, groepen die uit het oogpunt van de luchtcirculatie boven Europa behoorlijke verschillen vertonen. Droogte kan in ons land dus op verschillende manieren tot stand komen.

#### 5.6 Trogpassages

Niet alleen droogte, maar ook neerslag tijdens een droogte-periode kan op verschillende manieren tot stand komen. In hoofdstuk 4. werd er reeds op gewezen dat in 1976 zware zomerse buien vrijwel zijn uitgebleven. De neerslag die tijdens de droogte-periode viel was meestal afkomstig van passerende zwakke fronten. Frontpassages aan het aardoppervlak hangen samen met trogsituaties in de bovenlucht (bv. op het 500-mbar vlak). De toestand van de bovenlucht van dag op dag wordt op overzichtelijke wijze weergegeven door het zg. Hövmöller diagram. Men kiest hiervoor een bepaalde breedtegraad (in ons geval  $55^{\circ}\text{NB}$ ), een bepaald drukvlak (in ons geval 500 mbar) en een bepaalde isolijn in dit drukvlak (in ons geval de hoogtelijn 5400 m in februari/maart, 5520 m in april/mei en 5640 m in juni t/m augustus) en noteert iedere dag de snijpunten van deze hoogtelijn met gekozen breedtecirkel. Dit levert een geografische lengte ( $\lambda$ ) - tijd ( $t$ ) diagram op waarin de ligging en verplaatsing van ruggen en troggen goed is te volgen. Deze ( $\lambda, t$ )-diagrammen voor de periode van 1 februari t/m 31 augustus 1976 zijn gegeven in figuur 31 t/m 37. In de gearceerde delen is de hoogte lager dan de geselecteerde hoogtelijn: d.w.z. een trogsituatie, in de niet-gearceerde gebieden hoger dan de geselecteerde hoogtelijn: d.w.z. aanwezigheid van een rug.

Het meest opvallende verschijnsel in deze diagrammen is de vrijwel voortdurende aanwezigheid van een rug boven het gebied  $20^{\circ}\text{WL} - 20^{\circ}\text{OL}$ . Dit stemt overeen met de in de vorige paragrafen vastgestelde overheersende aanwezigheid van hogedrukgebieden boven Scandinavië, West- en Midden-Europa. Wat nu echter ook duidelijk naar voren komt is het aantal malen dat in de periode februari t/m augustus troggen ons gebied passeerden. En verder ook de duur van de trogpasages, c.q. de duur van de perioden dat zich een trog boven of in de nabijheid van ons land bevond. Opmerkelijk is hoe goed de korte neerslag-perioden (aangegeven in de kantlijn van de figuren 31 t/m 37) aansluiten bij de aanwezigheid van trogsituaties boven onze omgeving. In totaal gaat het om zo'n 12-tal trogpasages in 7 maanden, waarvan slechts 3 à 4 in de zomermaanden. De duur was in de meeste gevallen slechts enkele dagen. Hiermee hangt samen dat fronten met veel neerslag ons niet hebben kunnen bereiken, zoals reeds in hoofdstuk 4 werd opgemerkt.

## 6. De luchtcirculatie op het Noordelijk Halfrond

### 6.1 De maandgemiddelde luchtdrukverdeling

Tijdens de droogte-periode kwamen in ieder van de afzonderlijke maanden februari t/m augustus zoveel dagen met hogedruksituaties boven West-Europa voor dat de maandgemiddelden van de luchtdruk in dat gebied van februari t/m augustus zonder uitzondering een positieve afwijking t.o.v. normaal laten zien. Zie de kaarten 21 t/m 27, welke ontleend zijn aan [12]. Deze kaarten lenen zich ook erg goed om de situatie elders op het Noordelijk Halfrond tijdens "onze" droogte-periode te bekijken.

Om te beginnen stellen we vast dat behalve boven West-Europa (met inbegrip van Scandinavië) ook boven grote delen van de Atlantische Oceaan de luchtdruk in alle maanden bovennormaal was. Dit plusgebied op de Atlantische Oceaan schuift evenwel in de loop van de zomer geleidelijk naar het noorden op, zodanig dat in juli en augustus in de zuidelijke delen weer een negatief afwijkingsgebied voor de dag komt. Het geheel kan echter worden geïnterpreteerd als een vanaf de winter reeds versterkt en/of noordwaarts verschoven (t.o.v. de normale positie) Azoren-hogedrukgebied. De maanden april en augustus laten dit verschijnsel in versterkte mate zien. In deze maanden was het bij ons ook het droogst. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de droogte in februari en maart natuurlijk niet zo direkt met een abnormale ligging of intensiteit van het Azorenhoog te maken heeft gehad. Hierop aansluitend zou men kunnen zeggen dat het opmerkelijke van de situatie hierin is geslagen dat de abnormaal hoge luchtdruk boven Noord-Europa in februari en maart gepaard ging met een versterkt subtropisch hogedrukgebied boven de Atlantische Oceaan, dat echter toen nog in zijn winterse positie lag. Met het voortschrijden van het voorjaar, toen het subtropische hoog zoals normaal zijn invloed over Europa uitbreidde bleef de intensiteit van dit systeem echter boven normaal. Misschien ligt hierin toch wel een aanknopingspunt voor verder onderzoek, bv. door na te gaan of ook in andere jaren een versterkt subtropenhoog in de winter zich op deze wijze voortzet in de zomer.

We zien hier verder af van een beschrijving van de situatie in de hogere luchtlagen, bv. aan de hand van afwijkingen van de hoogte van het 500 mbar-vlak t.o.v. normaal. Deze afwijkingen vertonen namelijk nage-noeg hetzelfde beeld als de afwijkingsgebieden van de luchtdruk op zeeniveau.

Wel kijken we, wederom aan de hand van de kaarten 21 t/m 27, naar de andere helft van het Noordelijk Halfrond en met name naar het gedrag van het Pacifische hogedrukgebied. Ook dit hogedrukgebied was in februari en maart sterker dan normaal ontwikkeld. Bij de seizoenmatige verplaatsing naar hogere breedten bleven de positieve afwijkingen t.o.v. normaal in de maanden april t/m juni bestaan, maar in juli en augustus niet meer.

Gedurende de gehele periode van februari t/m augustus was de luchtdruk in de gebieden rond de Noordpool beneden normaal. Voor een deel is deze negatieve afwijking toe te schrijven aan de gehanteerde normaal-kaarten 1900-1939. Het is bekend dat deze boven de pool iets te hoog zijn (bij het ontbreken van waarnemingen in dat gebied werd er vroeger vaak een hoog getekend).

Al met al zijn dit wel de voornaamste trekken van de luchtdrukverdeling op het Noordelijk Halfrond tijdens de droogteperiode. De vraag naar het waarom van de iets bovennormale intensiteit van de subtropische hogedrukcellen en de betrekkelijk lage luchtdruk in het Noordpoolgebied kan niet zonder meer worden beantwoord.

## 6.2 De zonale index op zeeniveau

De hiervoor besproken luchtdruksituatie boven het Noordelijk Halfrond kan o.a. worden gekwantificeerd door middel van de zonale index. Hieronder wordt verstaan het luchtdrukverschil tussen 35 en 65°NB gemiddeld over alle lengtegraden. De zonale index (Z.I.) is daardoor een maat voor de sterkte van de west-circulatie aan de grond op onze breedten. Als Z.I. hoog is is de west-circulatie sterk, terwijl bij een lage Z.I. meer blokkades verwacht kunnen worden. Uit tabel 15 blijkt dat in de maanden februari t/m augustus van 1976 Z.I. steeds hoger is geweest dan de klimatologische waarden. Dit mocht verwacht worden op grond van de in 6.1. besproken versterkte subtropen hogedruk-gordel. Uit [13] blijkt echter dat de grootte-orde van de afwijking van Z.I. t.o.v. normaal in de verschillende maanden beslist niet abnormaal is geweest. Ook een positieve afwijking t.o.v. normaal in ieder van de maanden februari t/m augustus is vaker voorgekomen. Overigens zonder dat dit met droogte in Europa gepaard ging. Een toegenomen west-circulatie zal men trouwens ook eerder in verband willen brengen met meer, dan met minder regen. In de europese sector (20°WL - 40°OL) is de zonale index dan ook in de meeste maanden tijdens de droogteperiode flink ondernormaal geweest (zie tabel 16). Met name in april, juli en augustus was dit het geval. Dit heeft te maken met de in hoofdstuk 5. besproken blokkerende hogedrukgebieden boven Scandinavië (GWL-typen: HFa en NEa). Een versterkt en ver noordwaarts verplaatst Azorenhoog leidde hier dus juist tot een Z.I. die lager was dan normaal.

Maand	Z.I. 1976 (mb)	Z.I. gemiddeld (mb)
februari	6.9	3.0
maart	3.6	2.3
april	3.7	2.6
mei	3.7	1.3
juni	3.2	2.4
juli	4.0	3.8
augustus	4.3	3.5

Tabel 15. De zonale index (d.w.z. het luchtdrukverschil tussen 35° en 65°NB gemiddeld over alle lengtegraden) voor de droogtemaanden in 1976 vergeleken met een klimatologisch gemiddelde (1899-1974).

Maand	Z.I. (20°WL-40°OL) 1976 (mb)	Z.I. (20°WL-40°OL) gemiddeld (mb)
februari	8.7	7.1
maart	4.8	5.8
april	2.8	4.5
mei	1.3	0.0
juni	4.1	2.7
juli	0.3	2.6
augustus	-1.9	2.7

Tabel 16. De zonale index voor een beperkt gebied (het luchtdrukverschil 35°-65°NB gemiddeld over 20°WL en 40°OL voor de droogte maanden in 1976 vergeleken met een klimatologisch gemiddelde (1899-1974).

### 6.3 De toestand in de bovenlucht

Als een geschikte index voor de circumpolaire circulatie van de vrije atmosfeer beschouwen we de grootte J, zijnde het impulsmoment van de atmosfeer ten noorden van 42.5°N. Het impulsmoment van een deeltje t.o.v. de as van rotatie wordt gegeven door

$$j = \rho u a \cos \phi$$

waarin

$\rho$  = dichtheid

u = west-oost component van de wind

a = straal van de aarde

$\phi$  = geografische breedte

j wordt nu geïntegreerd over de atmosfeer poolwaarts van 42.5°N. We benaderen dit door de integratie uit te voeren over een representatief drukvlak, nl. 500 mb, en de dan verkregen waarde te vermenigvuldigen met een geschikte dichtheid en dikte van de troposfeer.

$$\begin{aligned} J &= \iiint \rho u a \cos \phi \, dx \, dy \, dz \\ &= \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} \int_{42.5}^{90} \rho u a^3 \cos \phi \, d\phi \, d\lambda \, dz \\ &\approx 2\pi \rho^x D a^3 \int_{42.5}^{90} [u] \cos^2 \phi \, d\phi \end{aligned}$$

waarin

[ ] = een zonale middeling voorstelt

D = de dikte van de troposfeer (12 km)

$\rho^x$  = representatieve dichtheid (0.734 kg/m<sup>3</sup>)

Het gedeelte van de atmosfeer gelegen boven  $z = D$  laten we buiten beschouwing omdat 500 mbar voor de stratosfeer niet langer als representatief kan worden opgevat.

Bepalen we nu de wind u via de geostrofische benadering dan krijgen we "

$$J \approx \frac{\pi \rho^x D a^3 G}{\Omega} \int_{42.5}^{90} \frac{\partial [H]}{a \partial \phi} \cdot \frac{\cos^2 \phi}{\sin \phi} \, d\phi$$

waarin H de hoogte van het 500 mbar-vlak voorstelt,  $\Omega$  is de hoeksnelheid van de aarde en  $G = 9.8$ .

We zien dat J bij benadering lineair is in de noordzuid helling van het 500 mbar-vlak. Vanwege de lineariteit kunnen we maandgemiddelde waarden van  $[H]$  ( $[\bar{H}]$ ) gebruiken om  $\bar{J}$  te bepalen. Figuur 38 geeft een tijd-breedte diagram van de klimatologische waarde van  $[\bar{H}]$ .



Deze waarden zijn gebaseerd op de periode 1950 t/m 1964. De sterkste helling van het 500 mbar-vlak is te vinden in februari tussen 40 en 50°N. Het verschil in hoogte tussen 40°N en de pool neemt af tot in juli om daarna weer toe te nemen. De grootste hoogte van het 500 mbar-vlak wordt niet op alle breedten in dezelfde maand bereikt. De breedten 40 en 50°N lopen ruim een maand achter op de pool waar het 500 mbar-vlak kort na 21 juni het hoogst is.

Vergelijken we nu figuur 38 met hetzelfde diagram voor 1976 dan is er nauwelijks verschil te zien. In figuur 39 zijn daarom de anomalieën gegeven. De belangrijkste afwijkingen van normaal zijn:

1. Een negatieve anomalie tot -6 gdam welke in februari op 65°N te vinden is. In maart is deze anomalie afgezwakt op zuidelijker breedten te vinden.
2. Een intense negatieve anomalie tot -15 gdam in augustus nabij de noordpool.

Gegeven het feit dat de standaarddeviatie van  $\bar{H}$  in de orde van enkele decimeters is zijn dit de enige anomalieën die duidelijk boven de ruis uitkomen. Het meest opvallend is misschien wel dat gedurende deze periode van 1976, die als uitzonderlijk ervaren is, nauwelijks van een blokkade op hemisferische schaal sprake is. Dezelfde conclusie dus als in 6.2 kon worden getrokken uit een analyse van de zonale index op zeeniveau.

Gezien het voorgaande kan men over het impulsmoment van dit deel van de atmosfeer weinig uitzonderlijks verwachten. Alleen de anomalie in februari telt in dit verband mee omdat hierdoor een verhoogde westenwind tussen 40 en 60°N optrad.

Figuur 40 geeft voor alle 7 maanden de waarden van  $\bar{J}$  en de klimatologische normale waarden (bepaald over 1949-1970).

Van april t/m augustus is van enige afwijking van normaal geen sprake. In februari en maart ligt de in 1976 opgetreden waarde van  $\bar{J}$  flink hoger dan normaal. De afwijking is echter niet uitzonderlijk.

Aan de hand van bovenstaande feiten kan men echter niet definitief concluderen dat er op hemisferische schaal "weinig aan de hand" is geweest. Daartoe zou een vergelijkende studie over de impulsmoment-huishouding nuttig zijn evenals een dergelijke studie over de energiehuishouding.

## 7. Diversen

### 7.1 Oorzaken en gevolgen

De opzet van dit rapport is in hoofdzaak de meteorologische en klimatologische aspecten te belichten van de droogte van 1976. Het is echter interessant om nog kort in te gaan op enkele externe factoren (zeewatertemperatuur, ijsgrens en zonne-activiteit) in verband met een mogelijke verklaring van het droogteverschijnsel en op enkele directe gevolgen in de sfeer van de waterhuishouding (afvoeren van Maas en Rijn, grondwaterstand).

### 7.2 Zeewatertemperatuur

De verdeling van de zeewatertemperatuur in de Noord-Atlantische Oceaan vertoonde in 1976 (en ook in 1975) ruwweg het volgende beeld: bovennormale temperaturen in de gebieden langs de kust van Noord-Amerika en van Europa en een negatieve anomalie in de orde van 1°C over een groot gebied in het centrum van de oceaan. Deze negatieve anomalie was het sterkst in het noorden en ging naar het zuiden toe weer over in een positieve afwijking. Volgens het engelse classificatie-systeem [14]

waarin de ligging van de anomalieën t.o.v. 50°WL wordt beschouwd werd de situatie gedurende de droogteperiode gekenschetst als CPE (Cold Pool East) of WPW (Warm Pool West). Soms werd ook EZ (Enhanced Zonality) geklassificeerd waarmee werd aangegeven dat de temperatuurgradiënt in zuid-noord richting was versterkt. Het verband tussen anomalieën in de zeevatertemperatuurverdeling en de luchtcirculatie (beïnvloeding wederzijds!) is onderwerp van veel studie. De resultaten zijn echter nog te voorlopig om er hier verder op in te gaan. De zeevatertemperatuur in de Stille Oceaan is in 1976 (en ook vorig jaar) flink beneden normaal geweest, vooral in het noordelijke deel.

### 7.3 IJsgrens

De afgelopen jaren (sinds 1969) hebben een markante noordwaartse verplaatsing van de ijsgrens in het gebied tussen Groenland en Nova Zembla te zien gegeven. De ijsgrens ondervindt wel een normale jaarlijkse gang met de verst zuidelijke positie in maart, maar berekeningen laten zien dat in maart 1976 het gebied met open water tussen Groenland en Spitsbergen 1,4 miljoen km<sup>2</sup> groter was dan in maart 1969 [8]. Ook voor het verband tussen ijsgrens en luchtcirculatie geldt echter dat het verband nog verre van duidelijk is.

### 7.4 Zonne-activiteit

De Duitse meteoroloog Baur heeft erg veel onderzoek gedaan om aan te tonen dat abnormale weerstoestanden (droge zomers, strenge winters e.d.) samenhangen met de activiteit van de zon. Enkele van zijn "regels" [15] wijzen erop dat droge zomers en voorjaren in Duitsland bij voorkeur zouden voorkomen ca. 2 jaar na het maximum of vóór het minimum, van de 11-jarige zonnevlekken-cyclus. Vanwege het beperkte materiaal dat voor statistische studie beschikbaar is hangt de significantie van het resultaat vaak af van de precieze definitie van "maximum" en "minimum" of van "droogte". Met andere woorden Baur's resultaten zijn vaak terecht weerlegd of in twijfel getrokken door te wijzen op het selectie-effect waarin hij zich schuldig maakte [16]. Men zou echter desalniettemin kunnen nagaan in hoeverre de droogte van 1976 aan de Baur-regels voldeed. We moeten dan opmerken dat 1976 hoogstwaarschijnlijk nog in de dalende tak ligt van de zonnevlekken-cyclus die in 1965 begon en in 1970 zijn maximum bereikte. Het gemiddelde zonnevlekken-getal voor de maanden januari t/m augustus 1976 bedroeg 12,5; het jaargemiddelde voor 1975 14,8. Het jaar 1976 ligt dus bevestigd meer dan 2 jaar na het maximum, terwijl niemand kan zeggen hoever het nog vóór het minimum ligt. Enerzijds is dus niet aan de regel voldaan, terwijl anderzijds de regel nog niet geïnfirmeerd kan worden.

### 7.5 Afvoeren van Maas en Rijn

Door de medewerking van de Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging kon worden beschikt over gegevens betreffende de afvoer van de Maas en de Rijn.

In figuur 41 en 42 zijn de frekwentieverdelingen van de gemiddelde afvoer (gemeten om 08.00 uur plaatselijke tijd) per decade voor respectievelijk Lith aan de Maas en Lobith aan de Rijn, grafisch weergegeven. Deze decade-gemiddelden zijn uitgedrukt in m<sup>3</sup>/s. In deze frekwentieverdelingen zijn tevens de decade-gemiddelden van 1976 uitgezet. De figuren laten duidelijk zien dat de afvoeren van zowel de Maas als de Rijn extreem laag zijn geweest in 1976. In verschillende decaden werd een absoluut minimum bereikt (bijvoorbeeld de 2e en 3e decade in augustus bij Lith en de 1e en 2e decade van juli bij Lobith).

## 7.6 Grondwaterstand

Om de mate waarin de grondwaterstand samenhangt met de neerslag te illustreren is in figuur 43 deze grootheid, waargenomen in een peilput bij Oldenbroek (noordelijke Veluwerand) tezamen met de neerslag getekend voor de periode 1957-1976. De grondwatergegevens werden beschikbaar gesteld door de Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Te zien is dat omstreeks oktober 1976 de laagste grondwaterstand ooit te Oldenbroek waargenomen, wordt bereikt. Ten aanzien van de neerslag moet worden opgemerkt dat van 1957 t/m 1973 per decade de gemiddelde neerslagsom per dag van de voorafgaande twee maanden is uitgezet. Vanaf 1973 is dit per maand gedaan.

Tevens is de totale neerslagsom (mm) van het winterhalfjaar (= oktober t/m maart) weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de grondwaterstand met een zekere traagheid de winterneerslag redelijk volgt, al is de zeer sterke daling van het grondwaterpeil na 1970 niet zo duidelijk terug te vinden in de winterneerslag-curve. Opgemerkt moet worden dat blijkens een mededeling van de Dienst Grondwaterverkenning de beschouwde peilput in een gebied is gelegen dat niet door menselijk ingrijpen, zoals grondwaterontwikkeling, is en wordt beïnvloed.

## 8. Samenvatting

Dit rapport geeft een beschrijving van een aantal aspecten van de droogte in 1976. Als zodanig is het vrijwel niet in beknopte vorm samen te vatten. We volstaan dan ook met de opsomming van een aantal conclusies, in de volgorde waarin ze uit het rapport naar voren komen. Het voorlopige karakter hiervan is in de inleiding reeds benadrukt.

- 8.1 Uit een analyse van de langste neerslagreeks waarover we in Nederland beschikken (Hoofddorp, vanaf 1735) blijkt dat zo weinig neerslag in lente + zomer als in 1976 (of minder) slechts één keer per 300 jaar voorkomt. Uit een analyse van de gebiedsgemiddelde neerslagreeks voor Nederland volgt eveneens een zeldzaamheid van 0,3%.
- 8.2 Binnen Nederland viel vooral in het zuidwestelijk deel (Zeeland, met name in de zomer) en in het noordoostelijke deel (voorjaar en zomer) erg weinig neerslag.
- 8.3 Er zijn geen aanwijzingen voor jaar-op-jaar persistentie van droge lentes + zomers. De kans op een droge zomer (gemiddeld over Nederland) is mogelijk iets groter dan normaal als het voorafgaande voorjaar reeds aan de droge kant was.
- 8.4 Het gebied waarin zich in voorjaar + zomer de extreme droogte voordeed is niet veel groter dan 1000 bij 1000 km. Van maand op maand traden geringe verschuivingen in het droge gebied op, maar gemiddeld genomen lag Nederland zowat in het centrum ervan.
- 8.5 In West-Duitsland (stroomgebied van de Rijn) was de droogte van ongeveer gelijke uitzonderlijkheid als in Nederland. Droogte in West-Duitsland en Nederland ging ook in het verleden meestal samen. Uitzonderingsgeval- len deden zich wel voor in de vorm: West-Duitsland droog, Nederland normaal tot nat, maar niet andersom.
- 8.6 Een analyse van neerslag + verdamping in de vorm van de index potentieel netto neerslag-overschot laat zien dat de zuidelijke provincies (en met name weer Zeeland) misschien toch het sterkst van de droogte te lijden hebben gehad. Dezelfde index berekend met de gebiedsgemiddelde neerslag voor Nederland toont aan dat van januari t/m augustus het cumulatieve tekort bleef toenemen. Pas in september "trok de zaak weer bij". Er werd een grote overeenstemming gevonden met de jaren 1911, 1921 en 1959. Niet met 1947.

- 8.7 De luchtvochtigheid was vooral in de zomer niet uitzonderlijk laag. Het nagenoeg ontbreken van zware zomerse buien moet daarom een andere oorzaak hebben. Perioden van lage luchtvochtigheid hadden waarschijnlijk meer te maken met de aanvoer van droge lucht dan met verminderde verdamping hier ter plaatse.
- 8.8 De droogte ging van mei t/m augustus gepaard met bovennormale temperaturen. Dit is voor de zomer een betrekkelijk normaal verschijnsel, ofschoon zich vrij sterke afwijkingen van dit patroon kunnen voordoen (warme-natte zomers; koele-droge zomers). In welke mate de droogte (door verminderde verdamping van een droog oppervlak) direkt tot de hogere temperatuur heeft bijgedragen is niet bekend.
- 8.9 Een analyse van het weertype warm-droog en zonnig laat zien dat het aantal van zulke dagen in 1976 (t/m september) ruim 2 keer zo groot was als normaal. Overeenkomstige jaren (sinds 1881) zijn: 1884, 1893, 1921, 1947 en 1959.
- 8.10 De luchtcirculatie boven Europa, geanalyseerd aan de hand van dagelijkse circulatietypen (Grosswetterlagen, GWL), heeft van maand tot maand tamelijk grote veranderingen te zien gegeven. Daarbij overheersten echter de typen met een hogedrukgebied boven Scandinavië (HFa), het type waarbij de hoge druk zich uitstrekt van de Azoren tot Scandinavië (NEa) en het type met een zone van hogedruk van Engeland in de richting van Duitsland (BM). Het voorkomen van dergelijke blokkerende hogedrukgebieden is normaal het grootst in het voorjaar (ons droogste seizoen) en neemt naar de zomer af. De in de zomer normaliter op gang komende west-circulatie liet in 1976 verstek gaan.
- 8.11 Detail-analyse van GWL's in 1976 wijst als beste analoog het jaar 1911 aan; ook een droog jaar. Iets minder goede analogen blijken soms natte zomers opgeleverd te hebben, hetgeen er op wijst dat analogie in de luchtstroming geen garantie inhoudt van gelijke weersomstandigheden. Het omgekeerde is echter ook niet waar; droge voorjaren + zomers kunnen in ons land op verschillende manieren tot stand komen.
- 8.12 De neerslag die in de maanden februari t/m augustus in ons land is gevallen viel voornamelijk uit fronten die samenhangen met kortdurende trogp passages in de bovenlucht. Deze troggen waren meestal van weinig betekenis omdat ze onmiddellijk gevolgd werden door een nieuwe uitloper van het Azorenhogedrukgebied.
- 8.13 Het Azorenhog was vanaf april (en met name in april en augustus) zeer krachtig ontwikkeld en noordoostelijk verplaatst t.o.v. zijn normale ligging. Herhaaldelijk kwam het tot blokkeringen van de west-circulatie. Ook in de wintermaanden (t/m maart) vertoonde het Azorenhog, toen nog op een zuidelijke positie gelegen, reeds een hogere druk dan normaal.
- 8.14 Ook het Pacifische hogedrukgebied was van januari t/m juni krachtiger dan normaal. De hemisferische zonale index (maat voor de sterkte van de west-circulatie op de gematigde breedten) liet dan ook in alle maanden een positieve afwijking t.o.v. normaal zien. Alleen in de Europese sector ( $20^{\circ}\text{WL} - 40^{\circ}\text{OL}$ ) was de zonale index in de meeste maanden beneden normaal. Op hemisferische schaal was er dus geen sprake van blokkeringen, hetgeen bevestigd wordt door een analyse van de luchtstroming in de bovenlucht, o.a. aan de hand van het impulsmoment van de atmosfeer.

- 8.15 De vraag naar de samenhang van het klaarlijk lokaal europese droogteverschijnsel 1976 met de hemisferische luchtstroming is echter zeker niet afdoende beantwoord. Nog minder is dit het geval met de vraag naar de modelijke invloed van de externe factoren (zeewatertemperatuur, enz.)

## 9. Literatuurverwijzingen

- 1 Johnson, N.L. and Kotz, S. Continuous univariate distributions - 1, Boston, 1970.
- 2 Deij, L.J.L., Over de zeldzaamheid van een droge winter gevolgd door een droge lente, en van een droge herfst + winter, gevolgd door een droge lente + zomer. KNMI, Wetenschappelijk Rapport, WR 72-9.
- 3 Dool, H.M. van den, Verwachtingen van de maandgemiddelde temperatuur m.b.v. overgangsregels. KNMI Wetenschappelijk Rapport, WR 76-14.
- 4 Penman, H.L., Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc., A 193, 120, 1948.
- 5 Kramer, C., Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van Penman. Med. en Verh., KNMI, 70, 1957.
- 6 Maandelijks Overzicht der Weersgesteldheid, KNMI Uitgave no. 94a.
- 7 Braak, C., Invloed van den wind op regenwaarnemingen. Med. en Verh., KNMI, 48, 1975.
- 8 Morris, R.H. en Ratcliffe, R.A.S., Under the weather (Europe's drought (1)), Nature, 264, 4, Nov. 4, 1976.
- 9 Schuurmans, C.J.E. en Krijnen, H.J., Weertype-klimatologie voor De Bilt, 1881-1970. KNMI, Wetenschappelijk Rapport, WR 71-6.
- 10 Ratcliffe, R.A.S., The use of 500 mb. anomalies in long-range forecasting (discussion). Q.J.R.M.S., 102, 265, 1976.
- 11 Berlage, H.P., De aard van het meteorologische patroon, dat lente en zomer 1959 kenmerkte. Commissie van Hydrologisch Onderzoek TNO, Verslagen en Mededelingen, no. 7, 1962.
- 12 Die Grosswetterlagen Europas, Deutsche Wetterdienst, Offenbach.
- 13 Dinies, E., Monatliche und jährliche Breitenkreismittel des luftdrucks auf der Nordhalbkugel für die Jahre 1899 bis 1967. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, no. 109, 1968.
- 14 Ratcliffe, R.A.S., North Atlantic sea temperature classification 1877-1970. Met. Mag., 100, 225, 1971.
- 15 Baur, F., Regeln über die Zuordnung des Grosswetters zum Sonnenfläckenzycclus, in Phys. - statist. Regeln als Grundlagen für Wetter- und Witterungsverhersagen, Erster Band, 1956.
- 16 Bijl, W. van der, Toepassing van statistische methoden in de klimatologie, Med. en Verh. KNMI, 58, 1952.

### Verantwoording

Dit rapport werd samengesteld uit bijdragen van H.A.R. de Bruin (neerslag + verdamping), H.M. van den Dool (analyse neerslagreeksen, luchtvochtigheid en impulsmoment van de atmosfeer), H.J. Krijnen (weer- en circulatietypen), S. Kruizinga (analyse neerslagreeksen), W.N. Lablans (gebiedsgemiddelde neerslagreeksen), J.L. Nap (CLIMAT-kaarten, Hövmöller-diagrammen en rekenwerk), J. Reiff (analyse neerslagreeksen, luchtvochtigheid en zonale circulatie-index) en C.J.E. Schuurmans (overige en samenstelling). De afwerking werd verzorgd door G.W. Brouwer, waarbij het tekenwerk werd verricht door C.G. Dekker en het typewerk door mej. H.H. Jaarsma.

-O-O-O-O-

Tabel 10a. ADS: Cumulatief (aantallen).

	J A N	F E B	M A R T	A P R	M E I	J U N	J U L	A U G	S E P	O K T	N O V	D E C
1881	0	0	2	7	13	18	29	34	34	34	35	35
82	0	0	8	14	19	21	25	26	26	28	30	30
83	1	6	6	15	23	29	32	40	44	45	45	45
84	4	9	8	22	27	31	37	56	69	69	70	70
85	0	2	3	12	13	21	28	29	30	30	30	30
86	0	0	1	9	15	19	26	34	46	53	54	54
87	0	1	1	3	6	12	24	31	31	31	31	31
88	1	1	1	3	5	11	11	15	21	22	22	24
89	0	0	0	3	14	32	37	40	44	44	44	44
90	2	3	10	12	21	25	30	34	39	43	43	43
91	0	5	6	7	11	18	20	20	28	31	31	31
92	0	0	2	12	23	24	29	34	37	37	38	38
93	0	0	9	27	38	47	52	62	62	64	64	65
94	0	0	10	19	23	27	32	33	33	33	36	37
95	0	0	1	7	14	24	28	34	49	51	55	55
96	0	0	7	8	15	25	37	37	38	39	39	39
97	1	1	1	2	6	17	21	29	30	35	36	36
98	0	1	1	2	4	7	7	16	25	28	29	31
99	2	3	8	9	9	15	27	38	40	40	42	42
1900	0	0	0	4	6	12	25	29	33	36	36	36
01	0	0	0	7	11	16	31	37	40	42	42	42
02	0	0	1	3	4	15	20	20	21	21	21	21
03	0	0	3	3	9	13	15	15	20	20	20	20
04	0	1	1	4	5	7	19	25	26	27	27	27
05	0	1	4	5	10	18	25	27	27	27	28	28



Tabel 10b. ADS: Cumulatief (aantallen).

	J A N	F E B	M A R T	A P R	M E I	J U N	J U L	A U G	S E P	O K T	N O V	D E C
1906	2	2	6	10	16	18	26	33	37	42	42	42
07	1	1	5	9	15	16	16	16	23	26	29	29
08	0	0	0	1	4	9	15	17	23	31	31	31
09	1	1	1	5	12	14	14	19	22	23	23	23
10	2	2	3	5	12	17	17	24	25	26	26	27
11	0	0	2	7	17	21	32	47	56	56	58	58
12	0	0	2	13	14	17	29	29	29	29	29	29
13	1	2	4	11	15	19	20	24	28	30	31	31
14	1	2	3	13	20	26	36	47	52	53	53	53
15	0	0	0	3	11	13	16	17	19	20	20	20
16	0	1	2	10	15	16	19	24	27	28	29	29
17	0	0	1	1	14	23	27	30	35	36	36	36
18	0	0	3	4	14	14	14	15	16	16	17	18
19	1	1	1	2	17	26	28	34	41	41	41	41
20	0	7	13	14	17	27	27	27	29	33	34	34
21	1	3	11	21	27	35	46	53	59	67	67	67
22	0	1	1	2	13	16	17	18	19	19	19	19
23	0	1	9	10	12	12	22	30	33	34	34	34
24	0	0	0	0	3	9	13	14	14	17	18	19
25	1	1	2	4	10	18	26	28	29	33	34	34
26	2	3	3	12	14	15	24	26	31	33	33	33
27	1	1	4	4	10	11	14	19	21	22	23	23
28	0	2	3	7	12	14	23	23	26	27	28	28
29	0	0	2	4	11	14	22	27	35	36	37	38
30	4	4	6	12	15	26	28	34	34	35	36	36

Tabel 10c. ADS: Cumulatief (aantallen).

	J A N	F E B	M A R T	A P R	M E I	J U N	J U L	A U G	S E P	O K T	N O V	D E C
1931	0	0	2	3	8	14	17	17	18	23	24	24
32	1	2	2	2	5	15	22	33	35	36	37	40
33	1	1	8	10	15	24	35	45	52	53	53	53
34	0	3	3	11	16	23	33	40	51	53	53	55
35	0	1	4	7	12	19	29	40	41	41	43	43
36	0	1	8	8	17	25	28	36	37	37	37	37
37	3	4	4	5	16	23	27	36	37	41	41	41
38	1	2	14	14	15	20	24	29	35	35	35	35
39	0	0	3	10	16	27	30	39	49	49	49	50
40	0	0	0	5	16	28	30	33	35	37	38	38
41	0	1	3	4	4	16	28	28	36	40	41	41
42	0	0	0	6	9	17	21	29	32	33	33	35
43	0	1	4	10	20	22	32	35	36	37	38	38
44	1	1	3	7	14	17	18	30	32	32	34	34
45	0	2	7	15	23	28	38	42	45	46	46	46
46	0	0	7	16	23	24	30	32	36	36	36	36
47	2	2	4	10	22	30	49	73	87	89	90	90
48	1	1	10	16	26	34	42	44	48	48	49	50
49	1	3	9	18	22	26	35	43	54	57	57	57
50	0	3	8	11	16	27	28	36	36	39	39	39
51	1	2	3	6	10	15	18	19	24	25	25	27
52	0	1	2	12	20	24	31	34	35	35	35	35
53	0	3	4	7	14	20	24	24	25	27	27	28
54	0	0	0	0	9	11	11	14	15	16	16	17
55	2	2	2	5	5	7	15	27	30	30	31	31

Tabel 10d. ADS: Cumulatief (aantallen).

	J A N	F E B	M A R T	A P R	M E I	J U N	J U L	A U G	S E P	O K T	N O V	D E C
1956	1	1	5	5	13	13	15	16	20	22	22	22
57	0	2	7	13	14	21	26	28	28	28	29	29
58	0	0	0	2	4	7	12	16	23	24	24	24
59	0	3	8	13	26	31	46	55	67	73	75	76
60	0	0	4	6	13	23	23	24	27	29	30	30
61	0	4	13	20	20	26	28	31	37	39	39	39
62	1	1	1	5	6	7	7	7	9	12	12	12
63	0	0	0	6	9	14	18	19	20	21	22	22
64	0	1	1	5	11	20	26	30	31	31	31	31
65	0	0	3	4	7	8	10	16	19	23	25	25
66	0	0	0	3	8	13	15	20	20	23	23	23
67	0	1	4	5	10	11	21	26	29	30	30	30
68	0	0	5	10	12	17	21	27	30	31	31	31
69	0	0	0	5	7	14	22	31	37	45	46	46
70	0	0	0	0	6	17	21	30	35	36	38	38
71	0	1	1	4	12	16	27	31	33	36	37	38
72	0	0	10	10	14	15	20	21	21	21	21	22
73	0	0	2	2	5	16	22	31	35	38	38	38
74	1	4	8	17	21	27	27	34	35	35	35	36
75	2	2	2	3	5	14	22	41	45	47	47	47
Gem. 1881-75	0.5	1.3	4.0	8.0	13.5	19.1	24.8	30.1	33.8	35.5	36.1	36.5
1976	0	3	4	10	18	36	48	65	65	65	65	65
1977	0	2	5	5	12	14	21	24	25	28	29	29
1978	0	1	3	6	11	16	21	25	27	30	33	33
1979	0	0	2	5	8	9	12	14	18	20	20	20
1980	0	2	3	10	18	22	26	28	31	31	31	31
1981	0	1	3	8	11	13	15	20	22	22	23	23

+ vorsch. fennidat.



Tabel 10d. ADS: Cumulatief (aantallen).

	J A N	F E B	M R T	A P R	M E I	J U N	J U L	A U G	S E P	O K T	N O V	D E C
1956	1	1	5	5	13	13	15	16	20	22	22	22
57	0	2	7	13	14	21	26	28	28	28	29	29
58	0	0	0	2	4	7	12	16	23	24	24	24
59	0	3	8	13	26	31	46	55	67	73	75	76
60	0	0	4	6	13	23	23	24	27	29	30	30
61	0	4	13	20	20	26	28	31	37	39	39	39
62	1	1	1	5	6	7	7	7	9	12	12	12
63	0	0	0	6	9	14	18	19	20	21	22	22
64	0	1	1	5	11	20	26	30	31	31	31	31
65	0	0	3	4	7	8	10	16	19	23	25	25
66	0	0	0	3	8	13	15	20	20	23	23	23
67	0	1	4	5	10	11	21	26	29	30	30	30
68	0	0	5	10	12	17	21	27	30	31	31	31
69	0	0	0	5	7	14	22	31	37	45	46	46
70	0	0	0	0	6	17	21	30	35	36	38	38
71	0	1	1	4	12	16	27	31	33	36	37	38
72	0	0	10	10	14	15	20	21	21	21	21	22
73	0	0	2	2	5	16	22	31	35	38	38	38
74	1	4	8	17	21	27	27	34	35	35	35	36
75	2	2	2	3	5	14	22	41	45	47	47	47
Gem. 1881-75	0.5	1.3	4.0	8.0	13.5	19.1	24.8	30.1	33.8	35.5	36.1	36.5
1976	0	3	4	10	18	36	48	65	65			

Tabel 12.

GWL 7

Jaar 1976

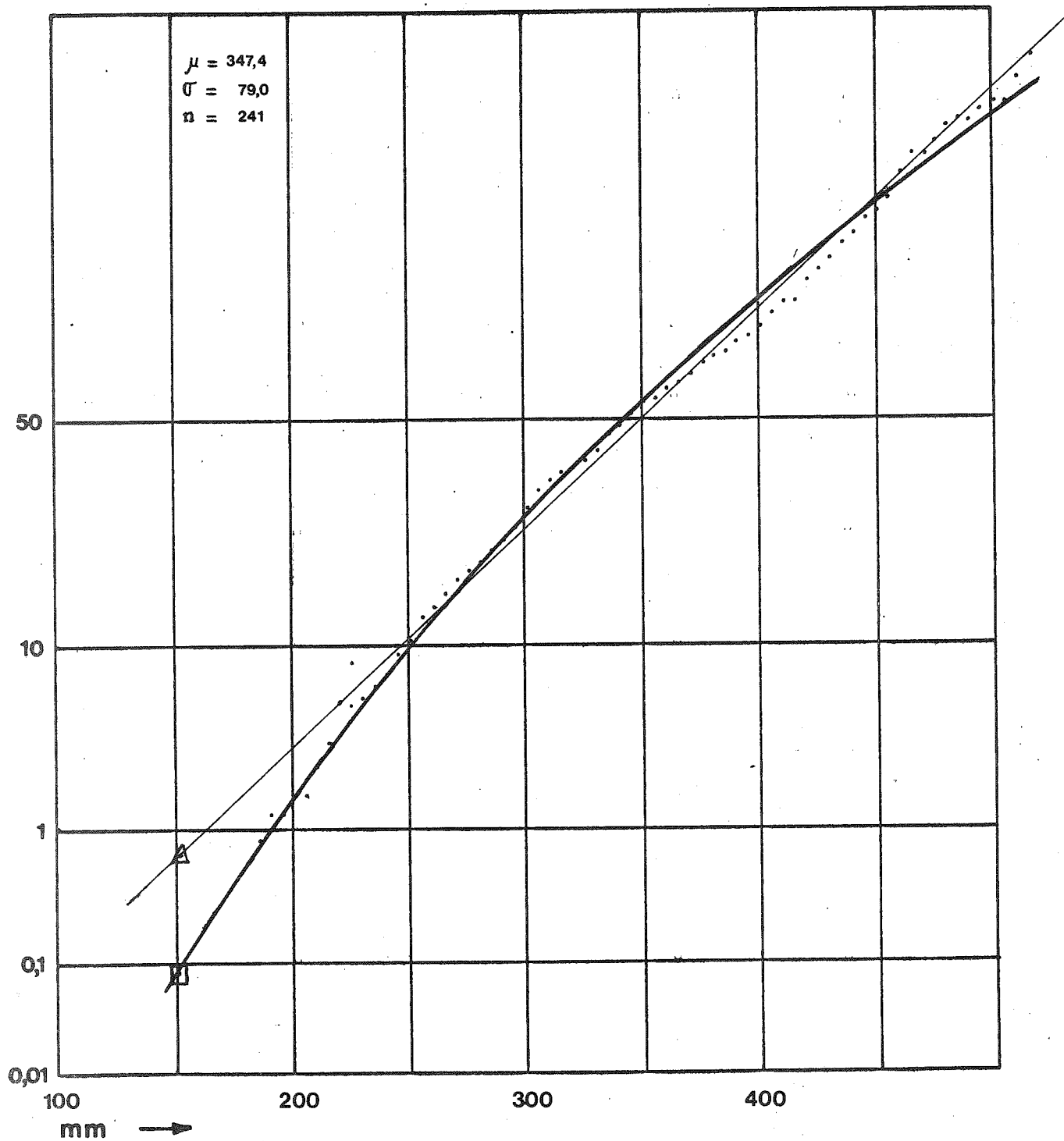
da- tum	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	da- tum
1	Wz	HFa	NWa	Wa	BM	Wz	BM	NWz	TrM				1
2	Wz	SEa	NWa	TrW	BM	Nz	BM	Wa	TrM				2
3	Wz	SEa	NWa	TrW	Wz	Nz	HNa	Wa	TrM				3
4	Wz	SEa	HFa	TrW	Wz	Nz	HNa	Wa	TrM				4
5	Wz	SEa	HFa	TrW	Wz	BM	HNa	Wa	TrM				5
6	Wz	SEa	HFa	Nz	SEa	BM	HNa	Wa	Wa				6
7	Wa	SEa	HFa	Nz	SEa	BM	HNa	NEa	Wa				7
8	Wa	Û	HFa	Nz	SEa	HFa	HNa	NEa	Wa				8
9	Wa	Ww	HFa	BM	SEa	HFa	HNFa	NEa	TrW				9
10	Wz	Ww	HM	BM	Û	HFa	HNFa	NEa	TrW				10
11	Wz	Ww	HM	BM	Wz	HFa	HNFa	NEa	TrW				11
12	Wz	Ww	SEz	NEa	Wz	HFa	HNFa	NEa	TrW				12
13	NWz	TM	SEz	NEa	Wz	Wa	HFa	NEa	TrW				13
14	NWz	TM	SEz	NEa	Wz	Wa	HFa	NEa	TrW				14
15	NWz	TM	SEz	NEa	Wz	Wa	HFa	NEa	TrW				15
16	NWz	SEa	SEz	NEa	Wz	NEa	HFa	NEa	TrW				16
17	NWz	SEa	HNFz	BM	Wz	NEa	BM	NEa	HFa				17
18	Wz	SEa	HNFz	BM	TrW	NEa	BM	HB	HFa				18
19	Wz	Sa	HNFz	HB	TrW	Wz	BM	HB	HFa				19
20	Wz	Sa	HFa	HB	TrW	Wz	NWz	HB	HFa				20
21	Wz	Sa	HFa	HB	TrW	Wz	NWz	HFa	HFa				21
22	Wz	Sa	HFa	HNz	HFz	HM	NWz	HFa	HFa				22
23	Wz	Sa	HFa	HNz	HFz	HM	BM	HFa	TB				23
24	Nz	BM	HFa	HNz	HFz	HM	BM	HM	TB				24
25	Nz	BM	Ww	HNz	HFz	HM	BM	HM	TB				25
26	Nz	BM	Ww	HNz	TM	HM	BM	HM	TB				26
27	Nz	HM	Ww	HNz	TM	HM	BM	NEz	TB				27
28	HFa	HM	Wa	HNz	TM	HM	NWz	NEz	TB				28
29	HFa	HM	Wa	BM	HNz	BM	NWz	Sz	TB				29
30	HFa		Wa	BM	HNz	BM	NWz	Sz	HFa				30
31	HFa		Wa		Wz		NWz	TrM					31

Tabel 13. Afgeronde aantallen GWL: 1976 minus normaal (1881-1975)

											Totaal
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Δ	Norm.
Zonaal a-- Wa	+ 1	- 1	+ 3	0	- 1	+ 1	- 3	+ 2	+ 1	+ 3	16
Zonaal z : Ws	- 1	- 2	- 2	- 1	0	0	- 1	- 1	0	- 8	8
Wz	+11	- 4	- 4	- 3	+ 7	- 1	- 6	- 7	- 4	-11	41
Ww	- 1	+ 3	+ 2	0	0	- 1	0	- 1	- 1	+ 1	6
→	+ 9	- 3	- 4	- 4	+ 7	- 2	- 7	- 9	- 5	-18	55
H.G. a : BM	- 1	+ 1	- 1	+ 5	+ 1	+ 4	+ 8	- 2	- 2	+13	14
HM	- 4	- 1	- 1	- 2	- 3	+ 4	- 3	0	- 4	-14	29
SWa	- 1	- 1	- 1	- 1	0	0	0	- 1	0	- 5	5
Nwa	- 1	- 1	+ 2	- 1	- 1	- 2	- 3	- 2	- 1	-10	13
→	- 7	- 2	- 1	+ 1	- 3	+ 6	+ 2	- 5	- 7	-16	61
H.G. z : SWz	- 1	- 1	0	0	- 1	0	0	0	- 1	- 4	4
NWz	+ 3	- 1	- 1	- 2	- 1	- 1	+ 4	0	- 1	0	13
TM	- 1	+ 2	- 1	- 1	+ 2	- 1	- 1	- 1	0	- 2	8
→	+ 1	0	- 2	- 3	0	- 2	+ 3	- 1	- 2	- 6	25
G a : HNa	0	0	- 1	- 2	- 2	- 2	+ 5	- 1	- 1	- 4	10
HB	- 1	- 1	- 1	+ 2	- 1	- 1	- 1	+ 2	- 2	- 4	10
Na	0	0	0	0	- 1	- 1	- 1	- 1	0	- 4	4
Sa	- 1	+ 5	- 1	- 1	0	0	0	0	- 1	+ 1	4
SEa	0	+ 8	- 1	- 1	+ 3	0	0	0	- 1	+ 8	5
HFa	+ 2	0	+10	- 1	- 1	+ 4	+ 3	+ 2	+ 6	+25	10
HNFa	0	- 1	0	- 1	- 1	- 1	+ 4	0	0	0	4
NEa	0	- 1	- 1	+ 4	- 1	+ 1	- 1	+10	- 1	+10	9
→	0	+10	+ 5	0	- 4	0	+ 9	+12	0	+32	56
G z : HNz	0	0	- 1	+ 6	+ 1	- 1	0	0	0	+ 5	4
Nz	+ 3	0	- 1	+ 2	- 2	+ 2	- 1	- 1	- 1	+ 1	9
TrM	- 1	- 1	- 1	- 2	- 1	- 1	- 1	0	+ 3	- 5	11
TB	0	- 1	0	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	+ 7	+ 1	6
TrW	0	- 1	- 1	+ 3	+ 3	- 1	- 1	- 1	+ 7	+ 8	8
Sz	- 1	- 1	0	0	0	0	0	+ 2	0	0	2
SEz	- 1	- 1	+ 4	- 1	0	0	0	0	0	+ 1	4
HFz	- 1	0	- 1	0	+ 4	0	0	0	0	+ 2	2
HNFz	- 1	- 1	+ 2	- 1	- 1	0	0	0	0	- 2	5
NEz	0	0	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	+ 1	- 1	- 5	7
→	- 2	- 6	0	+ 5	+ 2	- 3	- 5	0	+15	+ 6	58
→ Ü	0	+ 1	0	- 1	+ 1	- 1	0	0	0	0	2

figuur 1

Hoofddorp — lente+zomer

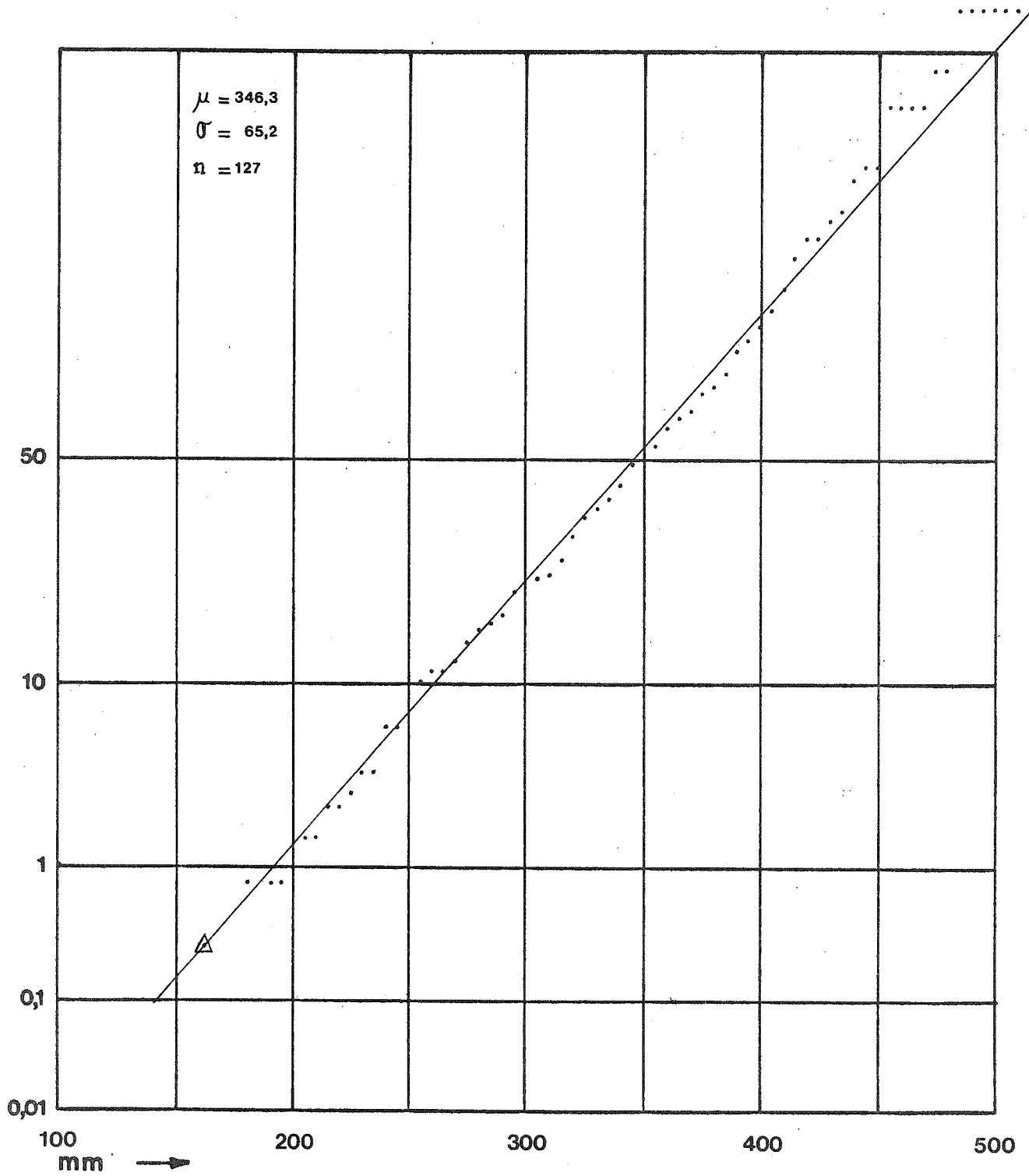


cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten



Nederland  
Braak-reeks  
lente + zomer

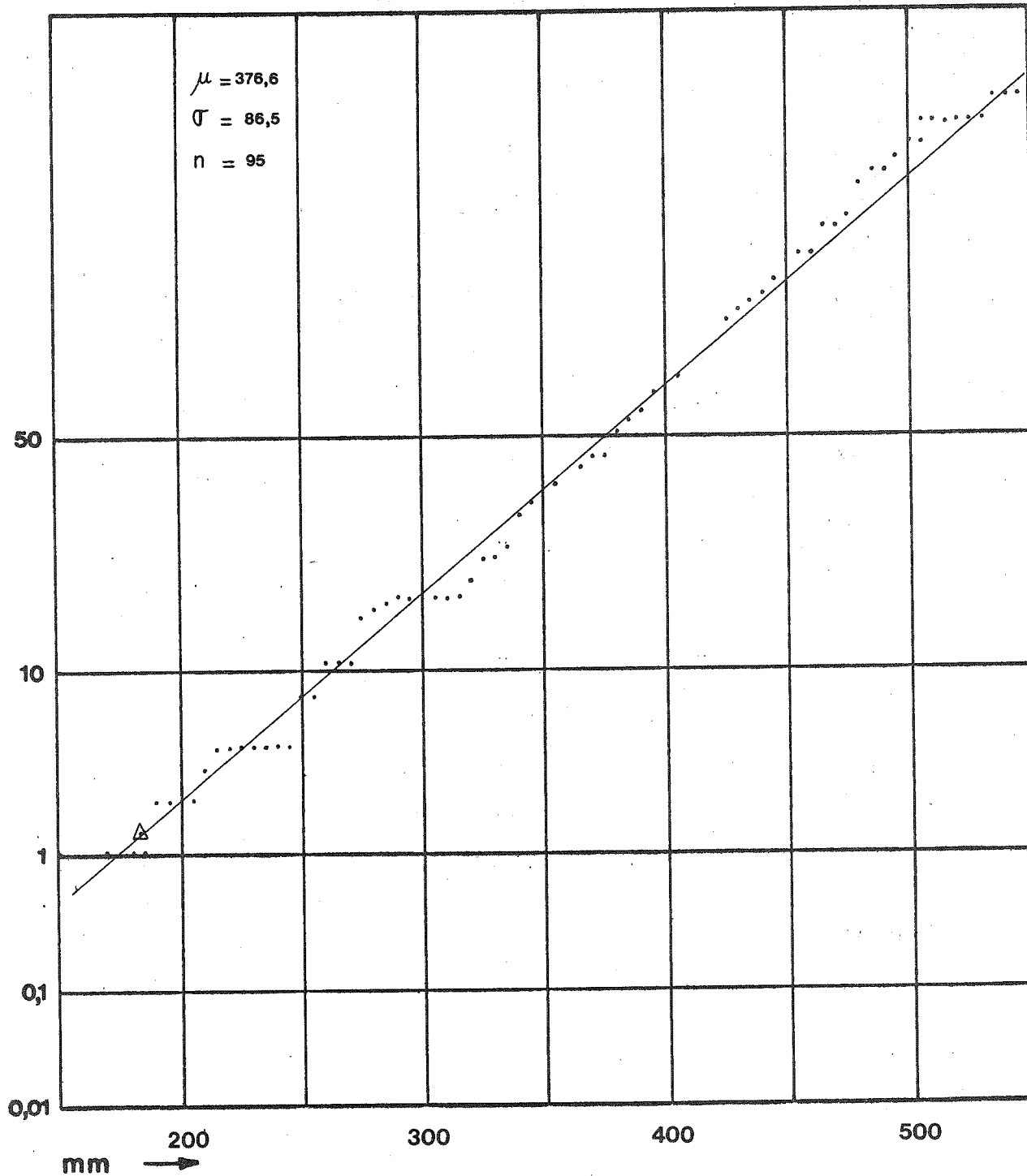
figuur 2



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

figuur 3

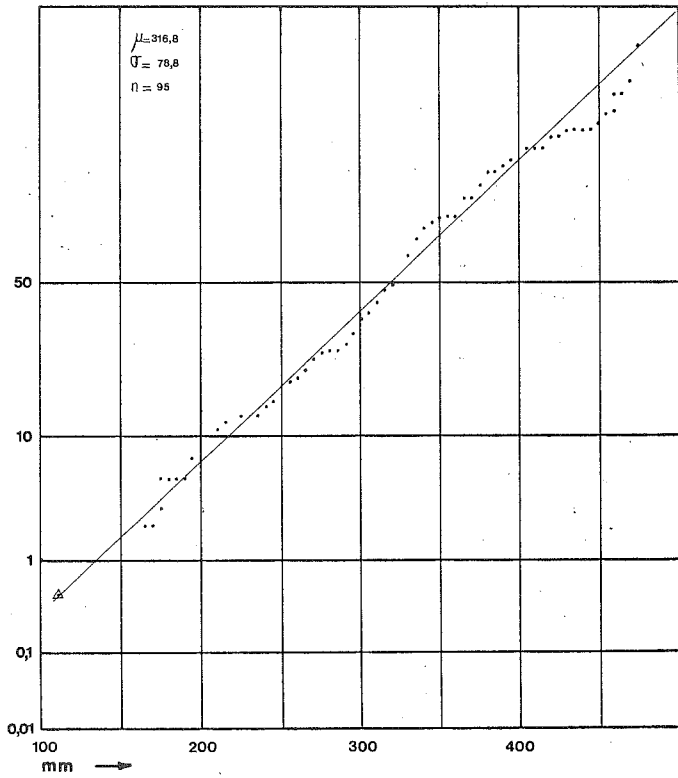
De Bilt – lente+zomer



cumulatieve frequentieverdeling van de neerslag in procenten

figuur 4

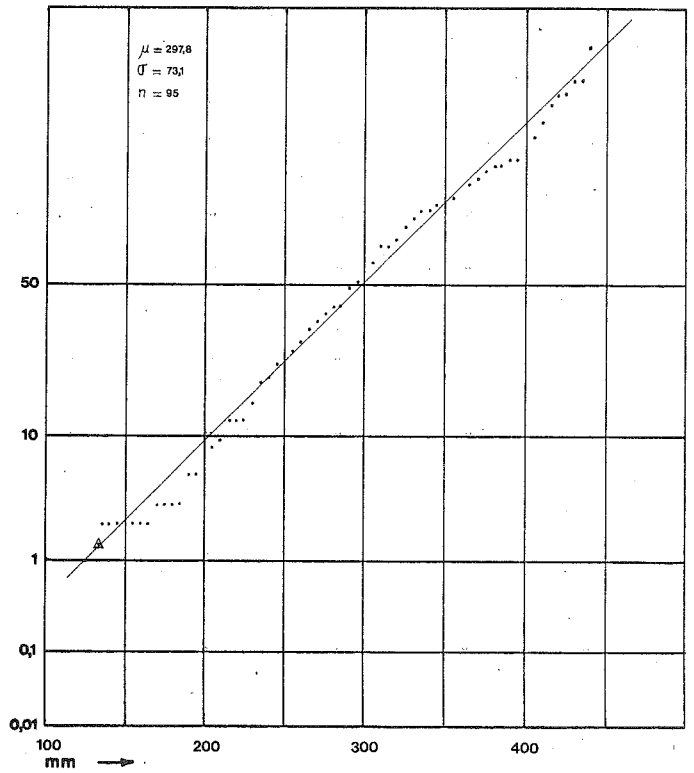
Vlissingen — lente+zomer



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

figuur 5

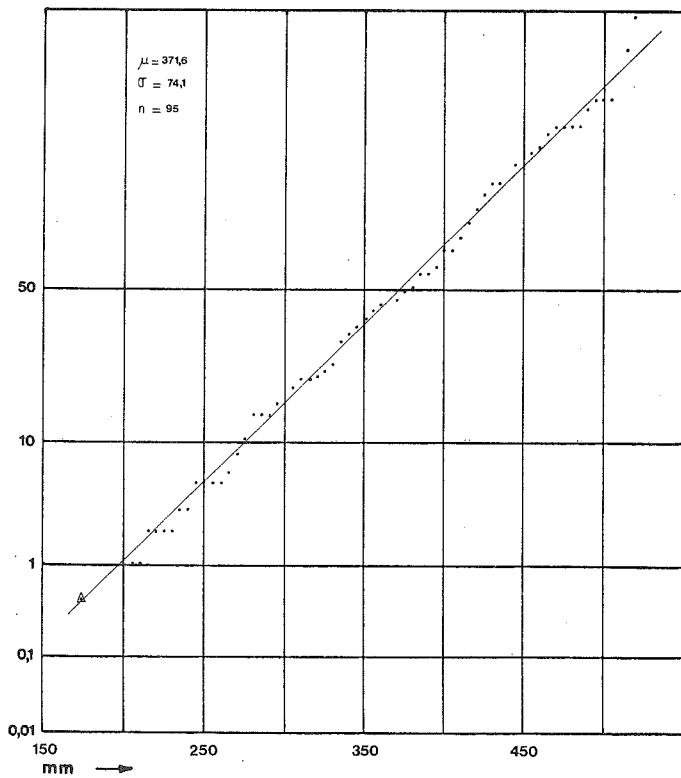
Den Helder — lente+zomer



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

figuur 6

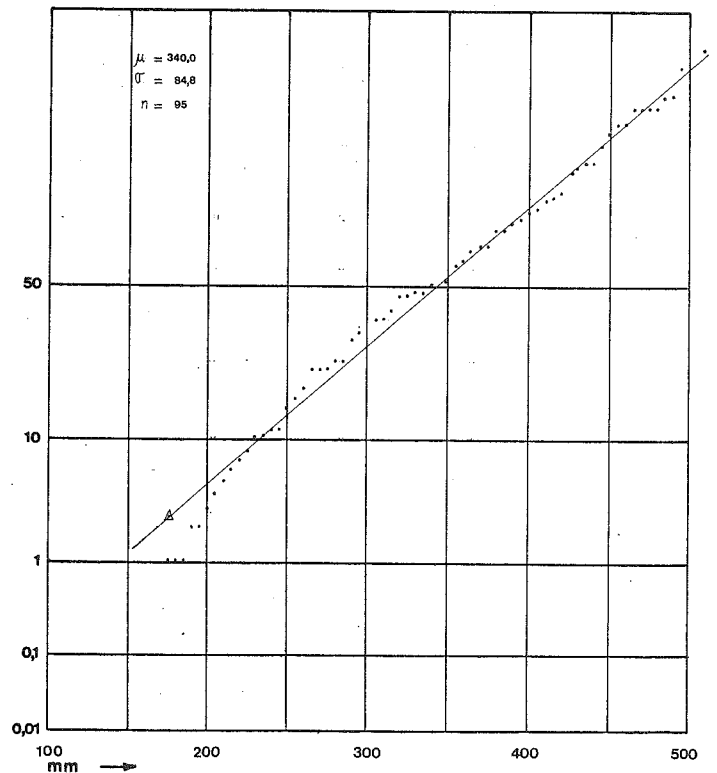
Eelde — lente+zomer



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

figuur 7

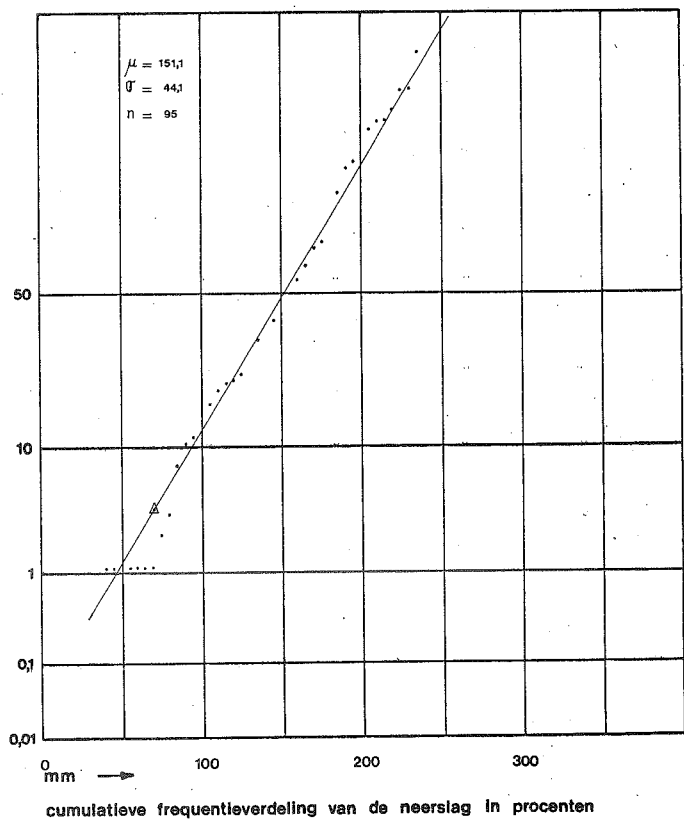
Beek — lente+zomer



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

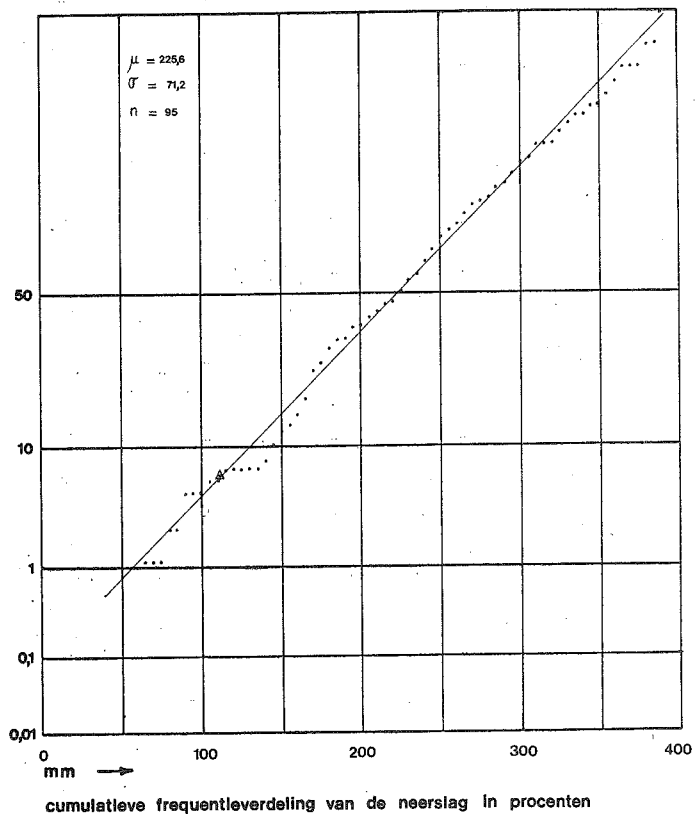
figuur 8

De Bilt – lente



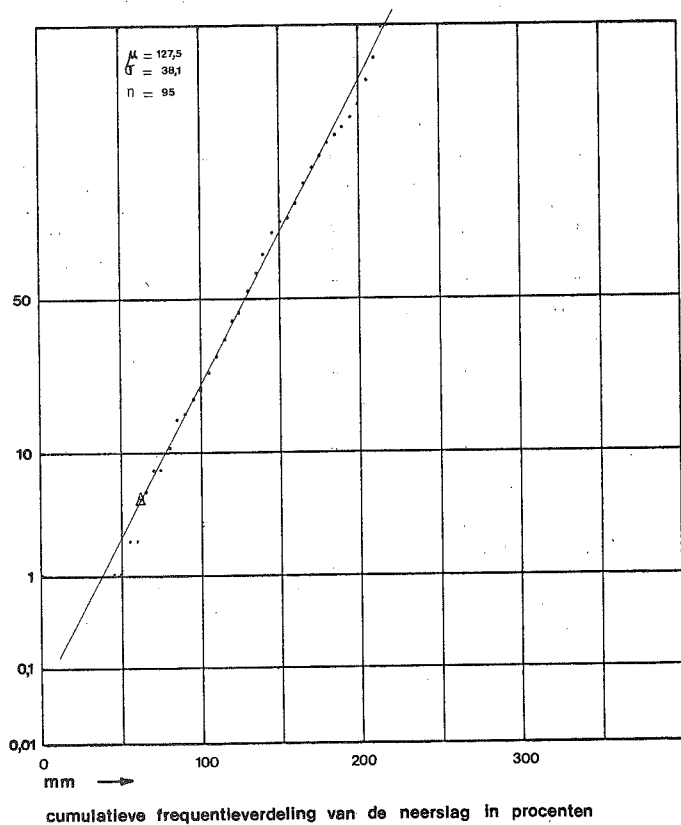
figuur 9

De Bilt – zomer



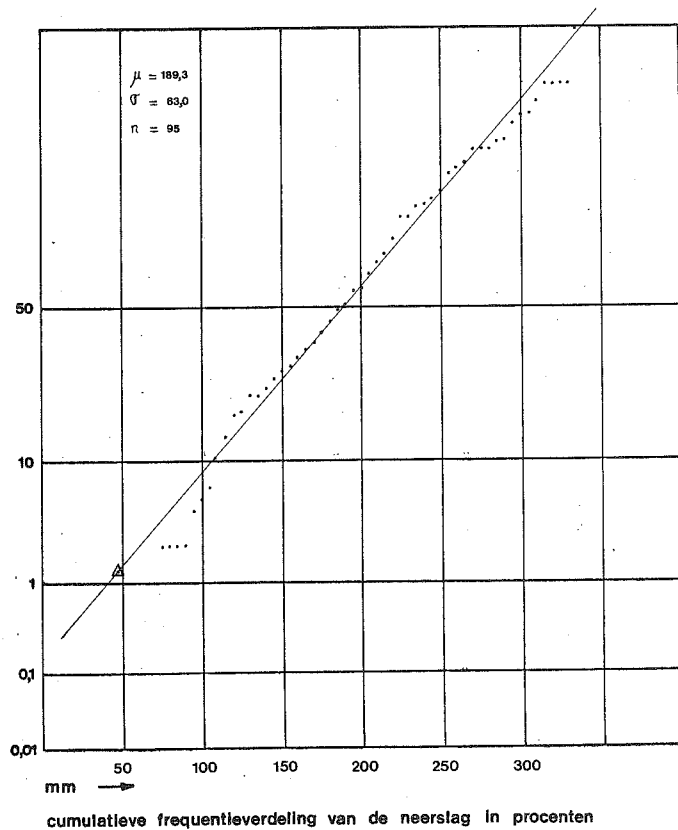
figuur 10

Vlissingen – lente



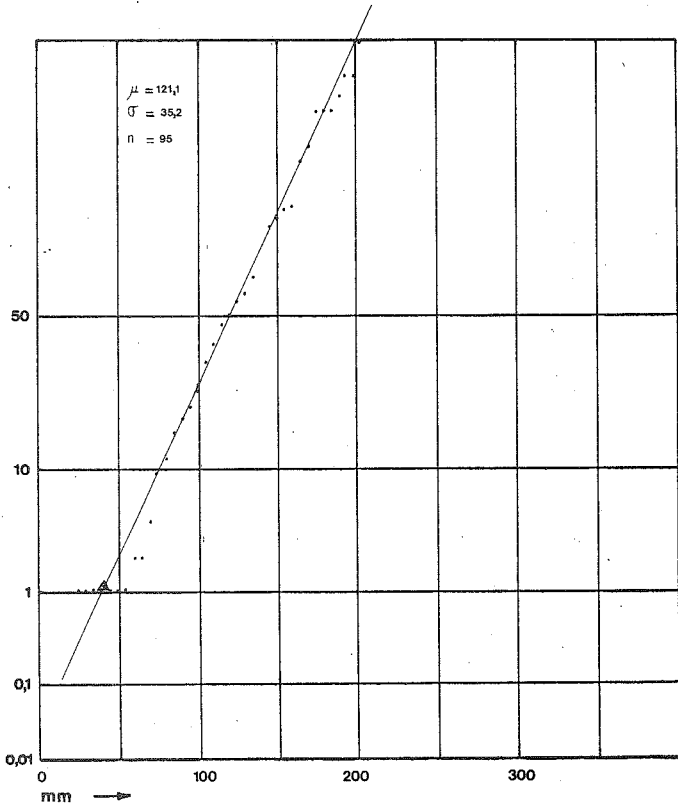
figuur 11

Vlissingen – zomer



figuur 12

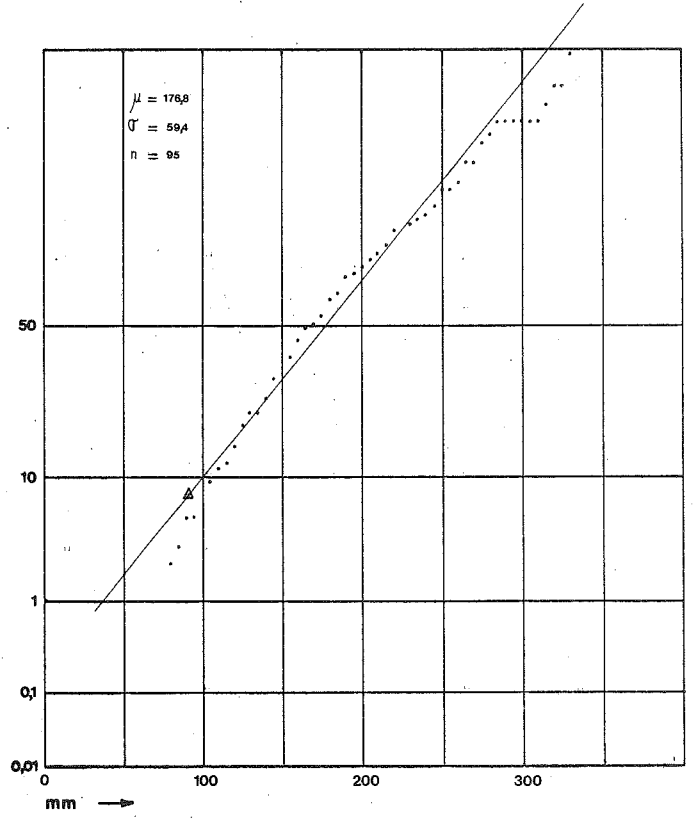
Den Helder – lente



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

figuur 13

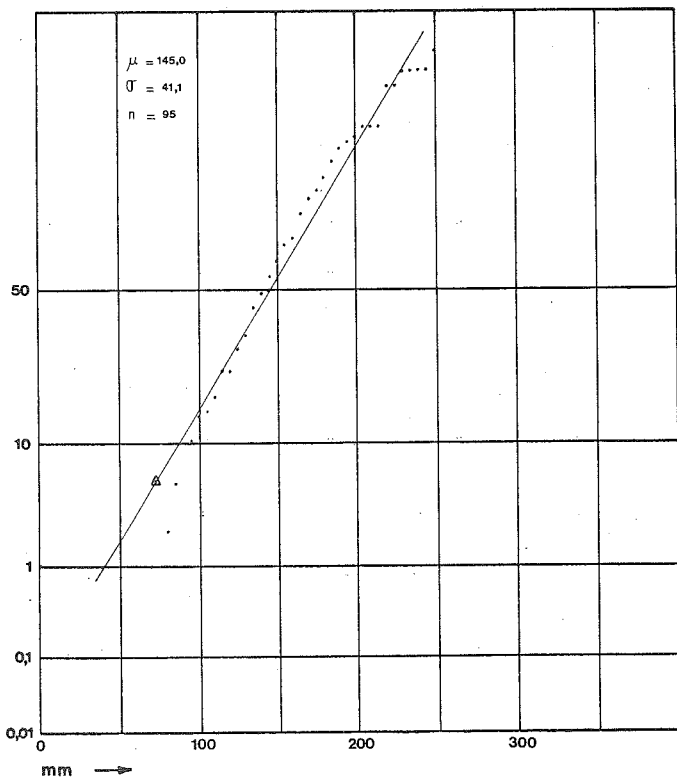
Den Helder – zomer



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

figuur 14

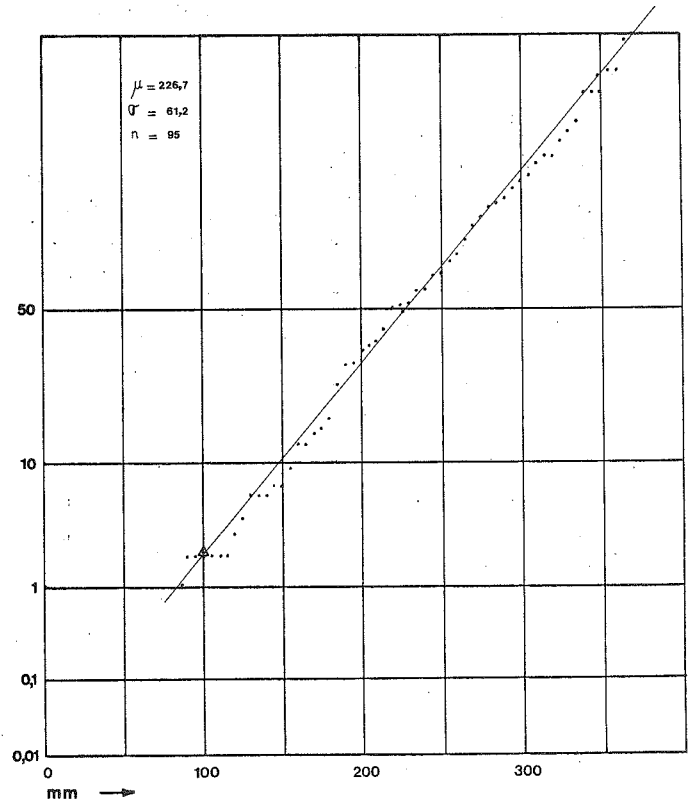
Eelde – lente



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

figuur 15

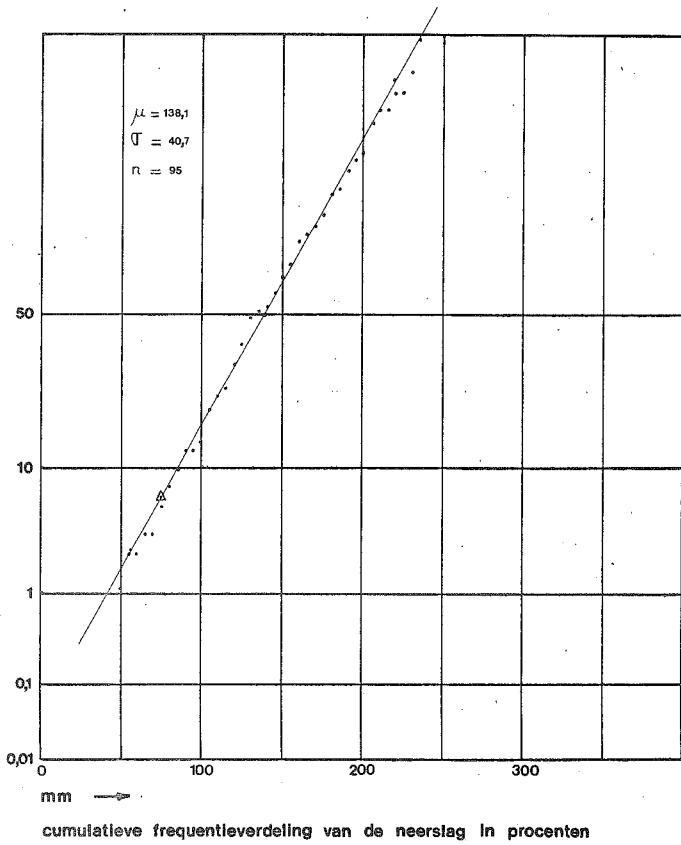
Eelde – zomer



cumulative frequentieverdeling van de neerslag in procenten

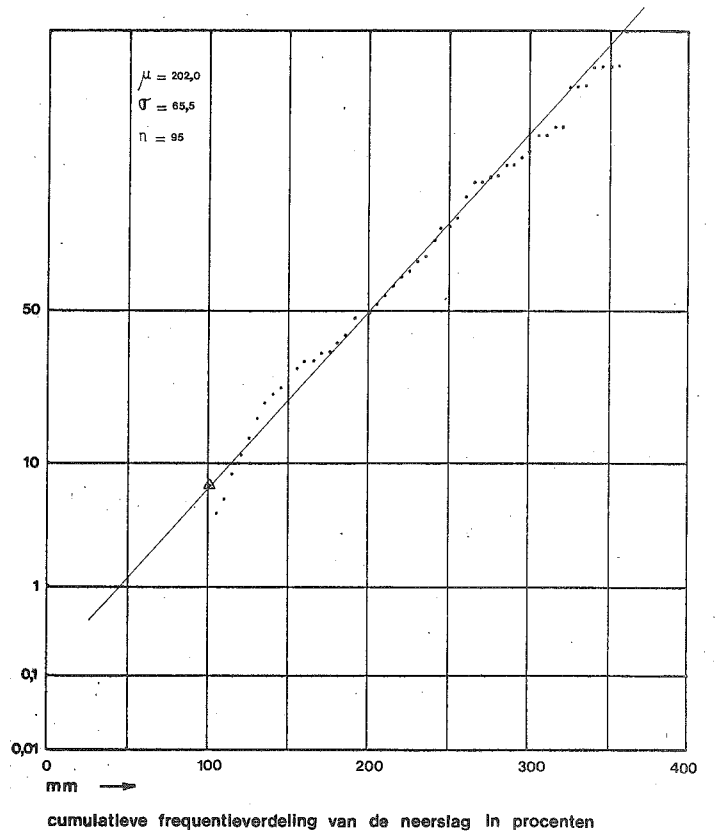
figuur 16

Beek - lente



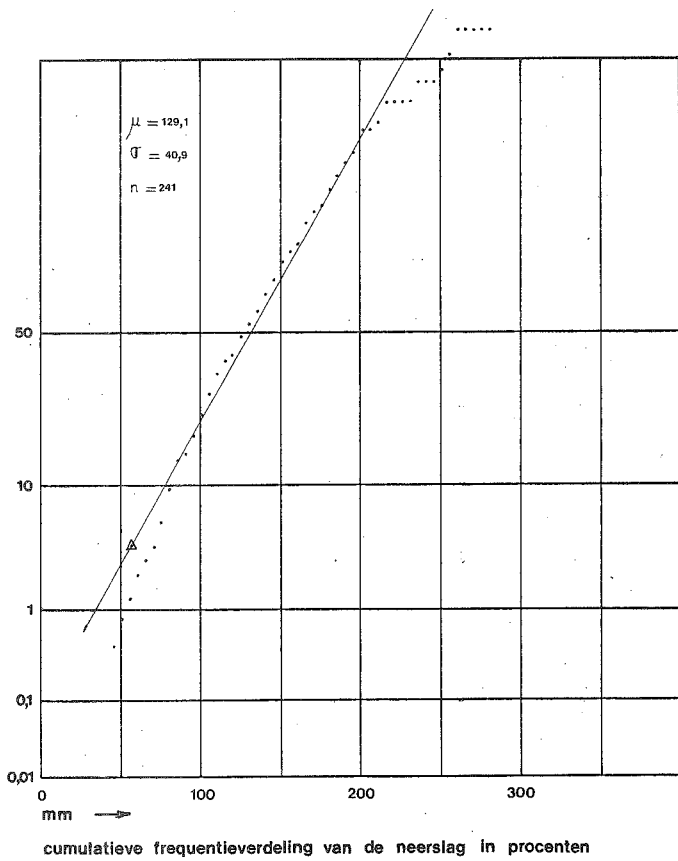
figuur 17

Beek - zomer



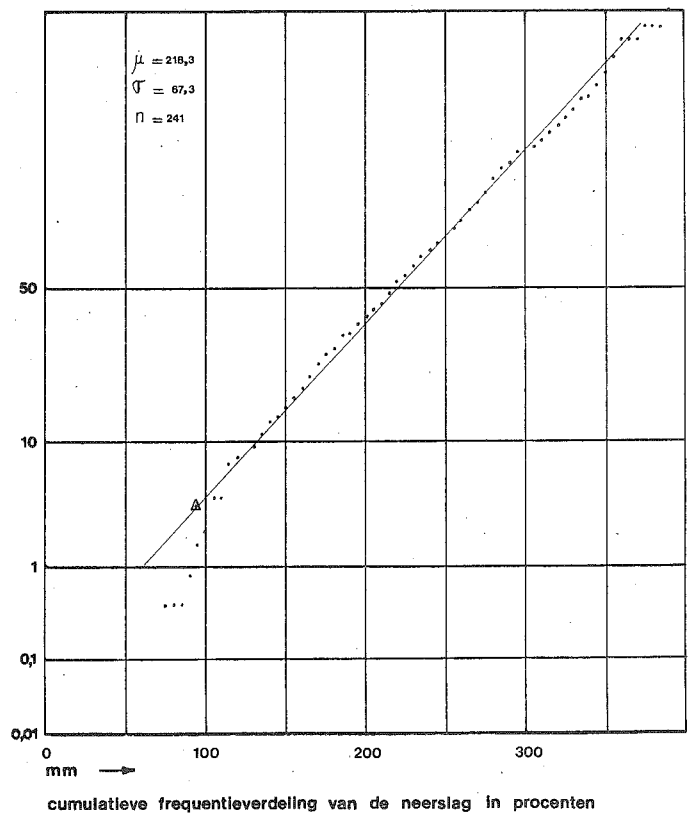
figuur 18

Hoofddorp - lente



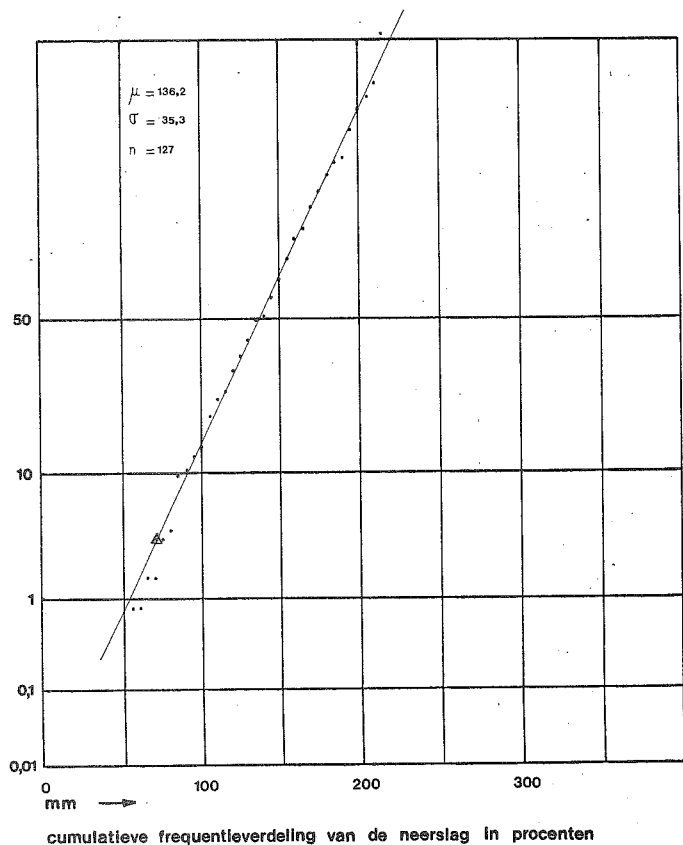
figuur 19

Hoofddorp - zomer



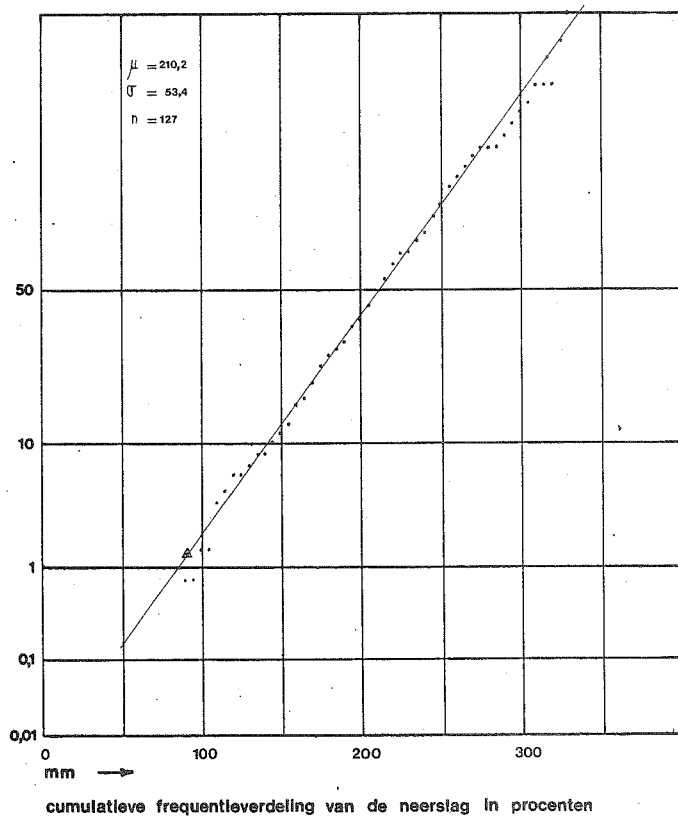
figuur 20

Nederland  
Braak—reeks  
lente



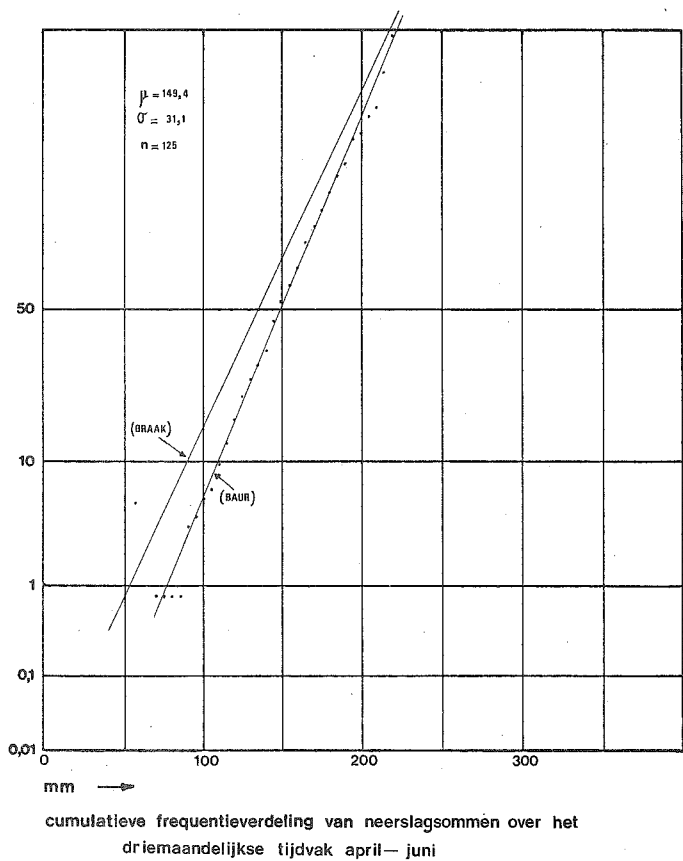
figuur 21

Nederland  
Braak—reeks  
zomer



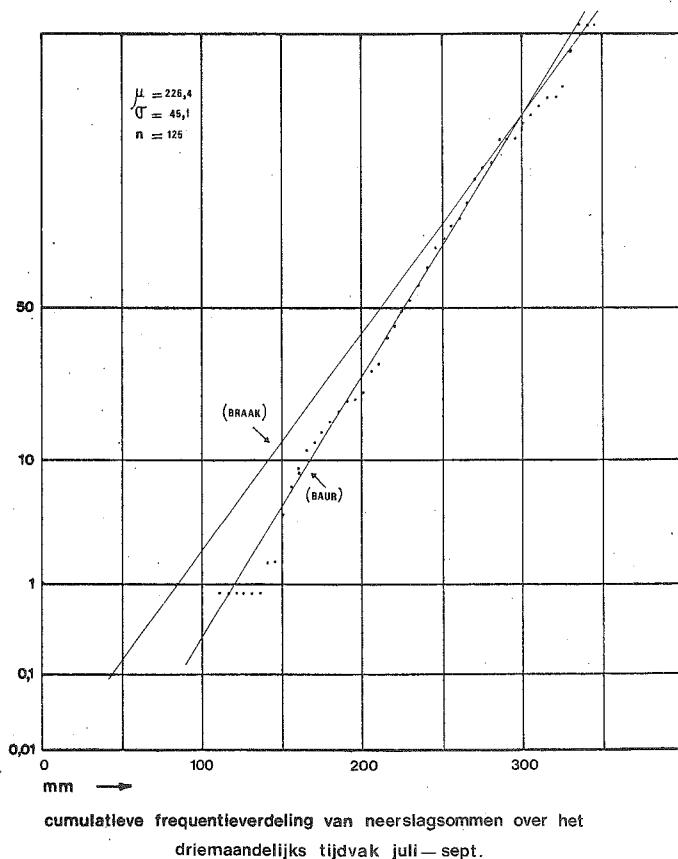
figuur 22

W—Duitsland  
Baur—reeks  
lente



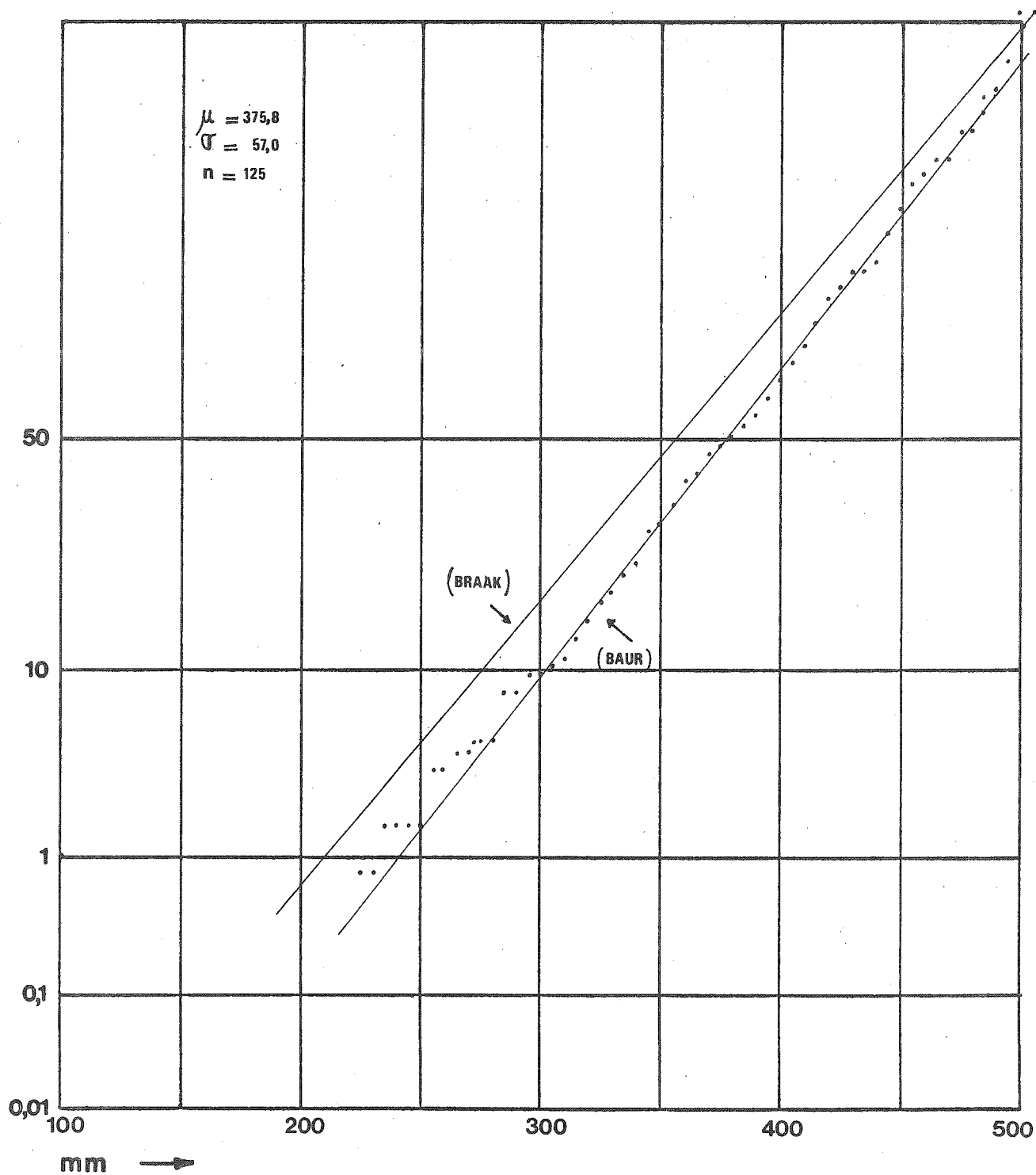
figuur 23

W—Duitsland  
Baur—reeks  
zomer



figuur 24

W—Duitsland  
Baur—reeks  
lente + zomer

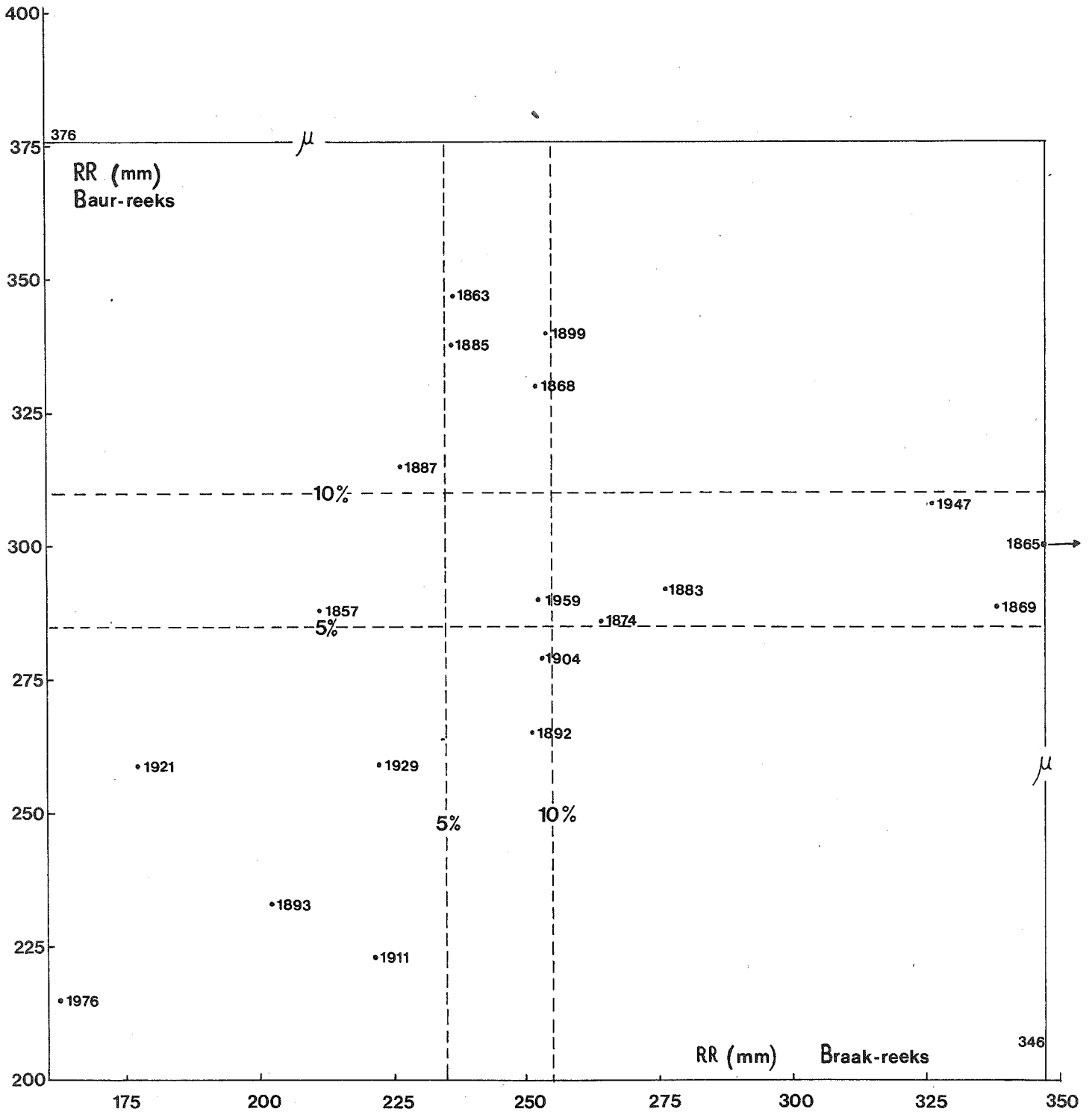


cumulative frequentieverdeling van zesmaandelijkse neerslagsommen  
april—sept. in procenten



figuur 25

Neerslagsom RR (lente + zomer) in W-Duitsland (Baur-reeks)  
 en Nederland (Braak-reeks)

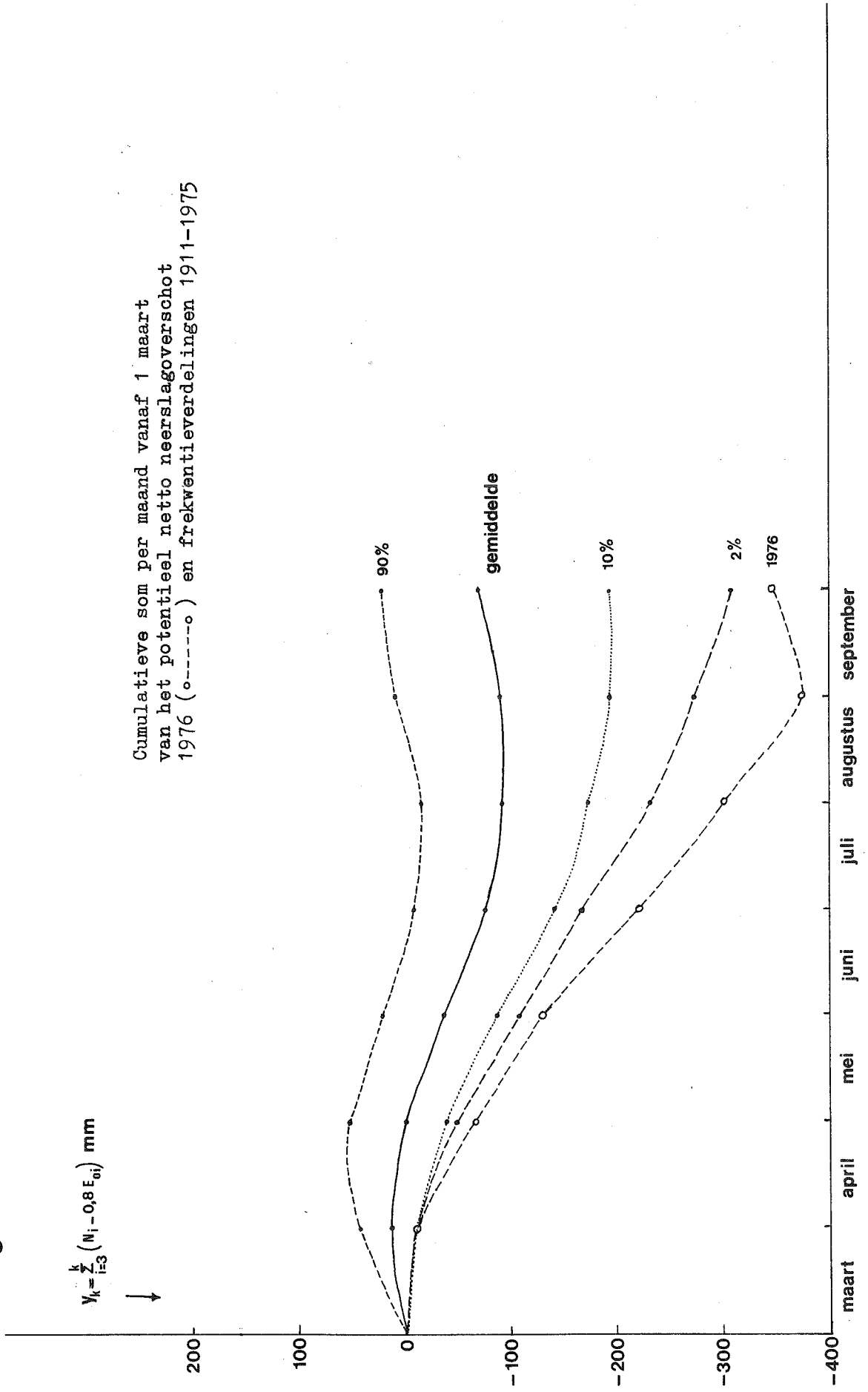


figuur 26

$$Y_k = \sum_{i=3}^k (N_i - 0,8 E_{0i}) \text{ mm}$$



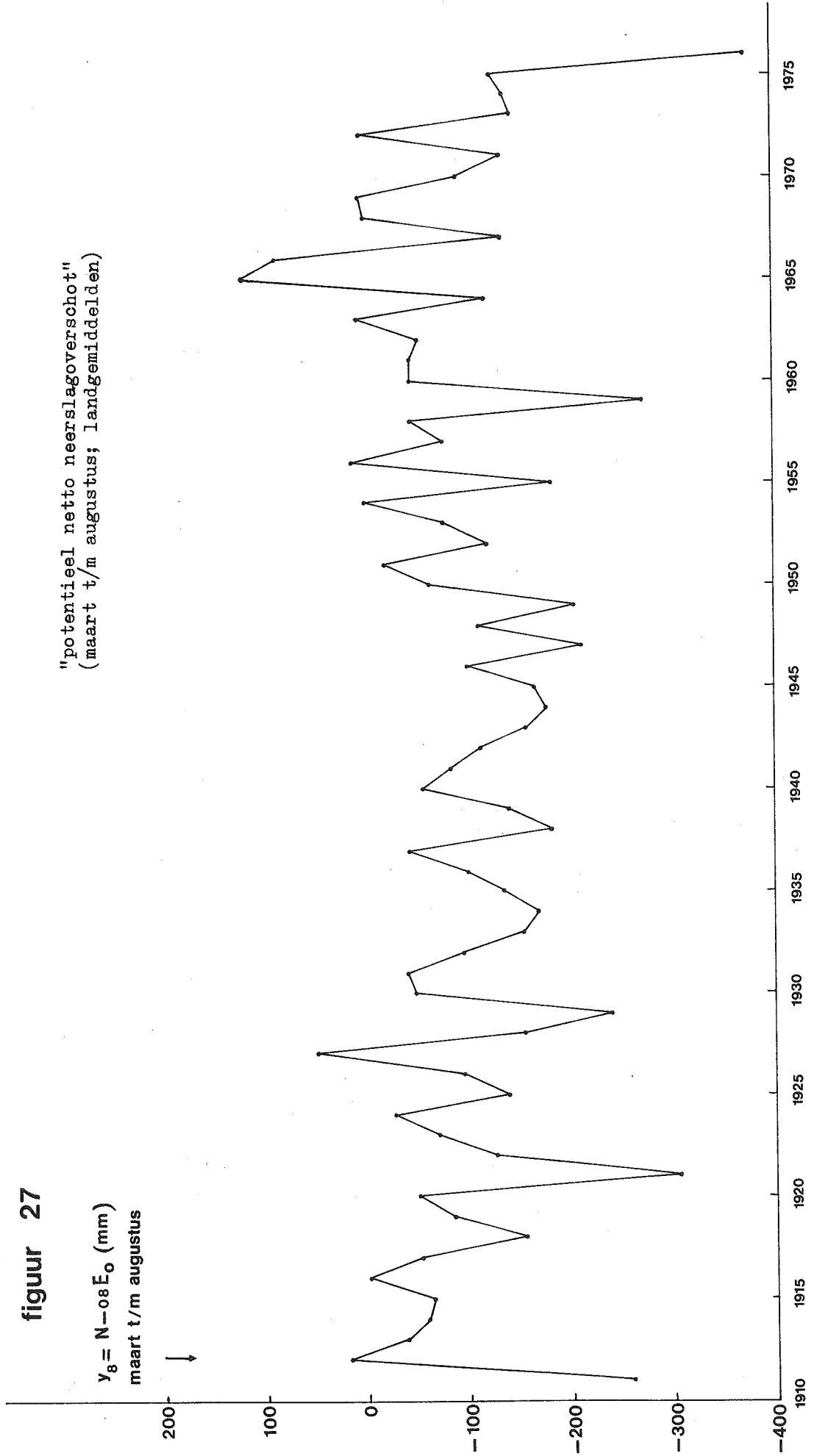
Cumulatieve som per maand vanaf 1 maart van het potentiële netto neerslagoverschot 1976 (o-----o) en frekwentieverdelingen 1911-1975



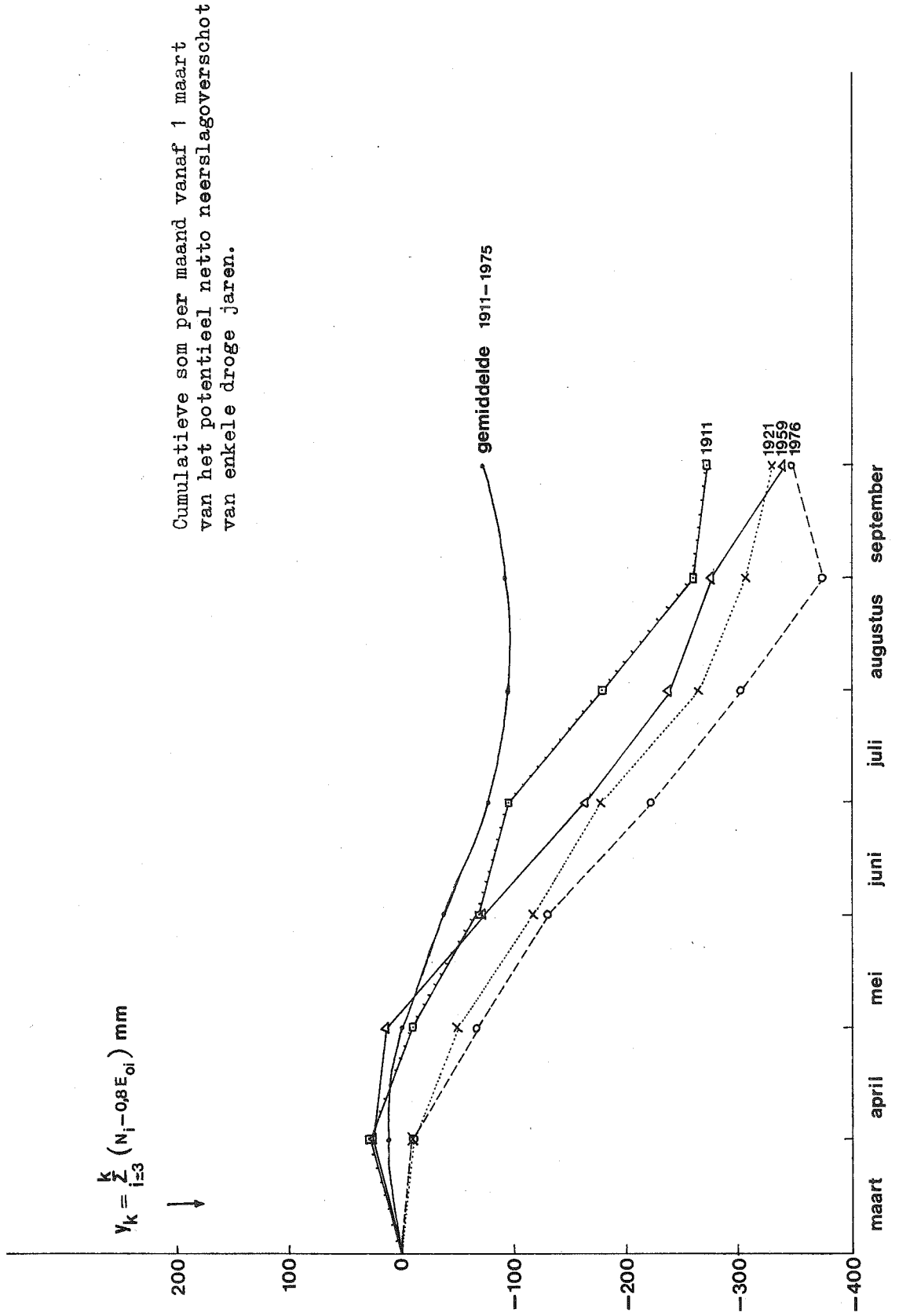
figuur 27

"potentieel netto neerslagoverschot"  
(maart t/m augustus; landgemiddelden)

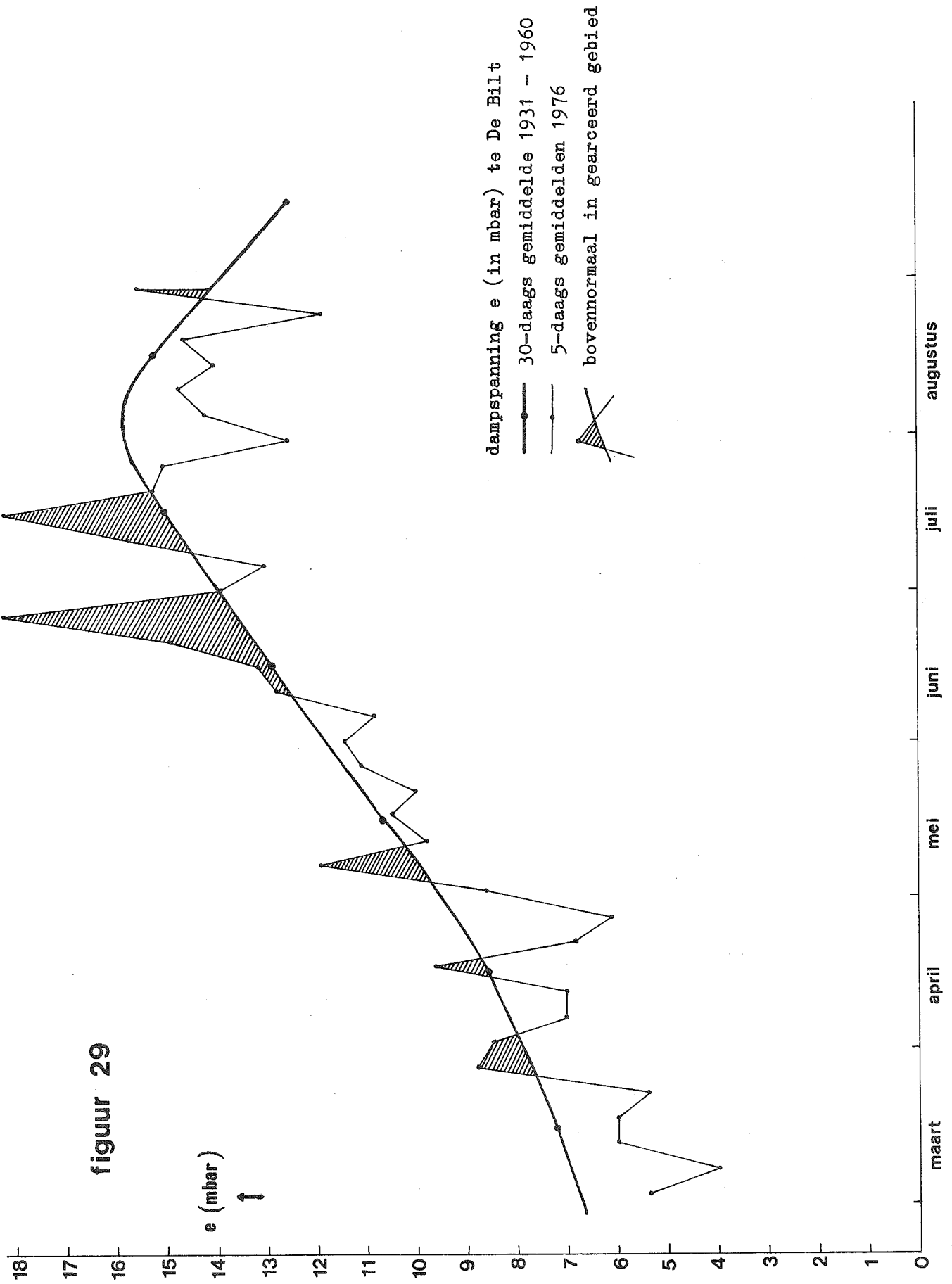
$y_8 = N - 0.8 E_0$  (mm)  
maart t/m augustus



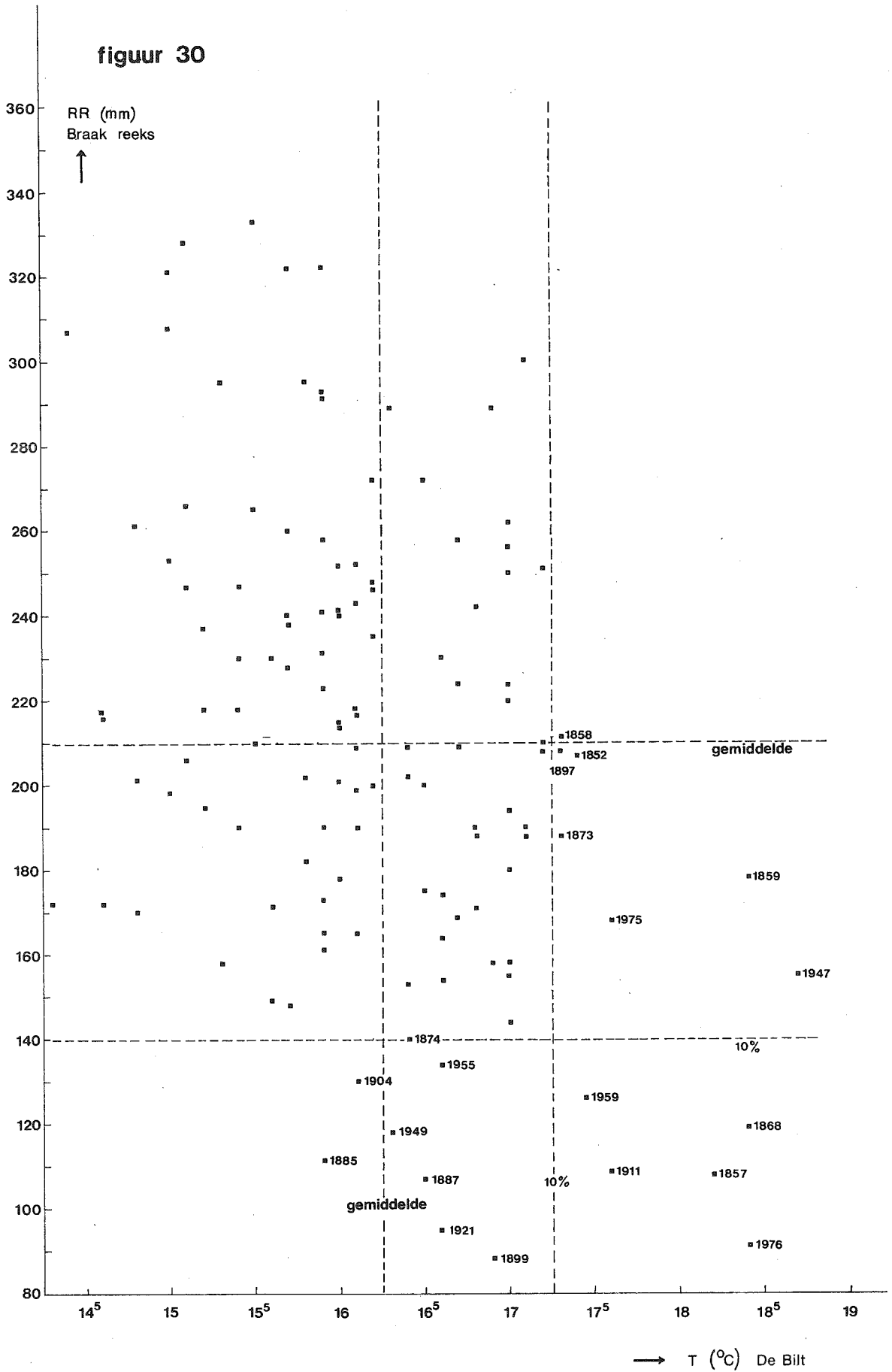
figuur 28



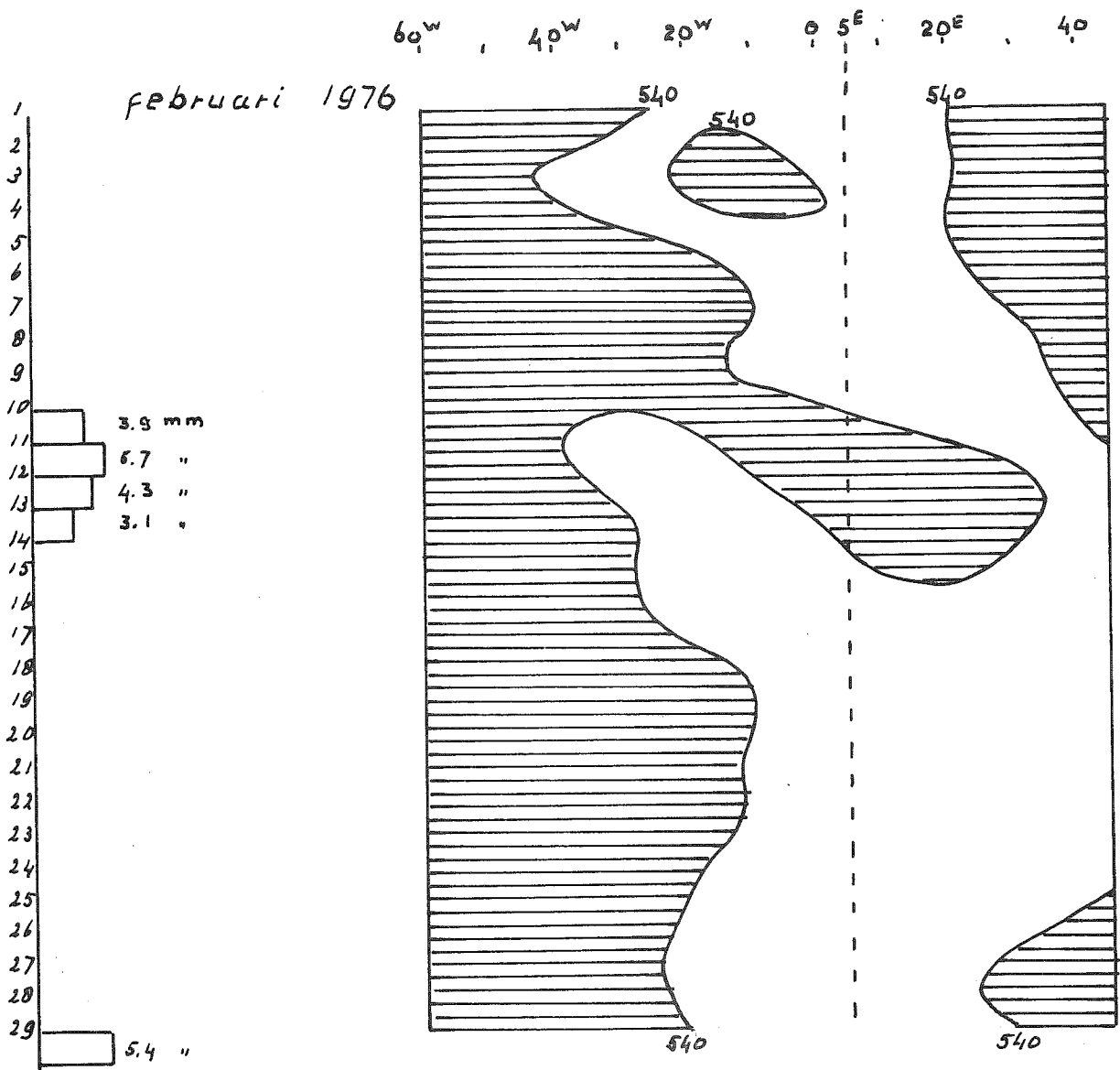
figuur 29



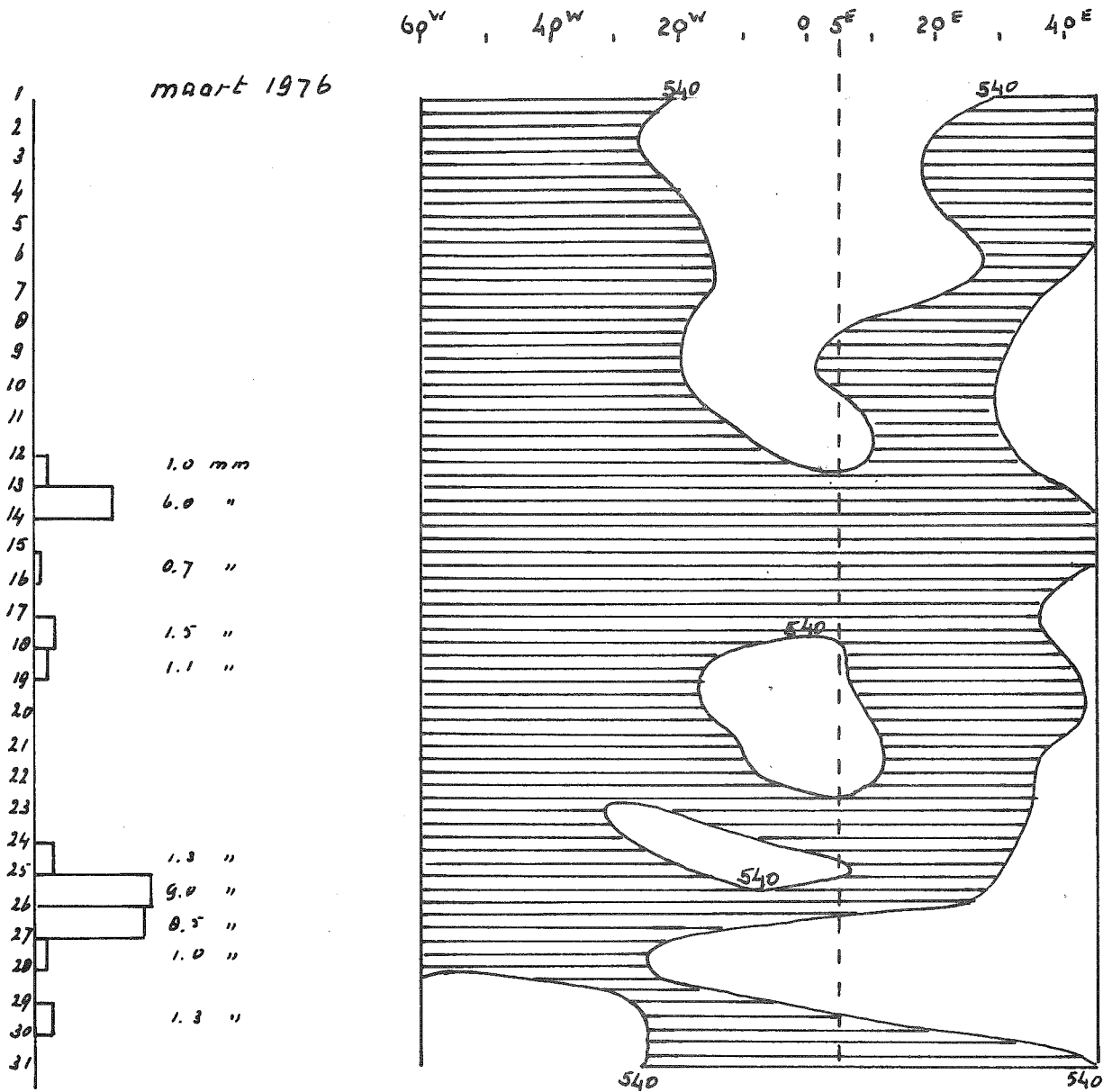
figuur 30



Verband neerslag som RR  
en gemiddelde temperatuur T (zomer).

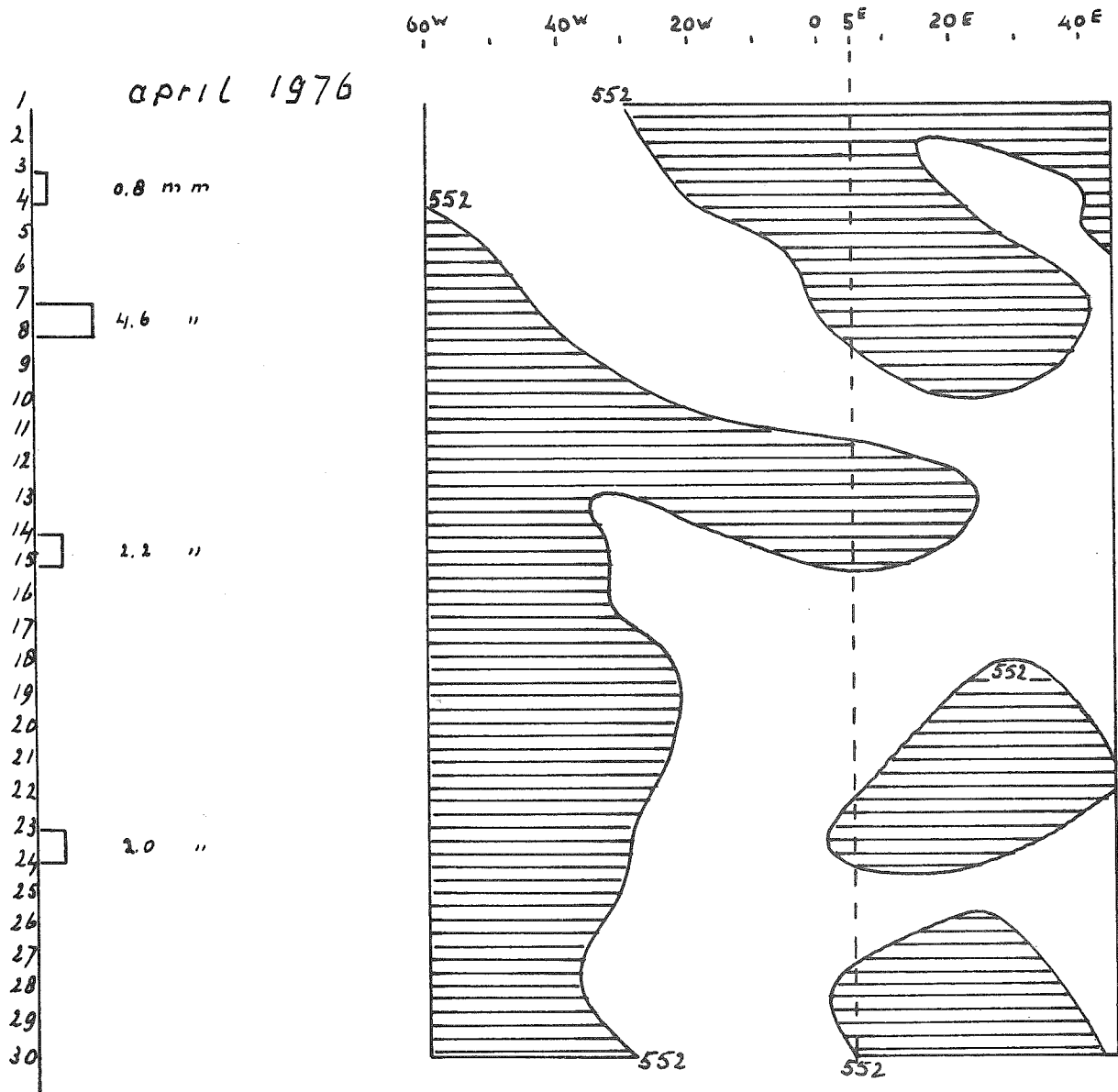


figuur 31

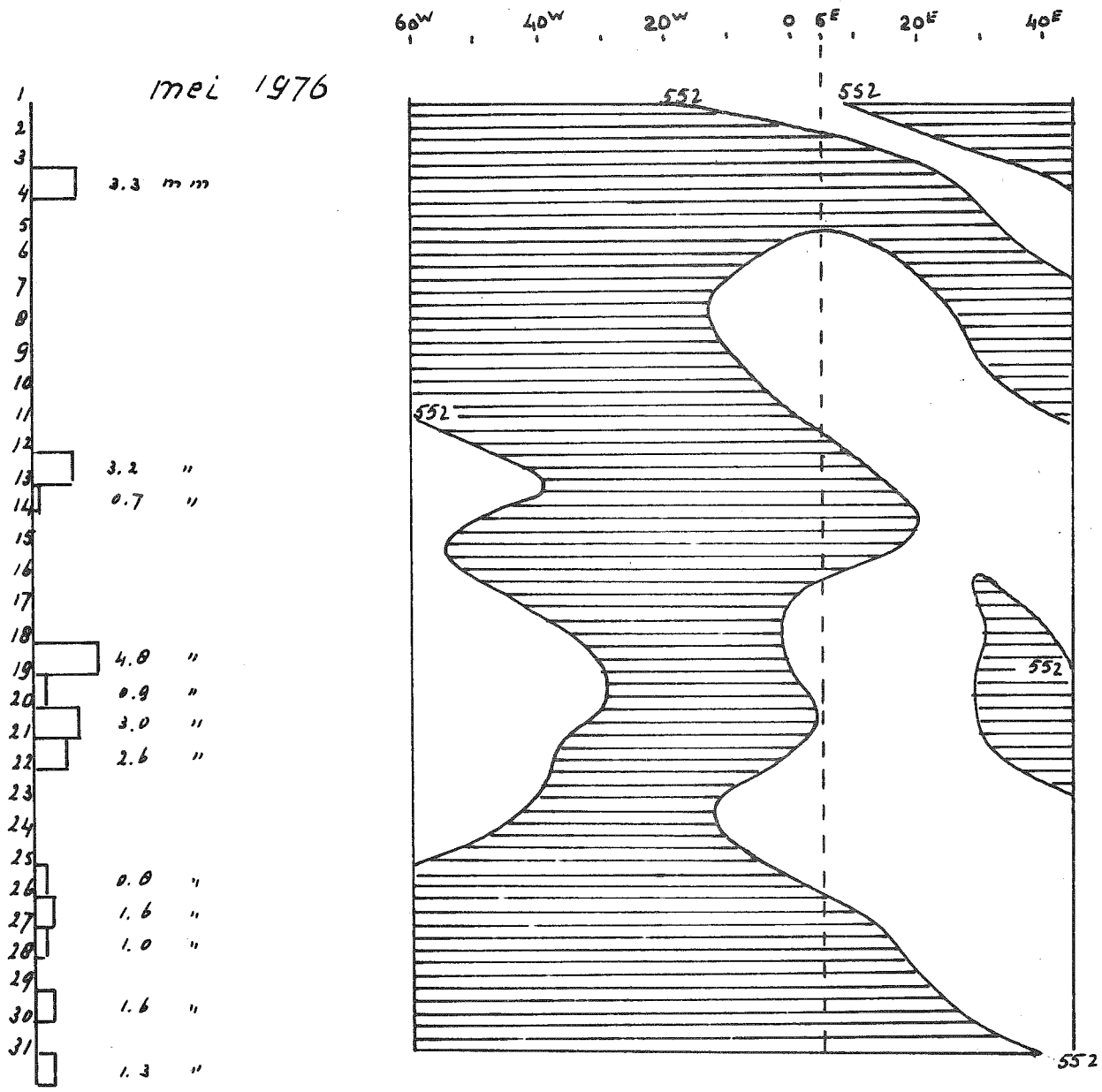


figuur 32

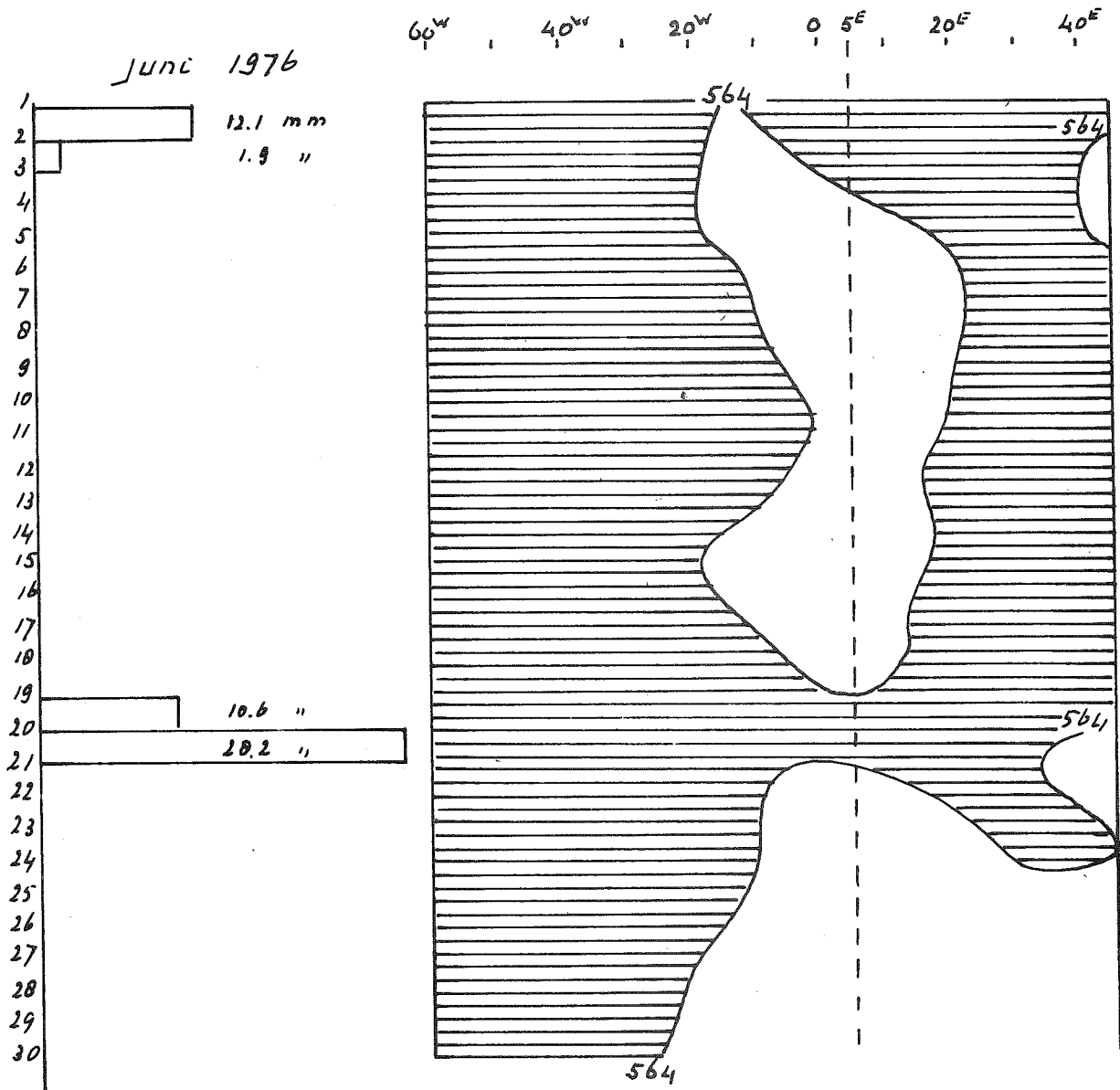




figuur 33

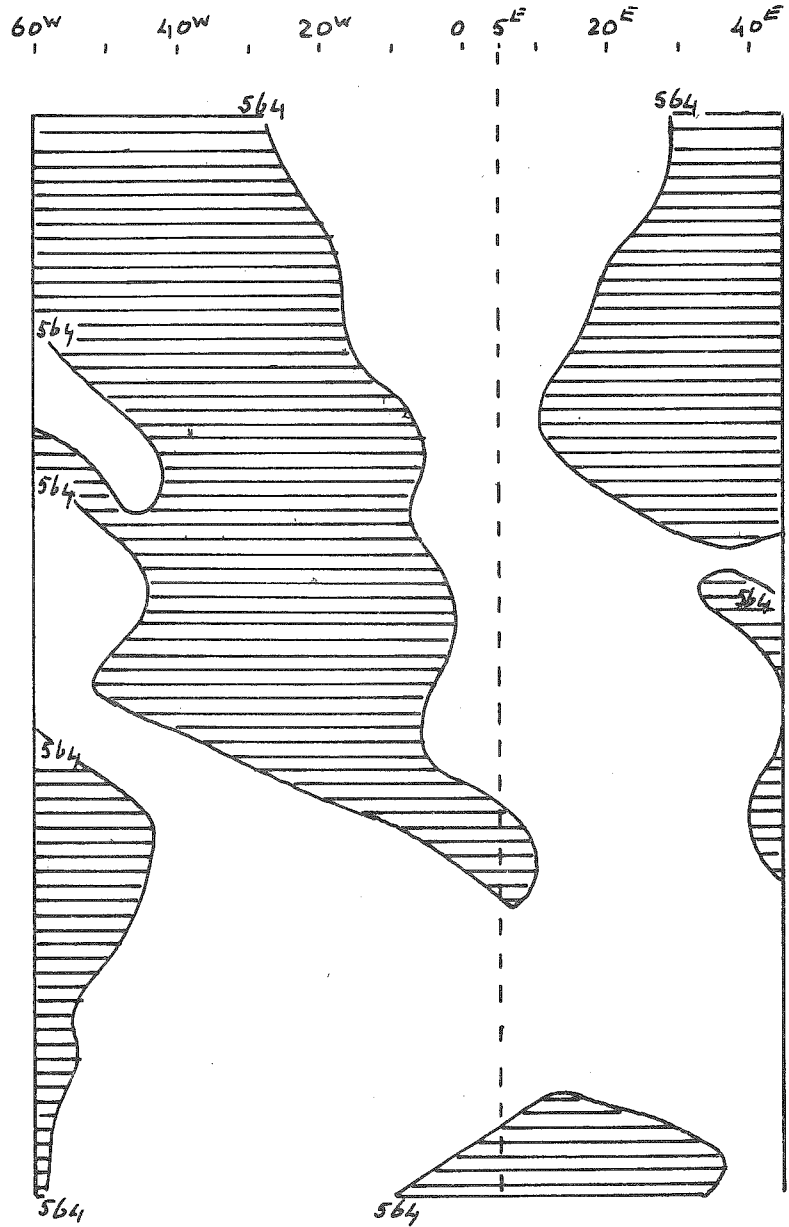
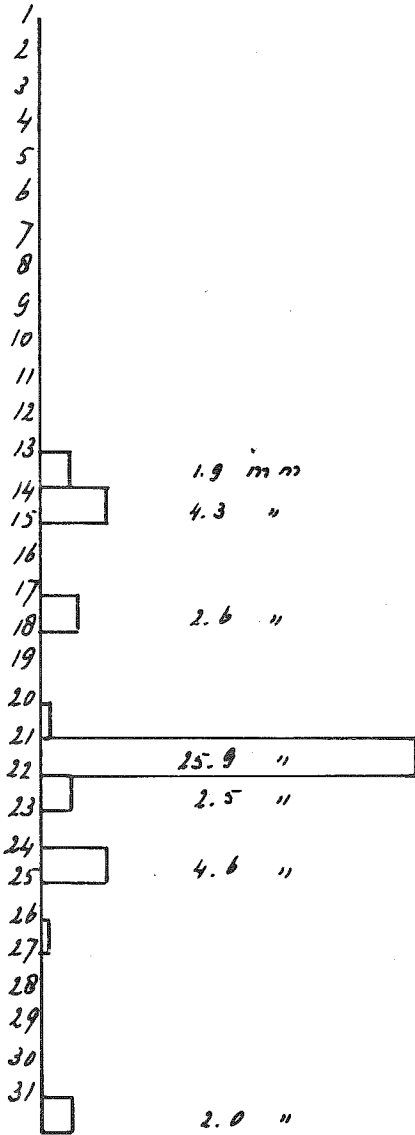


figuur 34

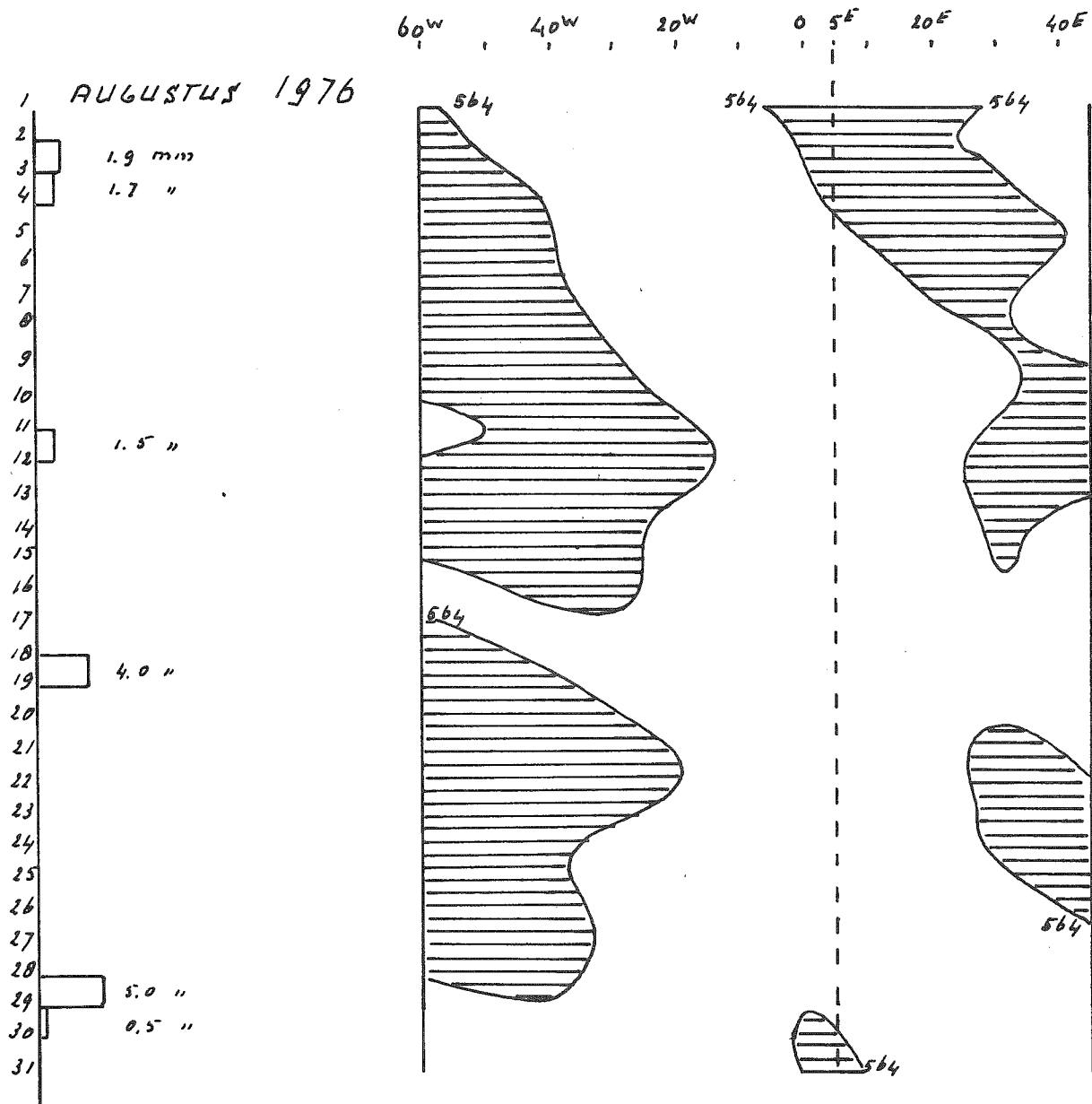


figuur 35

Juli 1976

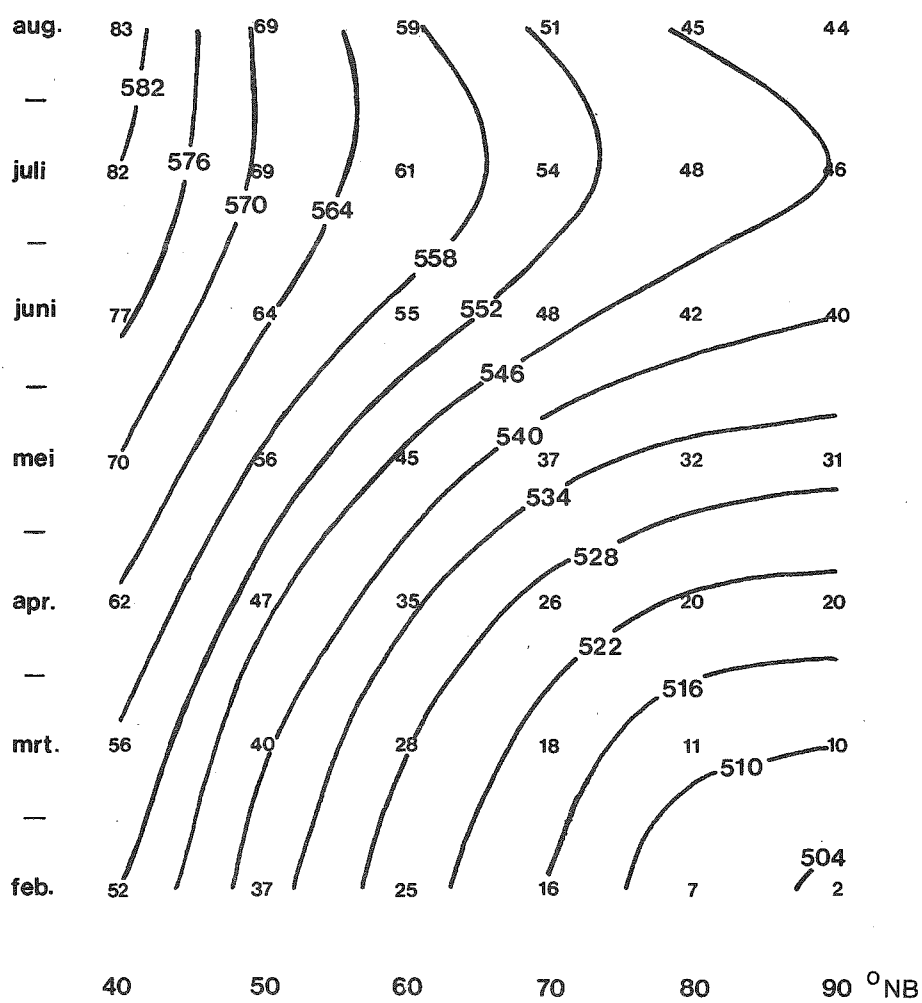


figuur 36



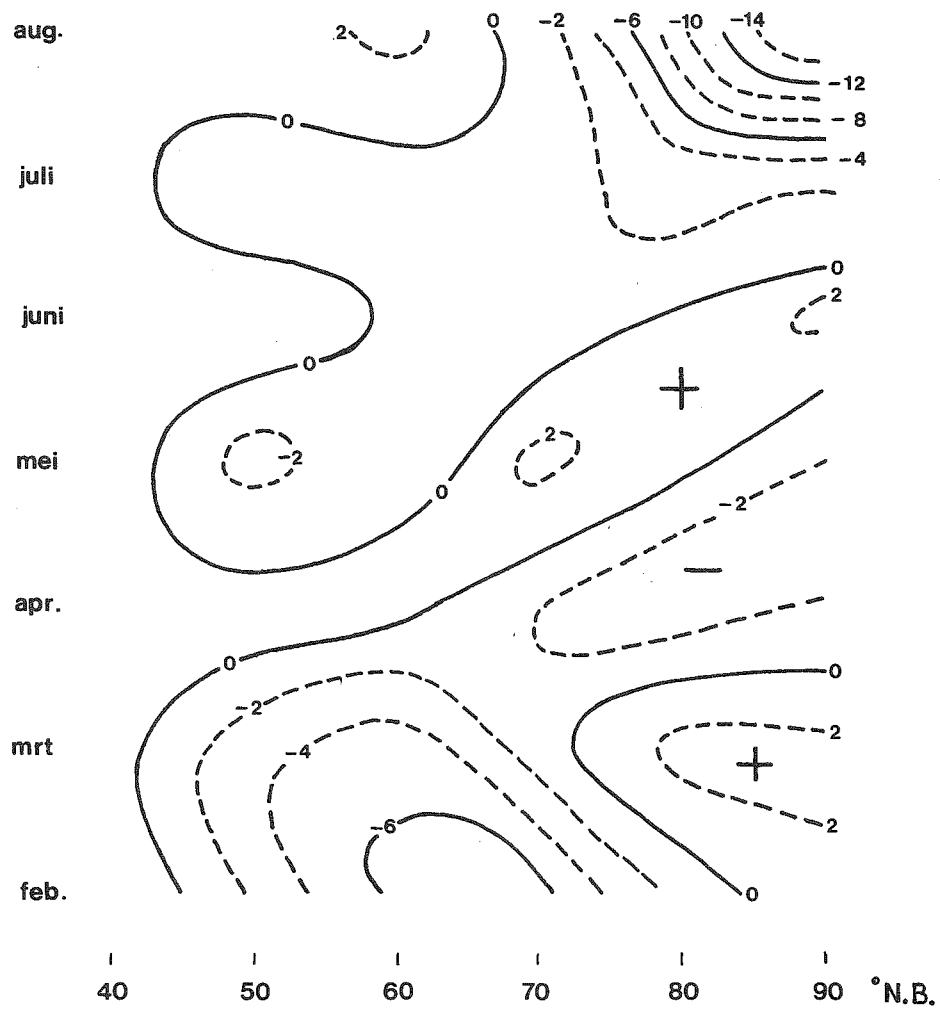
figuur 37

figuur 38



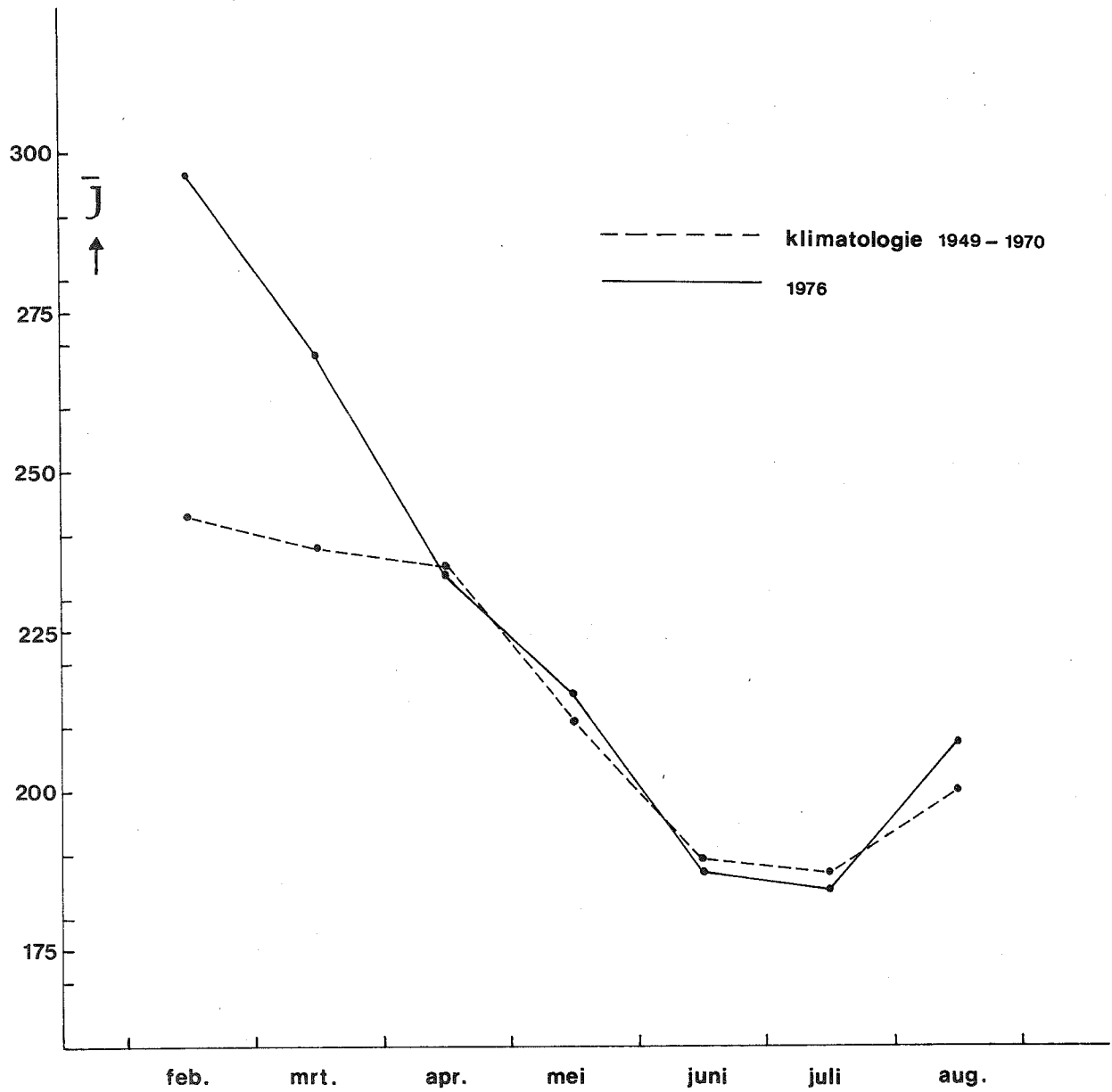
Tijd-breedtediagram van de normale waarde van de hoogte van het 500 mbar-vlak gemiddeld over een maand en over een volledige breedte-cirkel. De normaal heeft betrekking op 1950-1964. Eenheden zijn geopotentiële decameters

figuur 39



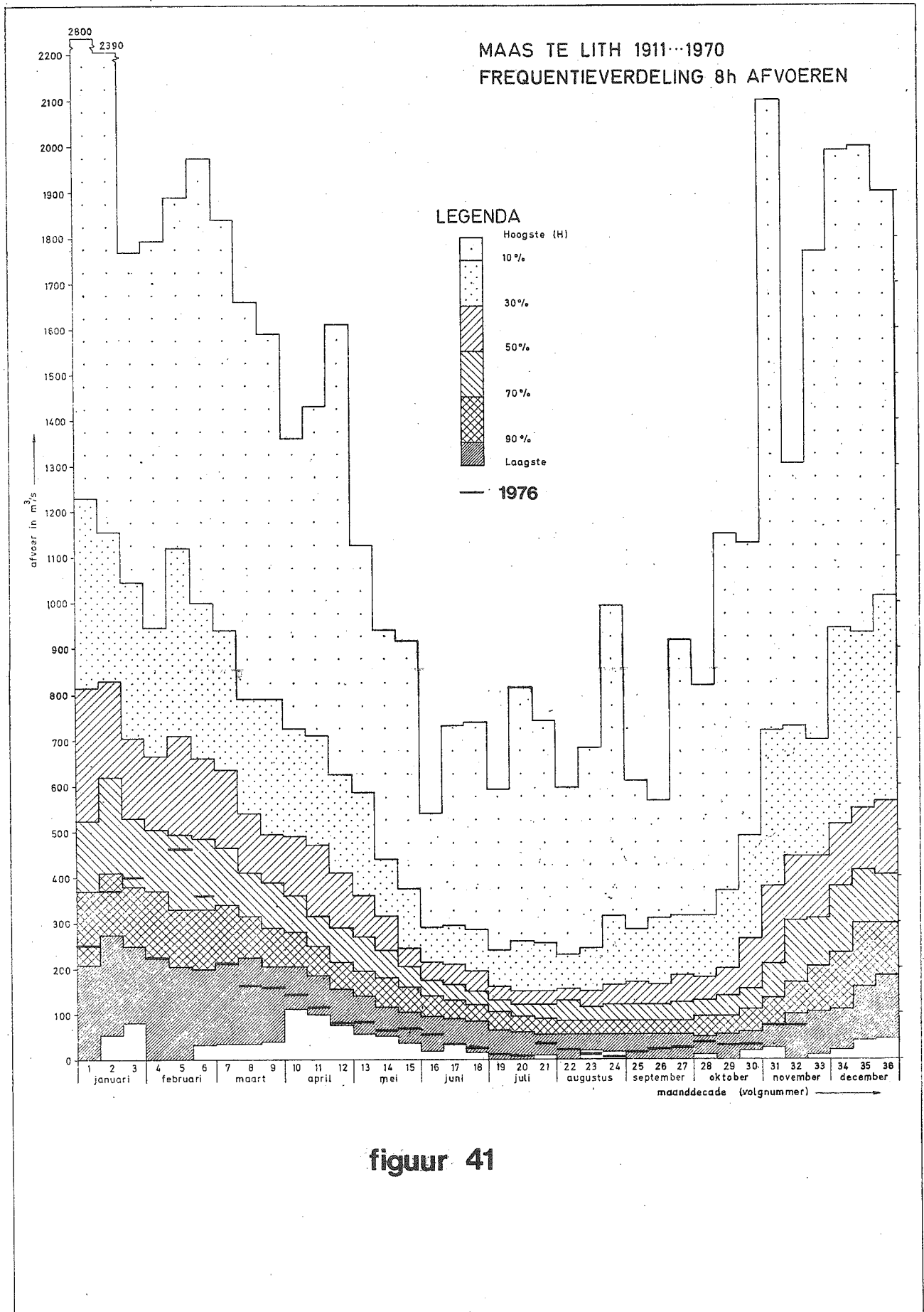
Idem als figuur 38, maar nu voor de afwijking van 1976 van normaal.

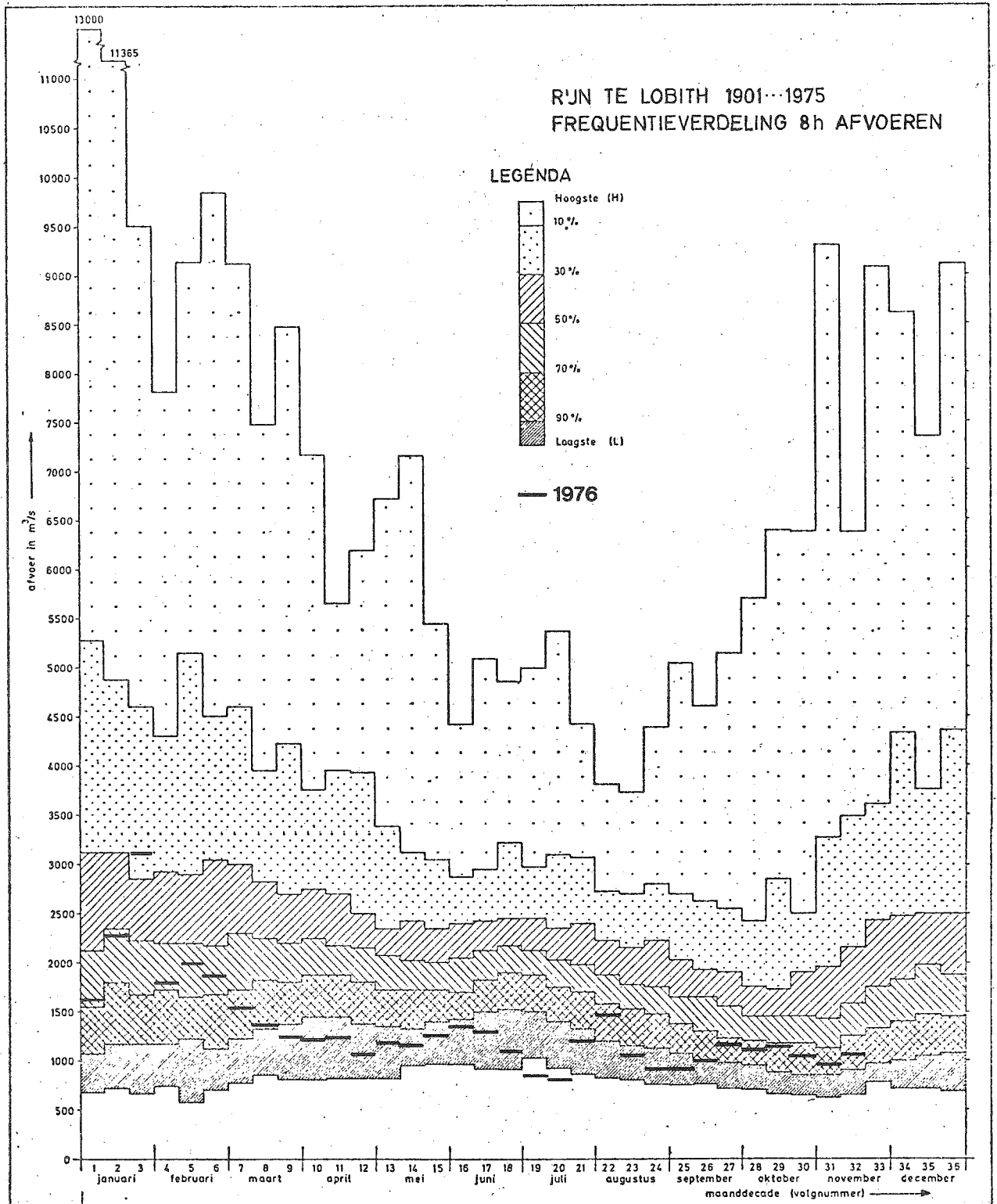
figuur 40



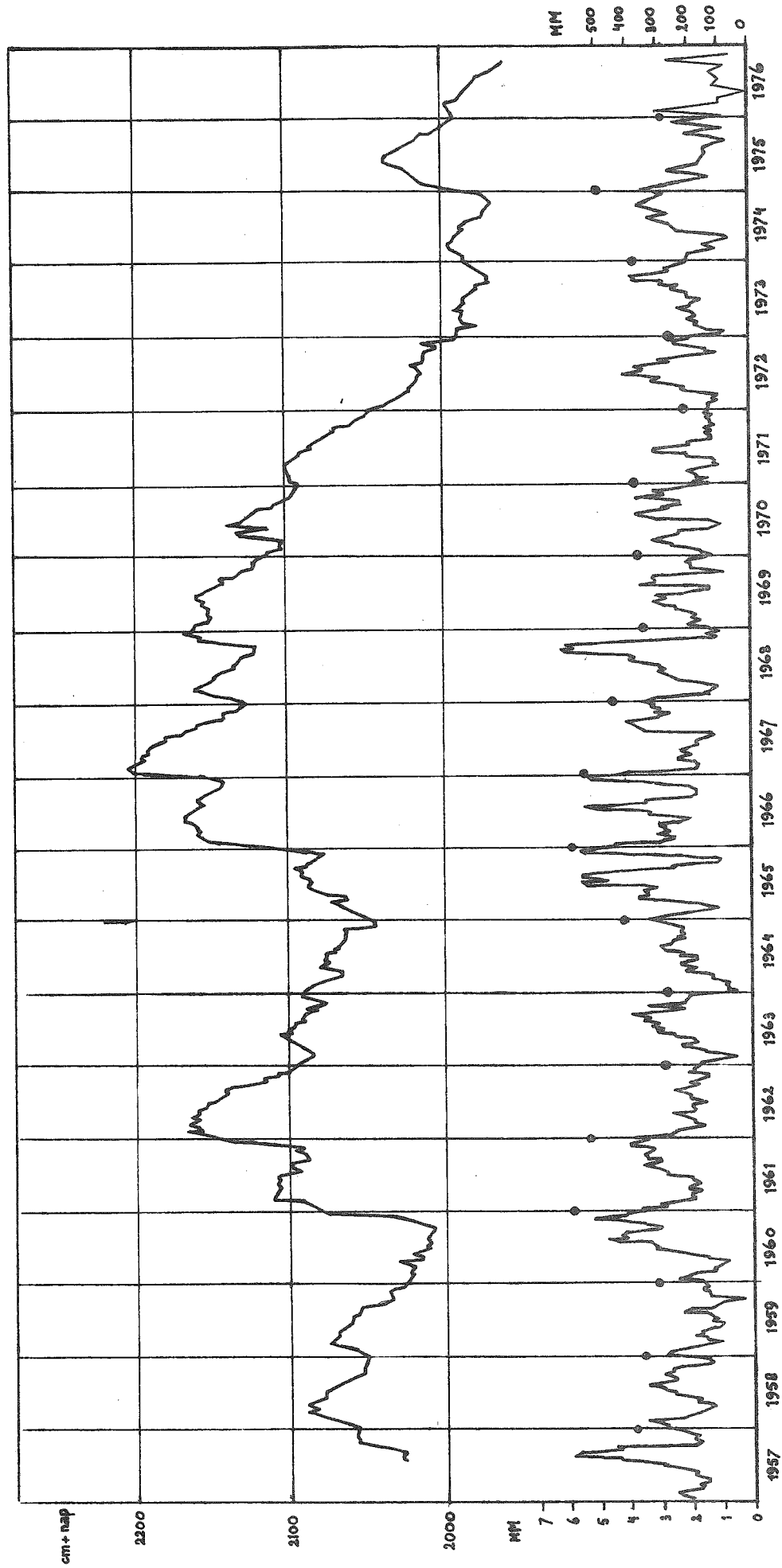
Het verloop van de maandgemiddelde waarde van het zonaal relatief  
impulsmoment van de atmosfeer poolwaarts van  $42.5^{\circ}$  N.B..  
Eenheden zijn  $10^{23} \text{ kgm}^2 \text{ sec}^{-1}$ .



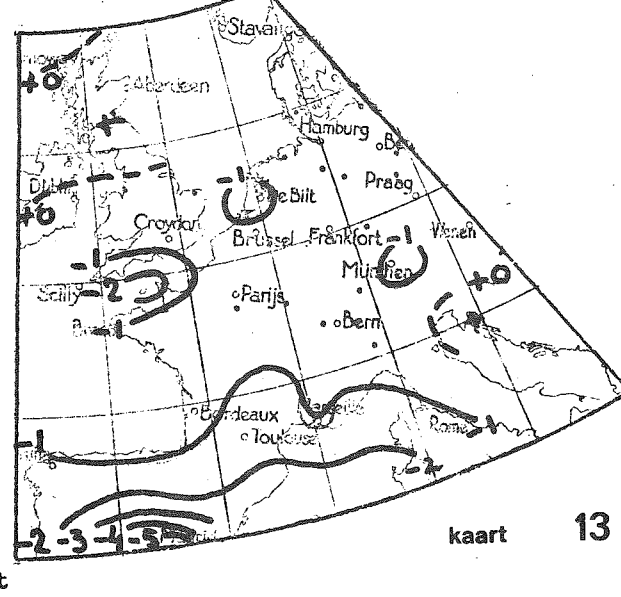
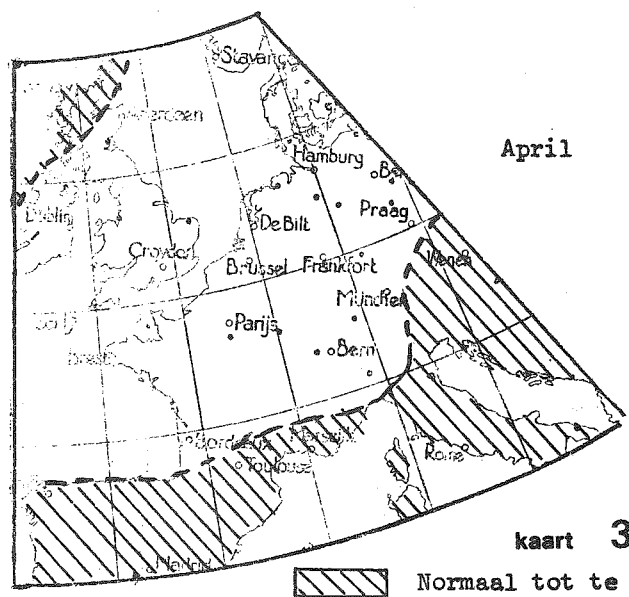
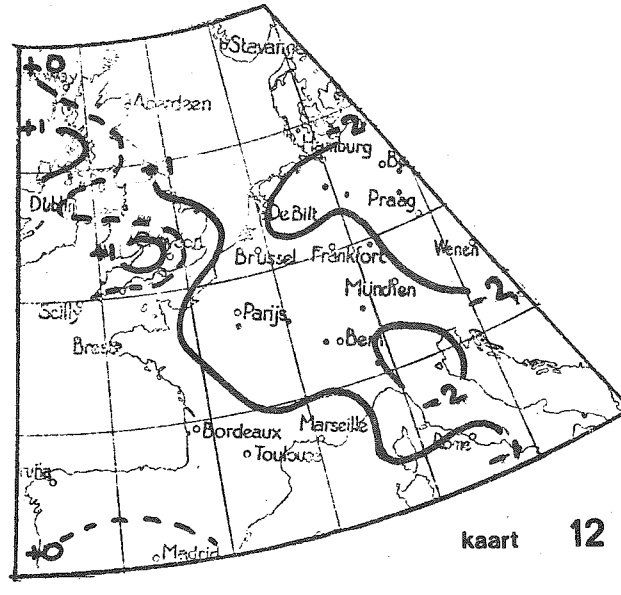
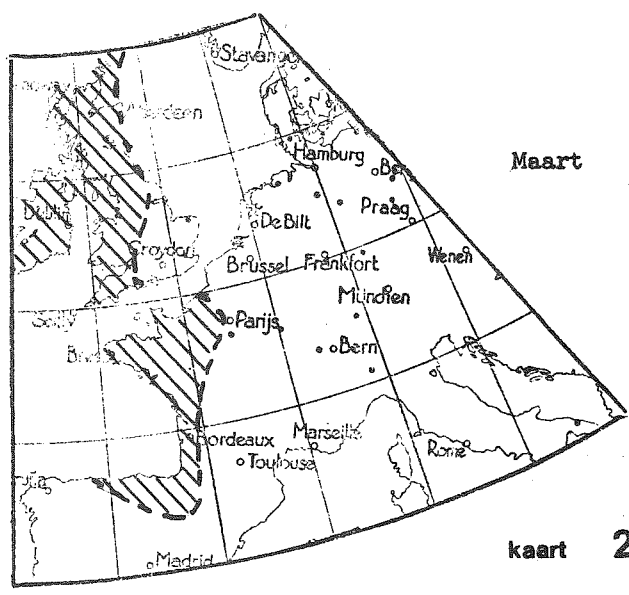
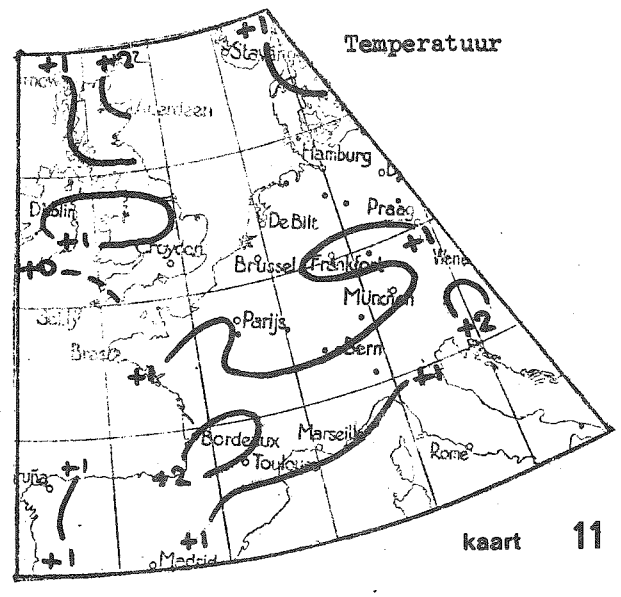
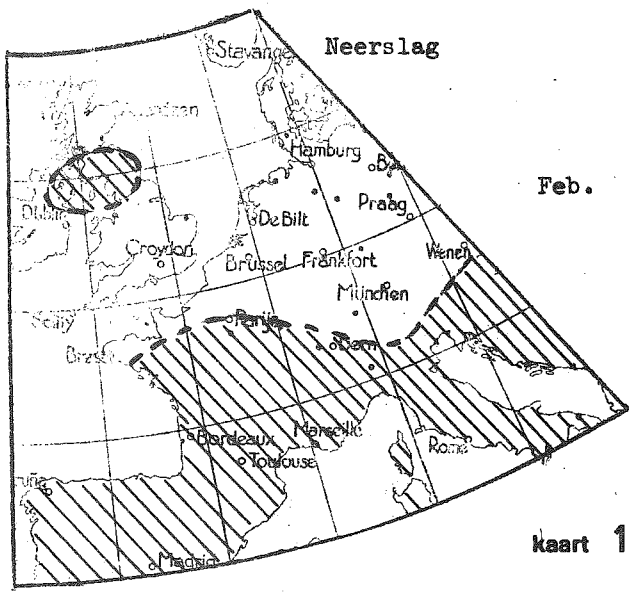






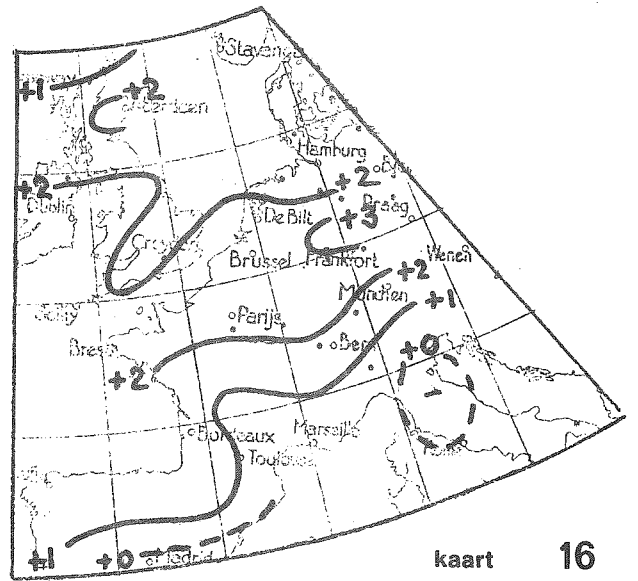
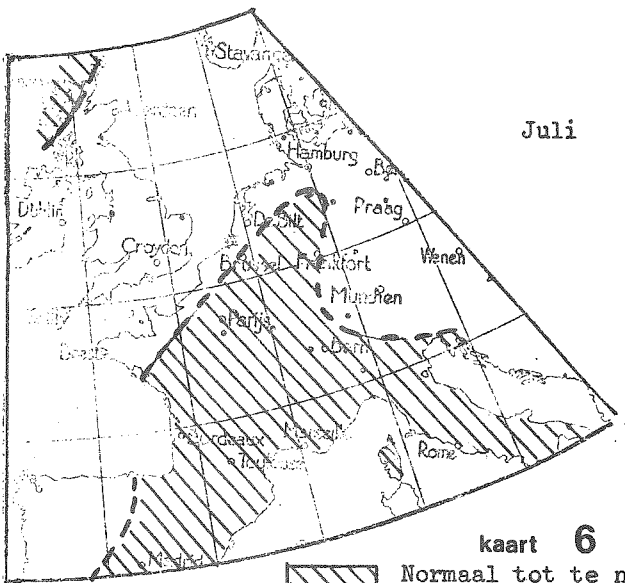
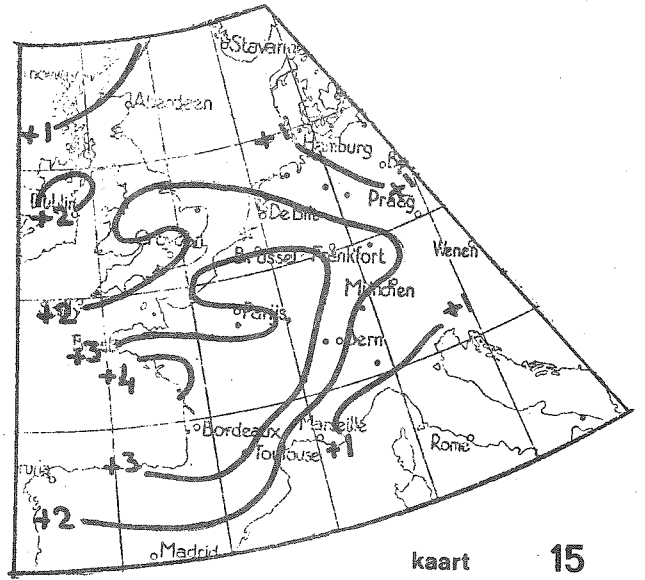
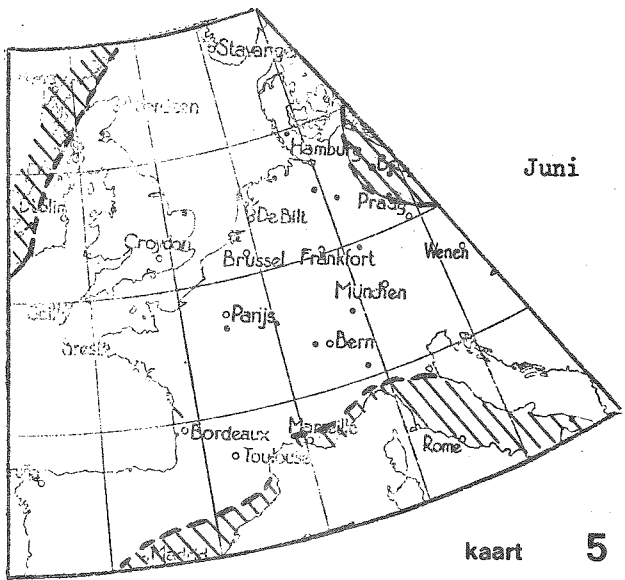
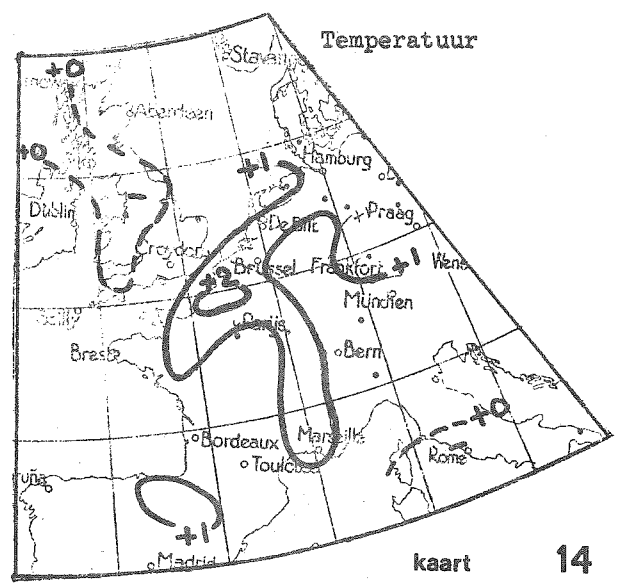
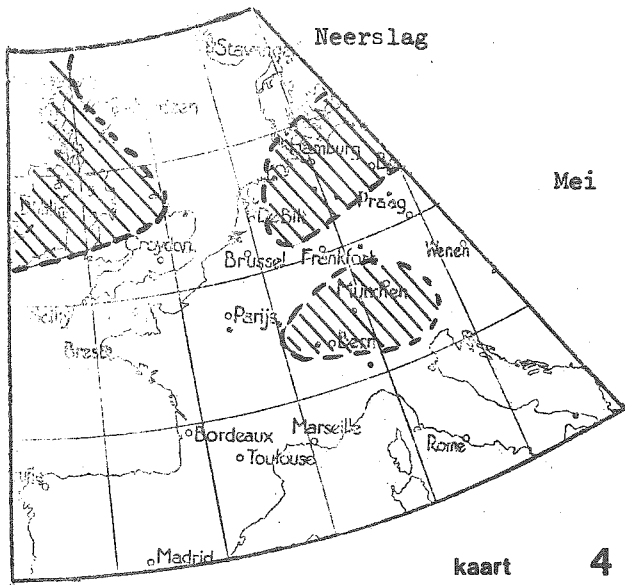
**figuur 42**





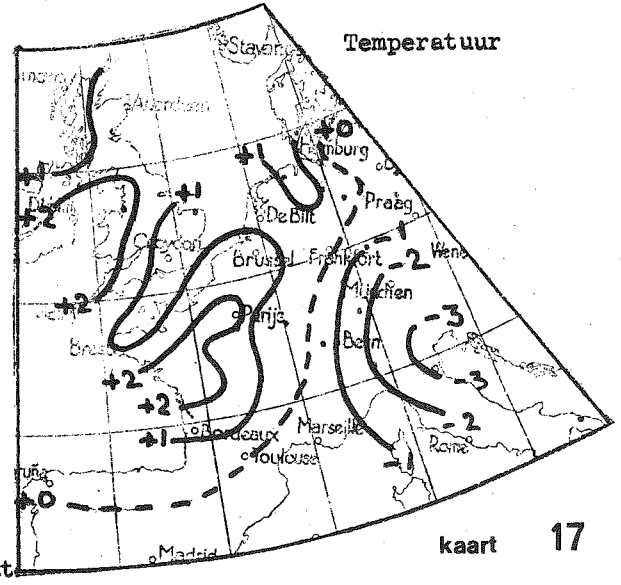
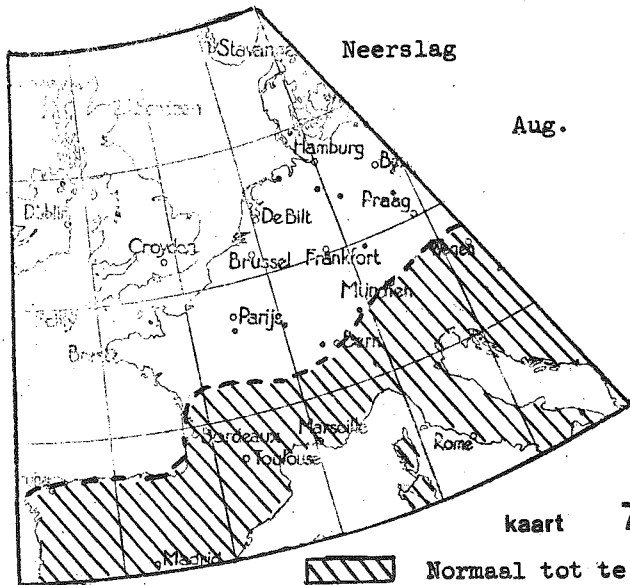
figuur 43





 Normaal tot te nat  
 Te droog

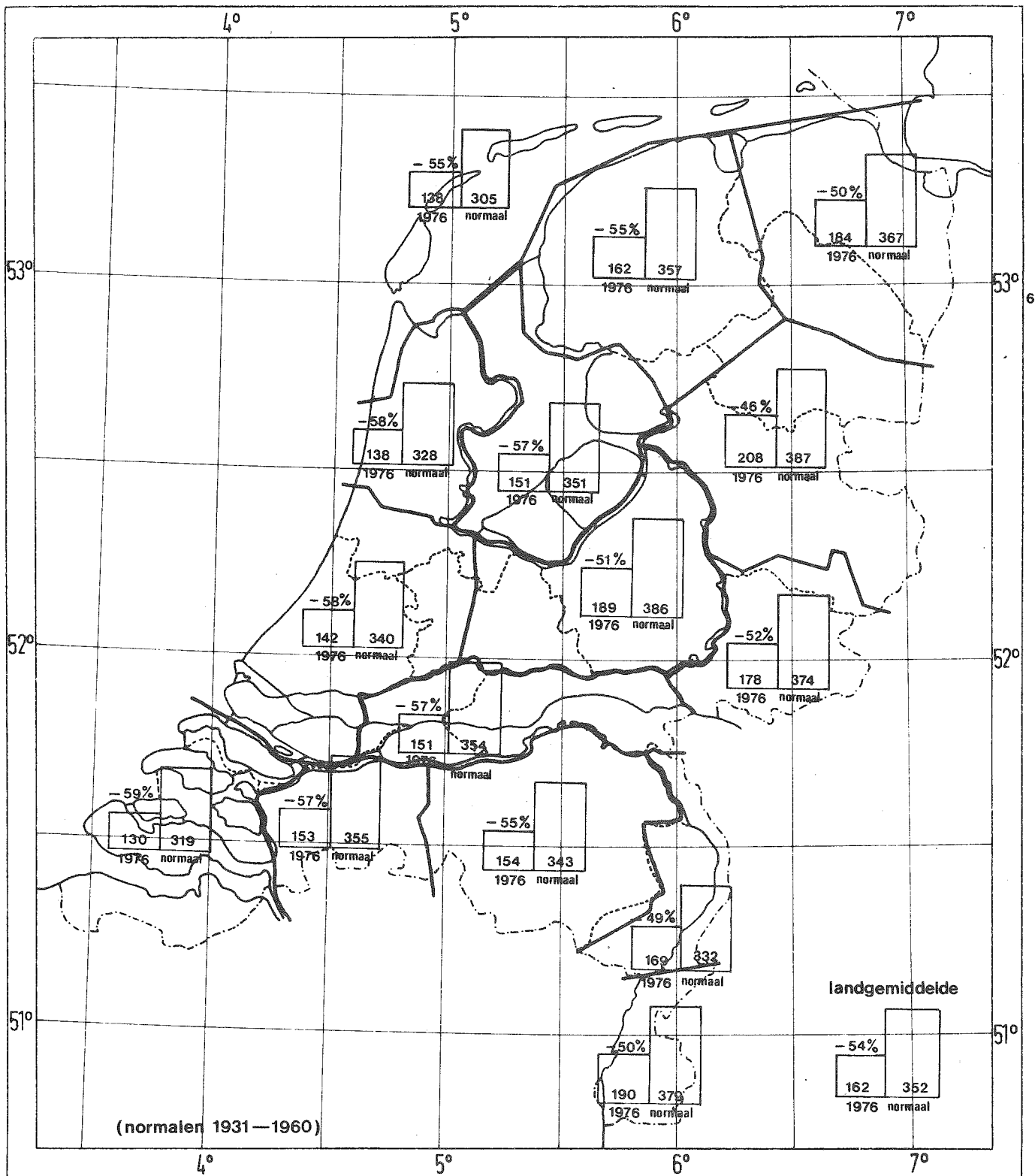


 Normaal tot te nat  
 Te droog



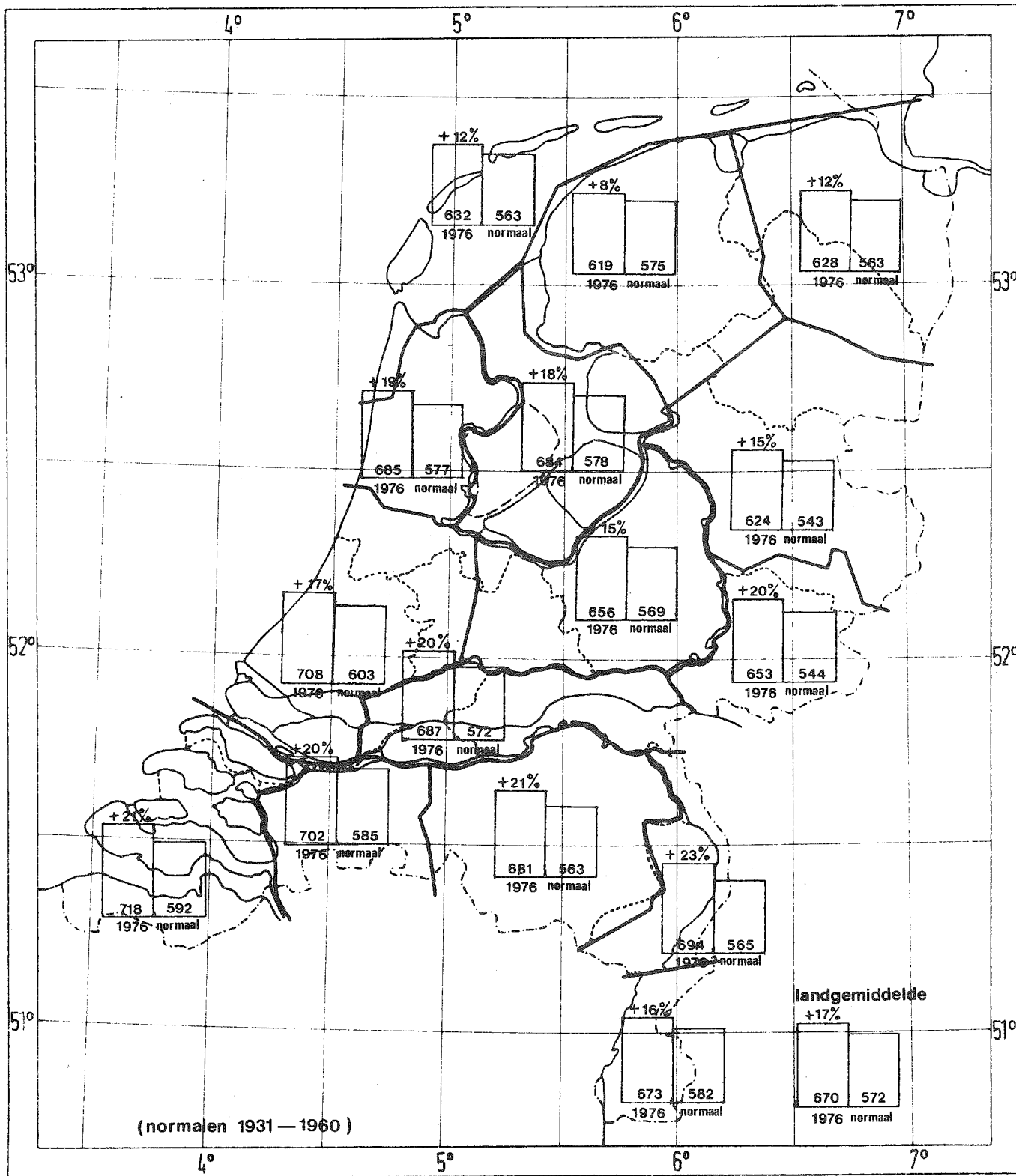
 Normaal tot te nat  
 Te droog

neerslag in de maanden maart t/m augustus 1976 (mm)



kaart 8

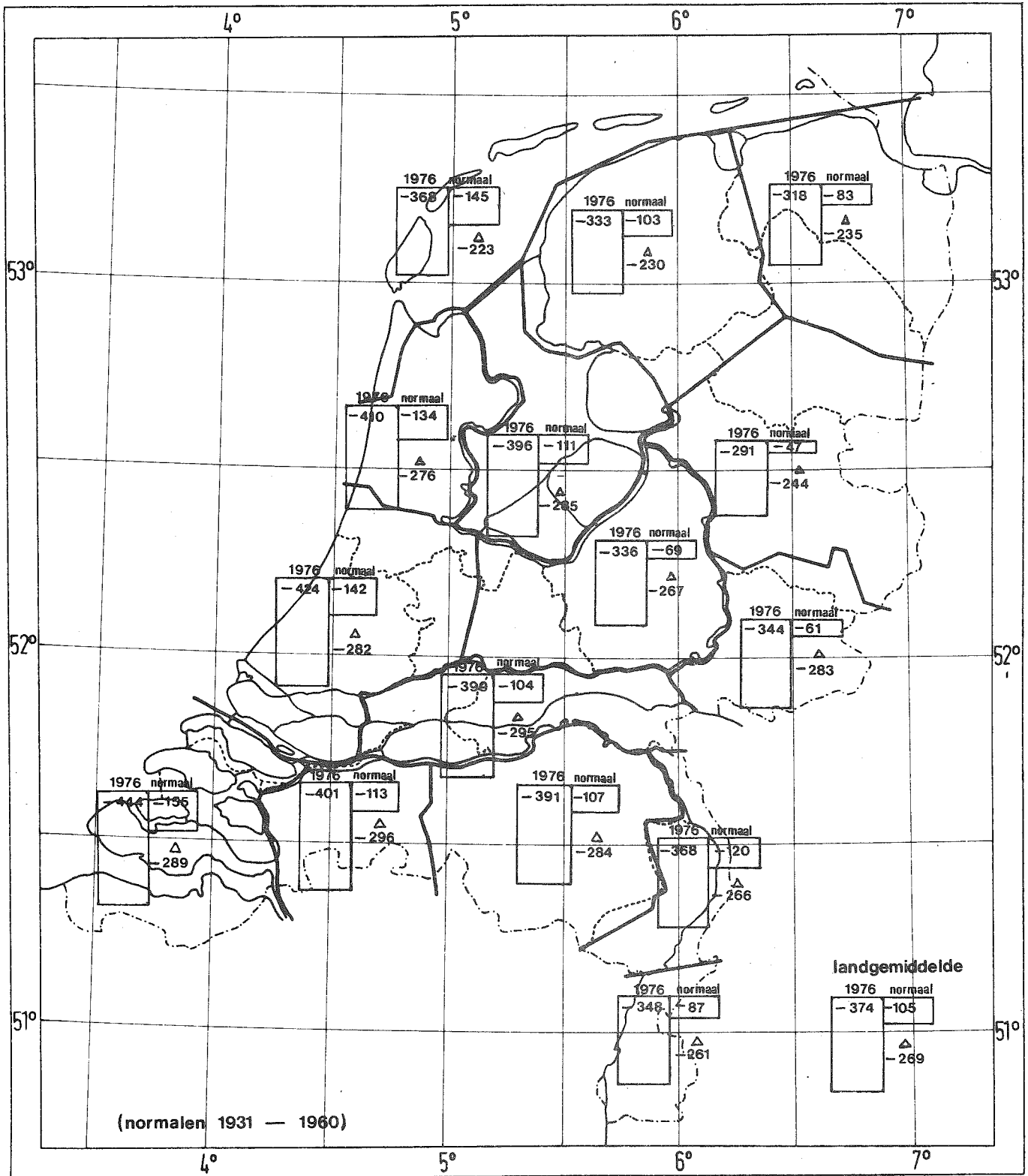
openwaterverdamping  $E_0$ ; maart t/m augustus 1976 (mm)



kaart 9

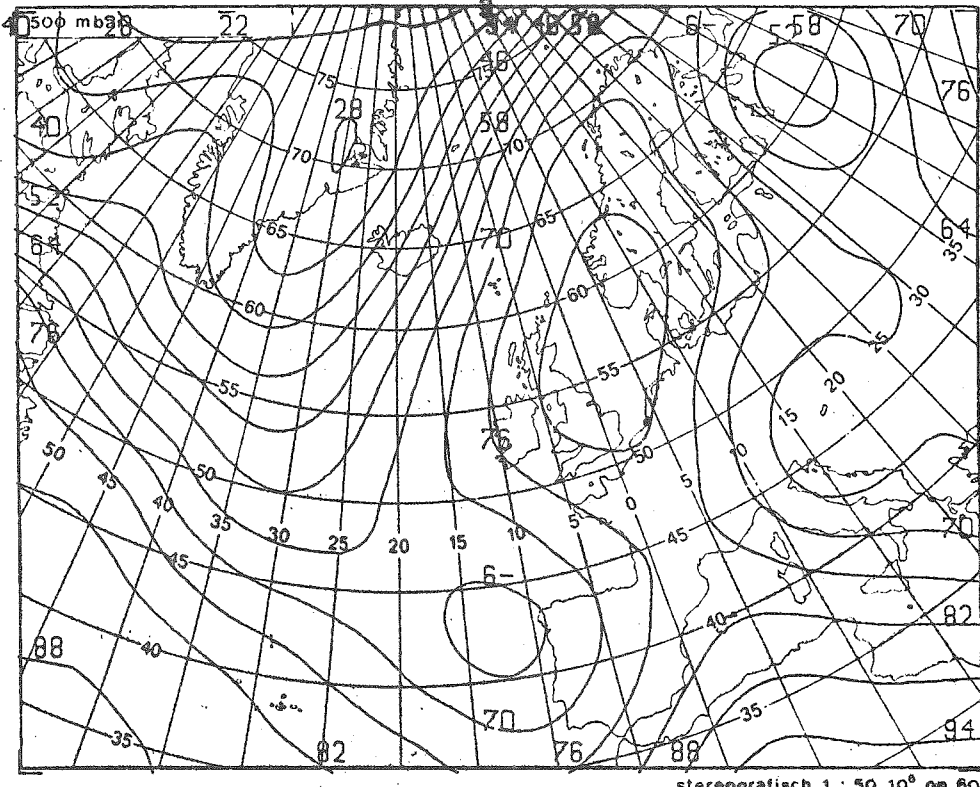
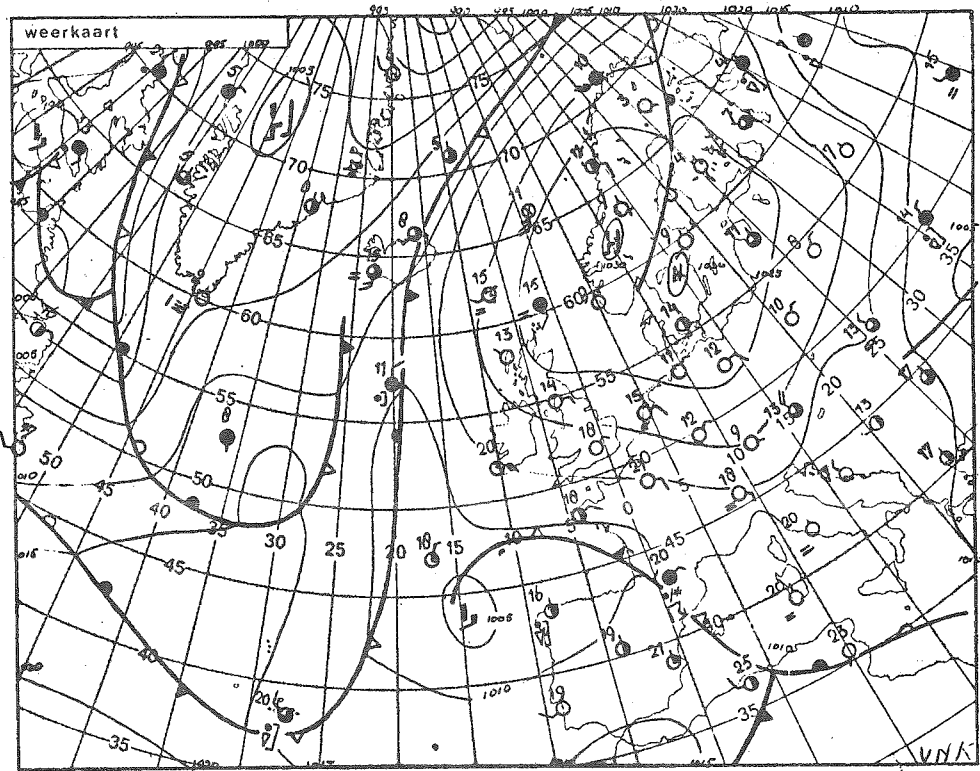


het potentieel netto neerslagoverschot (mm)  
per district — maart t/m augustus 1976



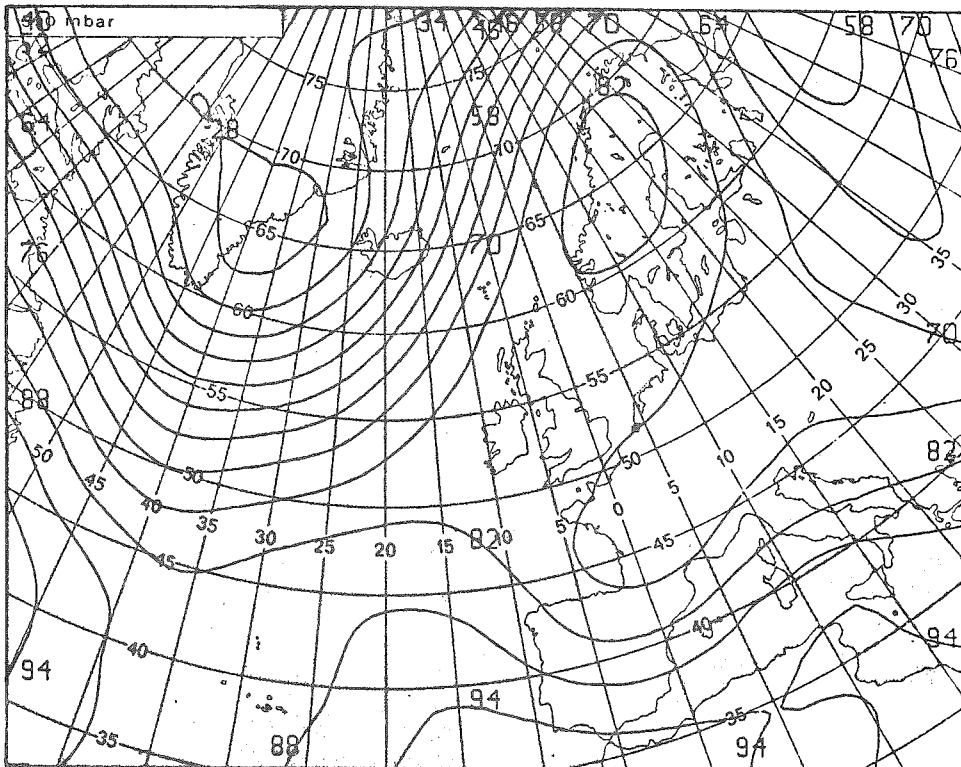
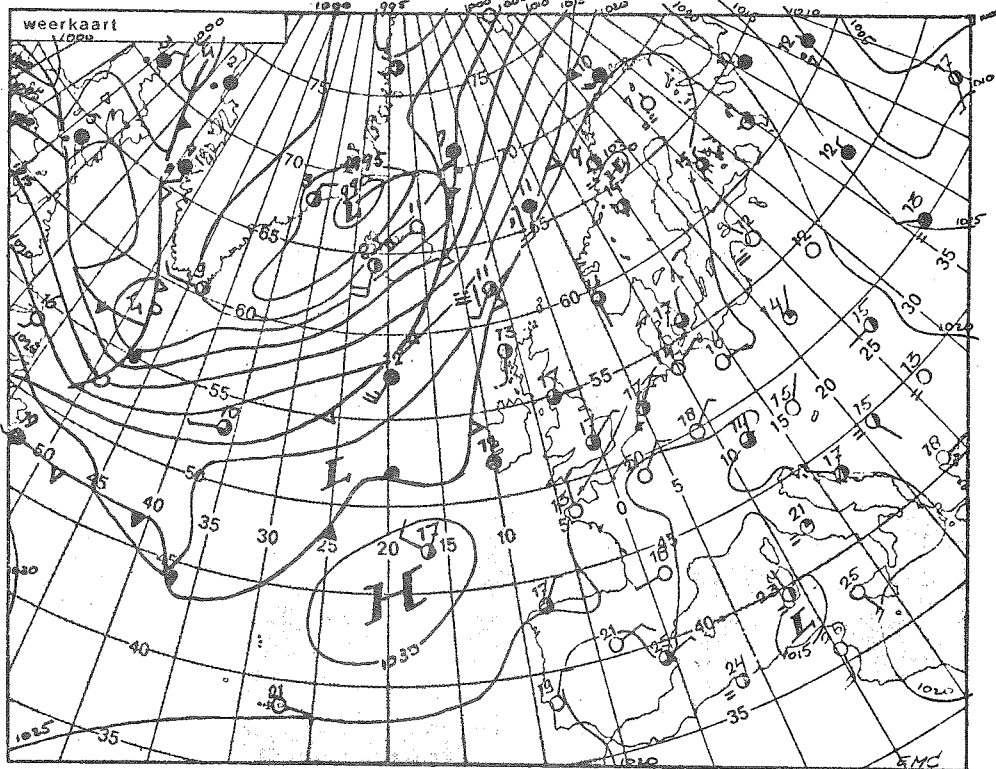
kaart 10

zon dag 22 augustus 1976 00<sup>00</sup> GMT



kaart 18 (HFa)

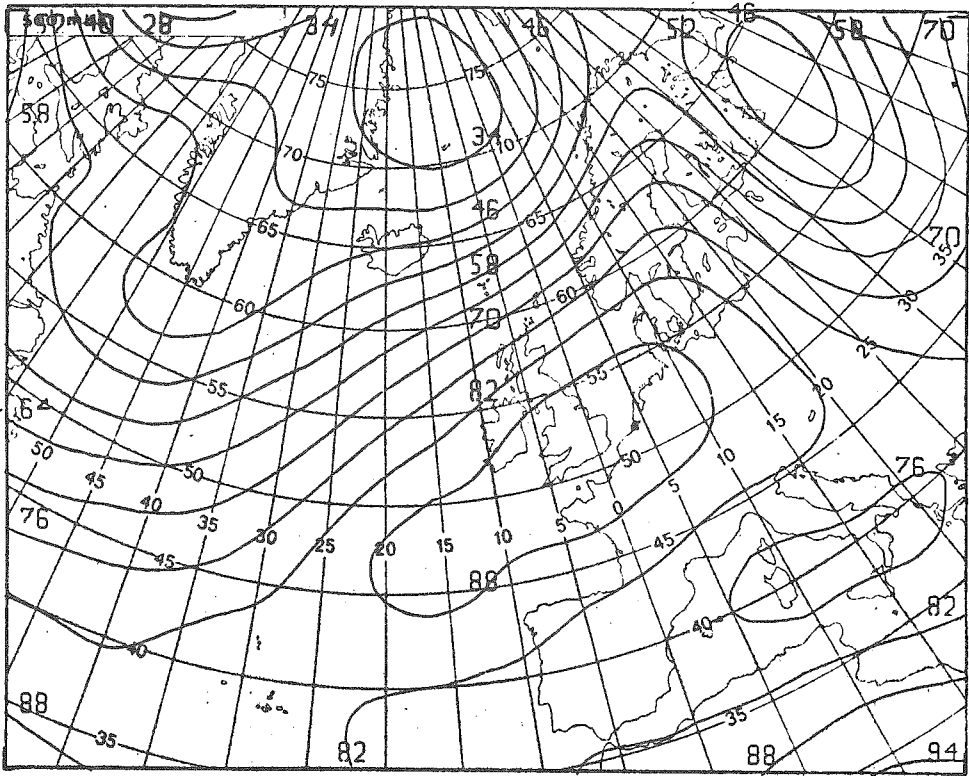
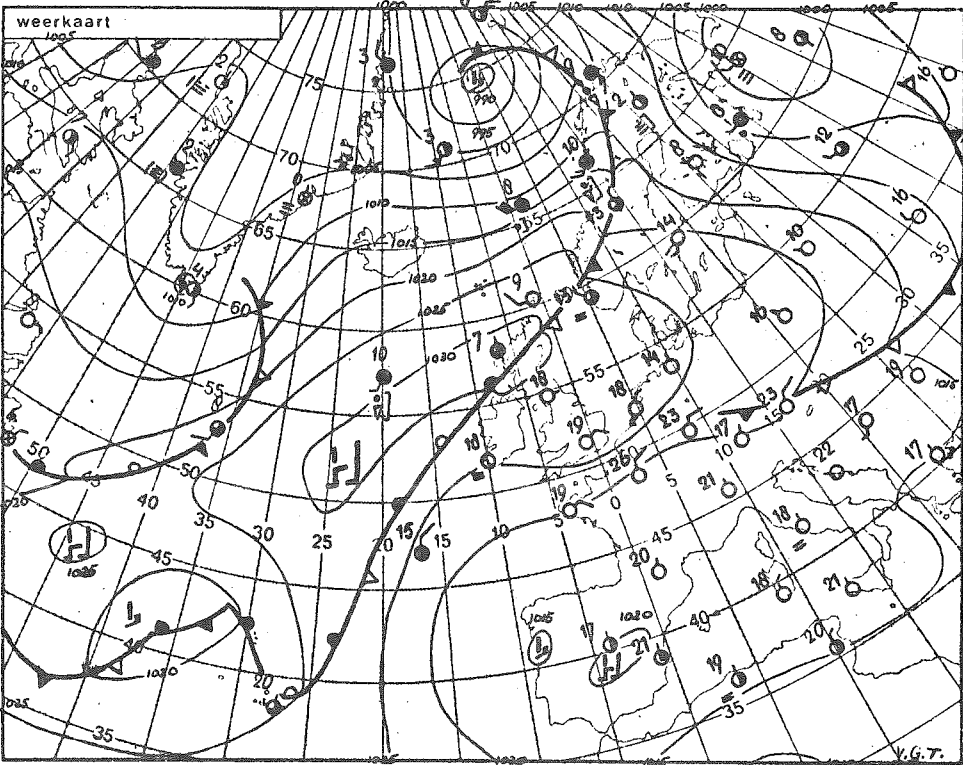
dinsdag 10 augustus 1976 00<sup>00</sup> GMT



stereografisch 1 : 50.10<sup>6</sup> op 60°

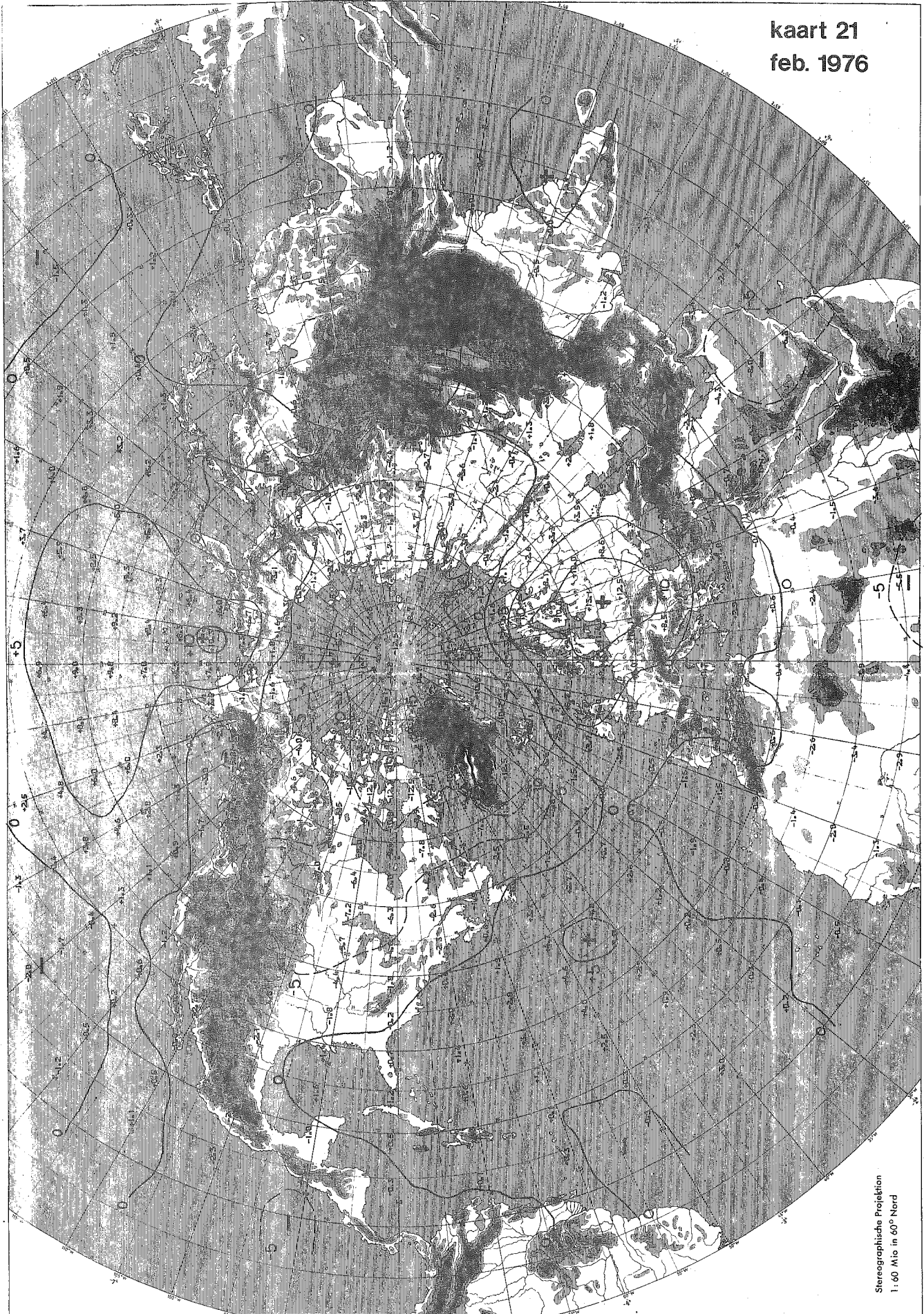
kaart 19 (NEa)

woens dag 30 juni 1976 00<sup>00</sup> GMT



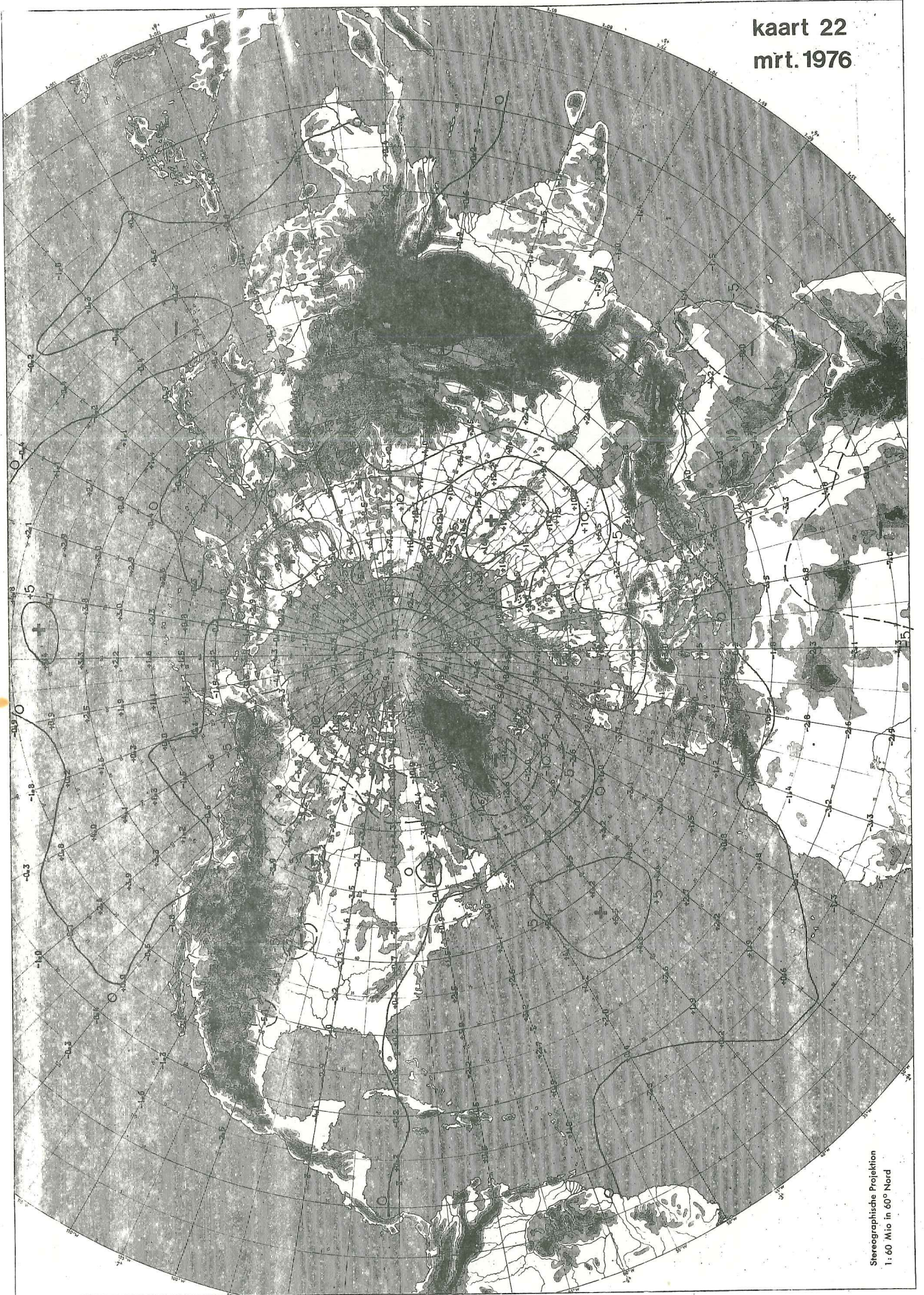
kaart 20 (BM)

kaart 21  
feb. 1976



Abweichungen der Monatsmittel des Luftdrucks im Meeresniveau vom Normalwert 1900 - 1939 (mb)

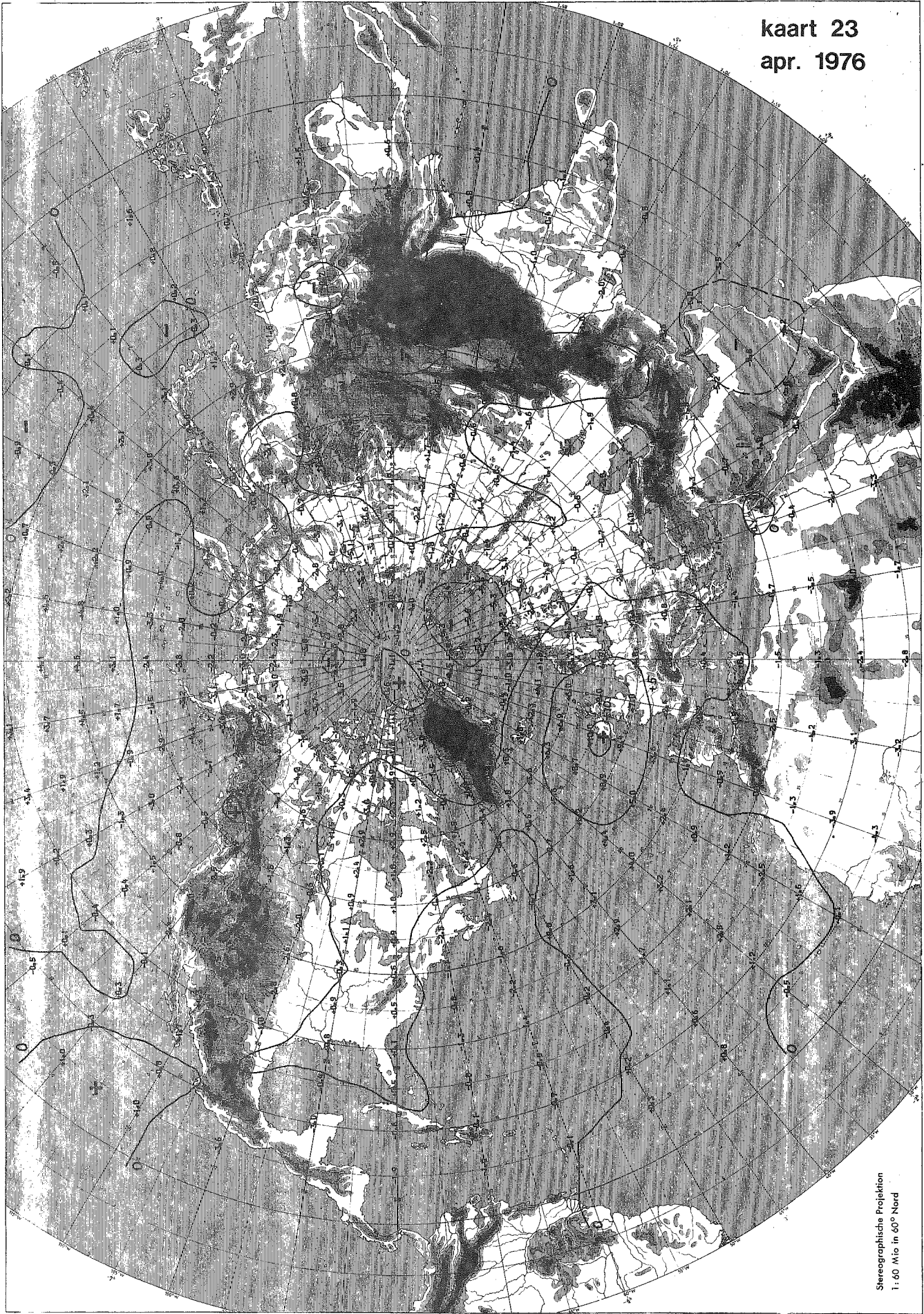
kaart 22  
mrt. 1976



Stereographische Projektion  
1: 60 Mio in 60° Nord

Abweichungen der Monatsmittel des Luftdrucks im Meeresniveau vom Normalwert 1900 - 1939 (mb)

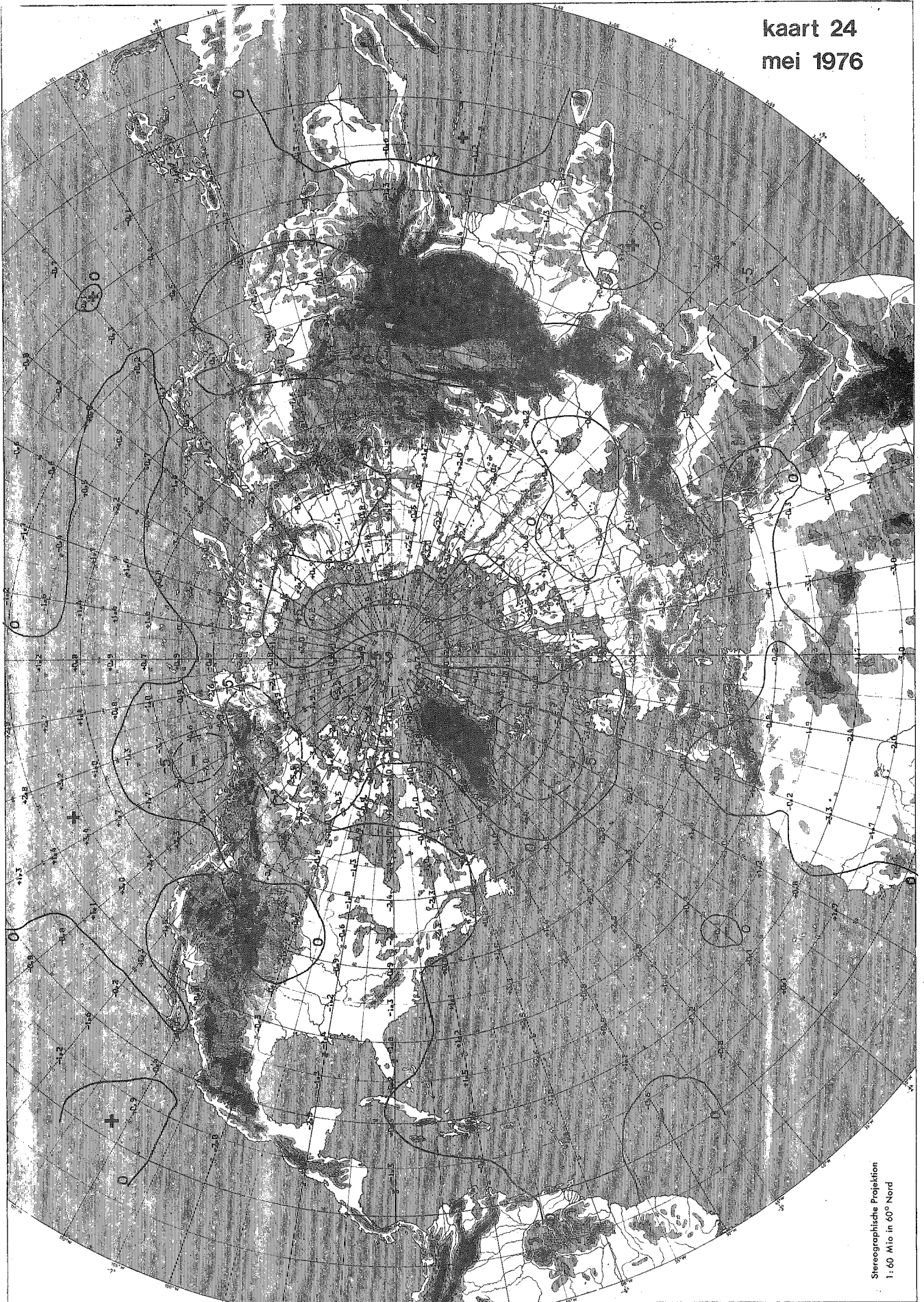
kaart 23  
apr. 1976



Stereographische Projektion  
1:60 Mio in 60° Nord

Abweichungen der Monatsmittel des Luftdrucks im Meeresniveau vom Normalwert 1900 - 1939 (mb)

kaart 24  
mei 1976

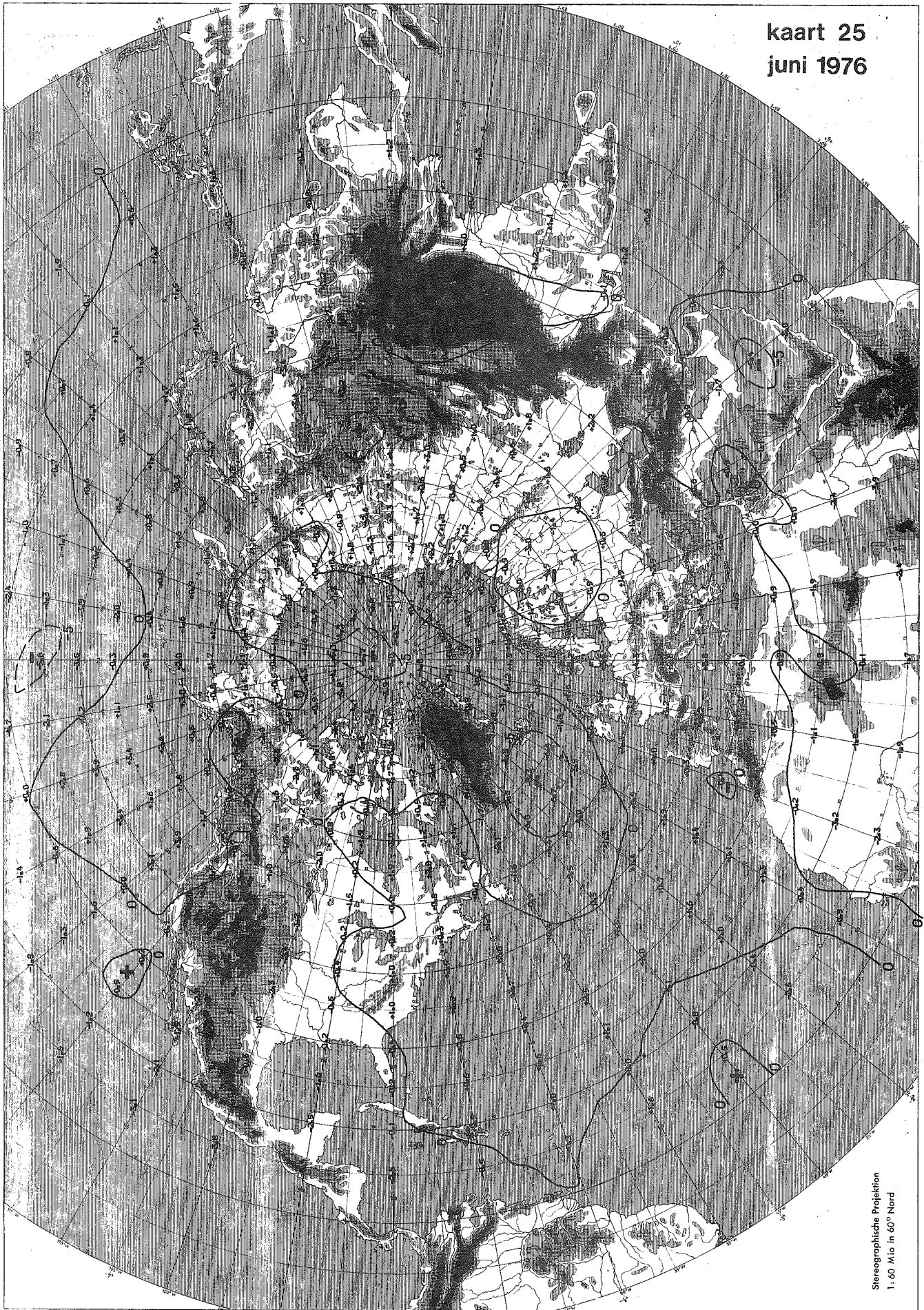


Stereographische Projektion  
1:60 Mio. in 60° Nord

Abweichungen der Monatsmittel des Luftdrucks im Meeresniveau vom Normalwert 1900 - 1939 (mb)



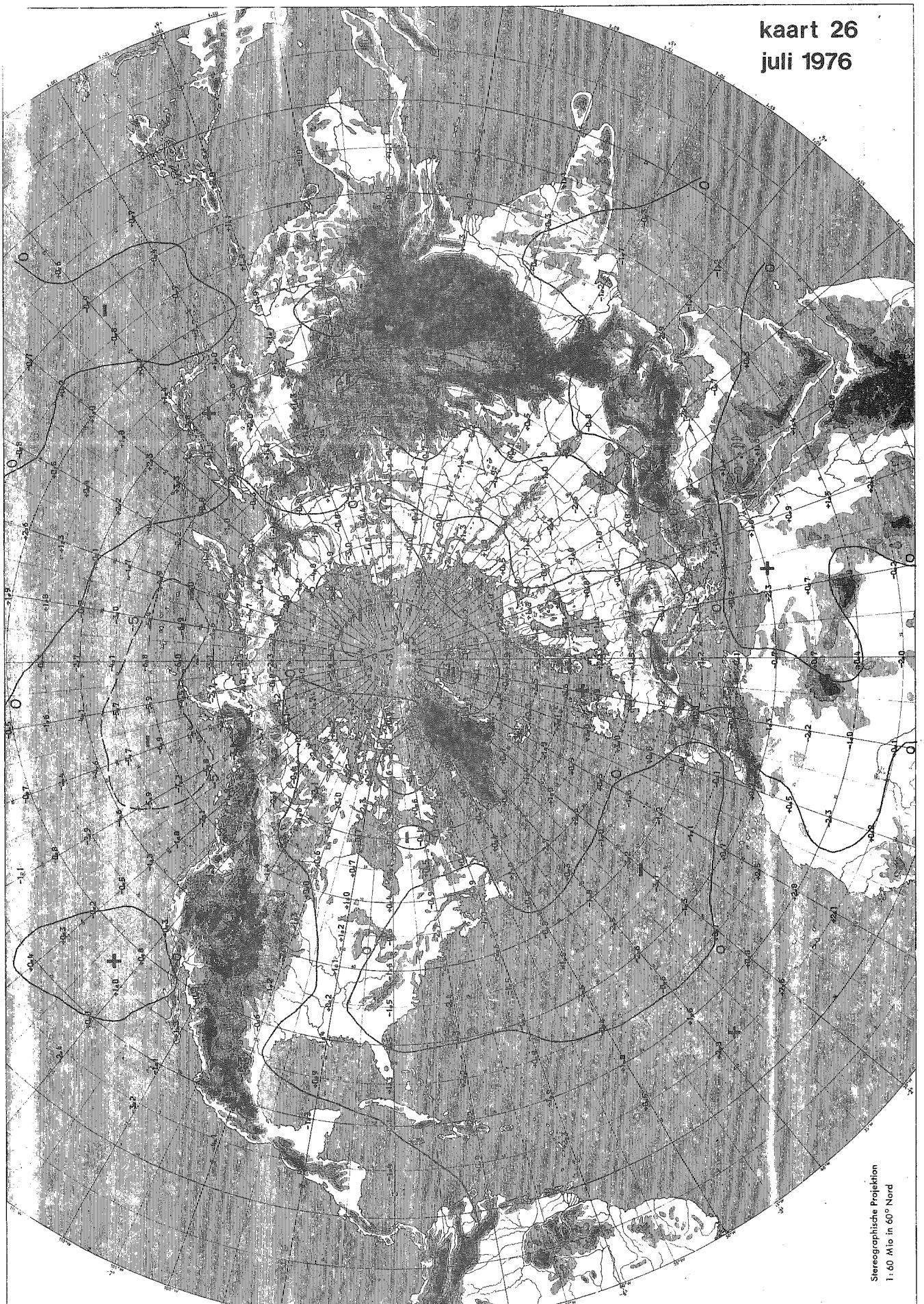
kaart 25  
juni 1976



Stereographische Projektion  
1:60 Mio in 60° Nord

Abweichungen der Monatsmittel des Luftdrucks im Meeresniveau vom Normalwert 1900 - 1939 (mb)

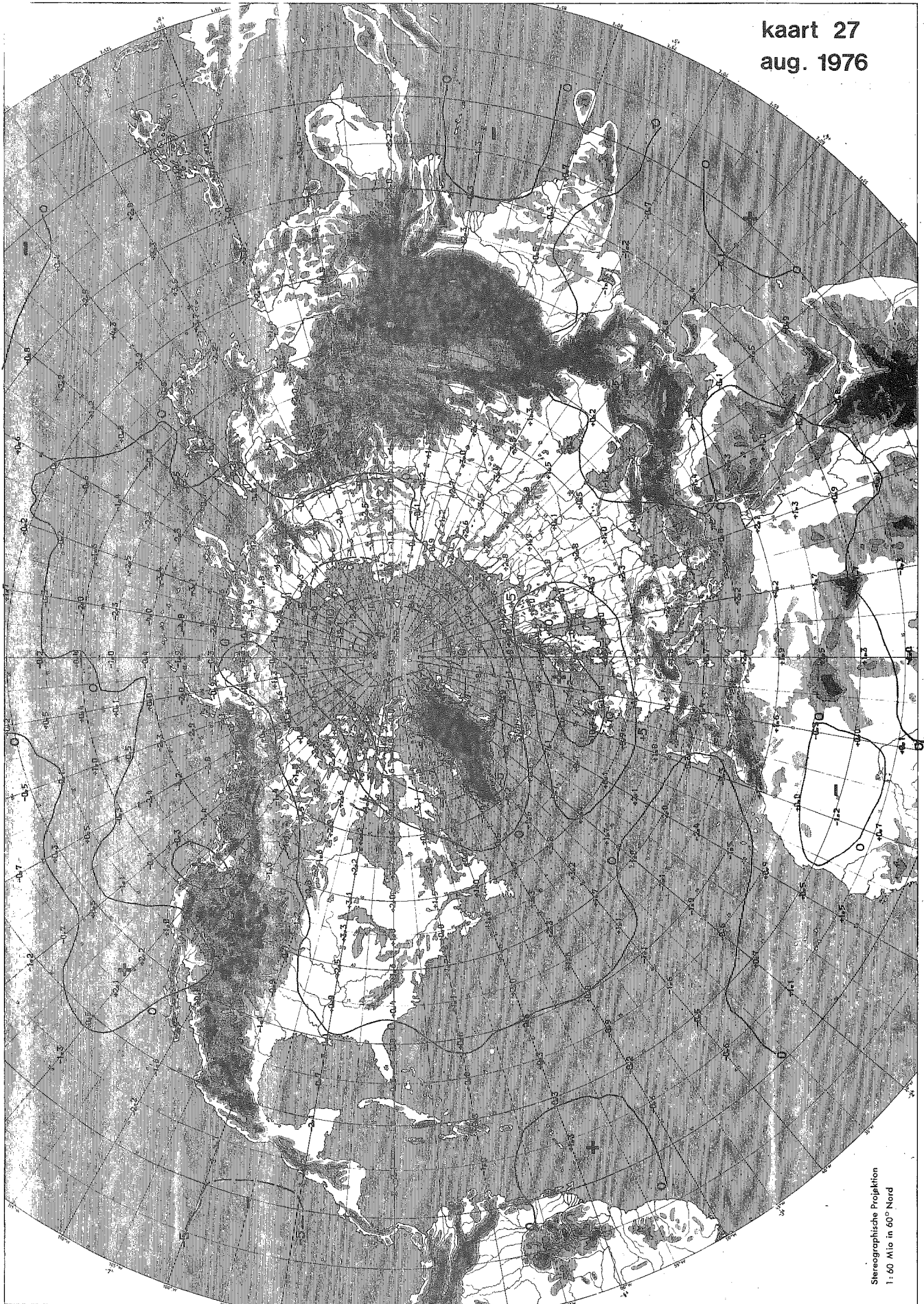
kaart 26  
juli 1976



Stereographische Projektion  
1:60 Mio in 60° Nord

Abweichungen der Monatsmittel des Luftdrucks im Meeresniveau vom Normalwert 1900 - 1939 (mb)

kaart 27  
aug. 1976



Stereographische Projektion  
1:60 Mio in 60° Nord

Abweichungen der Monatsmittel des Luftdrucks im Meeressniveau vom Normalwert 1900 - 1939 (mb)





