DE DROOGTE VAN 1976

Een samenvatting en overzicht van de over de droogte van 1976 verschenen literatuur

Ir. P.K.M. VAN DER HEIJDE

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO

Serie: RAPPORTEN EN NOTA'S no. 3.

Den Haag, augustus 1978

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO;

DE DROOGTE IN 1976

Een samenvatting en overzicht van de over de droogte van 1976 verschenen literatuur

ir. P.K.M. van der Heijde

Den Haag, augustus 1978
Postbus 297

De samenstelling van dit rapport is mogelijk gemaakt door de financiële steun van:

- Dienst Grondwaterverkenning TNO,
- Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
- Subcommissie voor Hydrogeologie van de Kon. Ned. Akademie van Wetenschappen.

Ir. P.K.M. van der Heijde is voor het schrijven van dit rapport beschikbaar gesteld door de Dienst Grondwaterverkenning TNO.

INHOUD Pagina

VOORWOORD 1

1. INLEIDING 3

2. METEOROLOGISCHE ASPECTEN 6

2.1. Inleiding 6

2.2. De luchtcirculatie boven Europa 8

2.3. Het weer in Nederland 10

2.3.1. Neerslagcijfers 10

2.3.2. Frequentie-analyse van de neerslag 12

2.3.3. Neerslag en verdamping 16

2.3.4. Frequentie-analyse van de neerslag minus de potentiële verdamping en vergelijking met andere droge jaren 21

2.3.5. Luchtvochtigheid en temperatuur 22

2.4. Het weer elders in Europa 24

3. AFVOERREGIME EN WATERKWALITEIT VAN DE GRENS-OVERSCHRIJDENDE RIVIEREN 27

3.1. De Rijn 27

3.1.1. Afvoerverloop 27

3.1.2. Waterkwaliteit 33

3.2. De Maas 37

3.2.1. Afvoerverloop 37

3.2.2. Waterkwaliteit 42

4. GRONDWATER 45

4.1. De grondwaterstanden in 1976, vergeleken met voorafgaande jaren 45

4.2. Statistische analyse van het stijghoogteverloop en de relatie grondwaterstand-neerslag 50

Pagina

5. WATERBEHOEFTE EN WATERVERDELING 57

5.1. Waterbehoefte in Nederland 57

5.1.1. Inleiding 57

5.1.2. Bevolkings- en industriële verbruiken 57

5.1.3. Bestrijding van verzilting van polders en boezems 59

5.1.4. Suppletiewater voor de landbouw 62

5.1.5. Scheepvaart 63

5.1.6. Koelwater 64

5.1.7. Natuurbeheer 64

5.1.8. Recreatie 65

5.2. Waterverdeling 65

6. HET WATERHUISHOUDKUNDIG SYSTEEM IN 1976 73

6.1. Het hoofdsysteem 73

6.1.1. Inleiding 73

6.1.2. De waterverdeling binnen het hoofdsysteem 75

6.1.3. De situatie in 1976 77

6.2. Enige facetten van de droogte in 1976 met betrekking tot het IJsselmeer, het Markermeer, de Randmeren en de meren in het deltagebied 80

6.3. Aspecten van de regionale waterhuishouding 82

6.3.1. De lage delen van Nederland 82

6.3.2. De hoge gronden in Nederland 85

7. DE GEVOLGEN VAN DE DROOGTE IN 1976 89

7.1. De landbouw 89

7.2. De natuur 95

7.3. De drinkwatervoorziening 96

7.4. De scheepvaart 98

7.5. De koelwatervoorziening 99

Pagina

8. WAT HEEFT DE DROOGTE VAN 1976 ONS GELEERD? 100

9. SAMENVATTING 105

10. LITERATUURVERWIJZING 108

11. OVERZICHT VAN DE TOT MEI 1978 VERSCHENEN PUBLIKATIES OVER DE DROOGTE VAN 1976 110

VOORWOORD

De in 1976 opgetreden droogte heeft vele waterbeheerders en onderzoekers op het gebied van de waterhuishouding opnieuw aan het denken gezet. Overduidelijk bleek in dat jaar immers dat onze watervoorziening in een dergelijk jaar onvoldoende is om aan alle gestelde behoeften te voldoen, waardoor zich problemen voordoen met betrekking tot de aanvoer en verdeling van het beschikbare water. Alvorens men echter kan beoordelen of en op welke wijze het waterbeheersysteem moet worden aangepast aan dergelijke situaties, zal men allereerst de beschikking moeten hebben over de informatie omtrent de actuele toestand ten aanzien van de optredende waterbehoeften, de beschikbare waterhoeveelheden en de kwaliteit ervan en de transportmogelijkheden.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat niet alleen vele rijks- en provinciale diensten, maar ook waterschappen besloten rapporten samen te stellen over de situatie in hun betreffende beheersgebied. Ook diverse onderzoekinstituten en gegevens beherende instanties als het KNMI en de Dienst Grondwaterverkenning TNO (DGV) kwamen met uitgebreide rapporten.

Op initiatief van het Klein Comité van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO (CHO) werd in september 1976 een bijeenkomst belegd van vertegenwoordigers van de meest betrokken diensten. Deze bijeenkomst had tot doel elkaar te informeren over de gegevens die werden verzameld en over de studies die gaande waren. Deze informatie-bijeenkomst heeft ongetwijfeld een positief effect gehad. Toen later de behoefte werd gevoeld om van de inmiddels verschenen rapporten een compilatie samen te stellen, lag het voor de hand genoemde gespreksgroep opnieuw bijeen te roepen. In dit tweede gesprek kwam duidelijk naar voren dat er niet zozeer behoefte was aan een lijvig rapport, waarin een volledige beschrijving van de totale droogteproblematiek was te vinden, maar wel aan een overzicht met de voornaamste resultaten en aan een zo volledig mogelijke lijst van alle verschenen rapporten, inclusief die van diensten en instellingen die niet aan het bovengenoemde overleg deelnamen.

Dank zij de financiële steun van Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, de Dienst Grondwaterverkenning TNO, de Subcommissie voor Hydrogeologie van de Koninklijke Academie van Wetenschappen en de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, kwamen voldoende financiële middelen ter beschikking voor een dergelijke publikatie. De Dienst Grondwaterverkenning TNO stelde Ir. P.K.M. van der Heijde ter beschikking

voor het verzamelen van het benodigde basismateriaal en de opstelling van het rapport.

De ondergetekenden, die fungeerden als een soort redactieraad, willen in de eerste plaats Ir. P.K.M. van der Heijde dank zeggen voor de grote inzet waarmee hij dit rapport heeft samengesteld. Verder danken zij al diegenen, die op een of andere wijze hebben bijgedragen in de vorm van het bereidwillig beschikbaar stellen van het materiaal.

Ir. H.J. Colenbrander

Ir. J. van Houte

Dr. Ir. J. Wesseling

1. INLEIDING

Het droge jaar 1976 is in vele opzichten zeer uitzonderlijk geweest. Vele maanden is de neerslag aanzienlijk beneden normaal gebleven. De temperaturen waren vooral in de zomer aan de hoge kant. Niet alleen in Nederland was 1976 een bijzonder droog jaar, ook in de omringende landen viel er weinig neerslag en trad er door de hoge temperaturen een grote verdamping op. Deze omstandigheden hebben er toe bijgedragen dat de grensoverschrijdende rivieren, vooral in de zomermaanden, een sterk verminderde afvoer te zien gaven.

Door de bijzondere weersgesteldheid was de waterbehoefte in een aantal sectoren groter dan normaal. Deze wordt behalve uit de neerslag normaal gedekt door de aanvoer, voornamelijk via de grote rivieren en door benutting van voorraden uit spaarbekkens en de grondwaterberging. Met name de geringe aanvoer via de grote rivieren veroorzaakte in 1976 problemen en noopte tot een zorgvuldige waterverdeling. De beheersinstanties waren dan ook genoodzaakt de situatie voortdurend te volgen om snel en adequaat te kunnen ingrijpen wanneer daartoe aanleiding was. Deze instanties hebben uitgebreid gerapporteerd over een aantal van de opgetreden hydrologische verschijnselen en de genomen maatregelen ten aanzien van de waterverdeling. Daartoe zijn rapporten verschenen over onderzoeken, die ingaan op bepaalde aspecten van de droogte in 1976, zoals de weersgesteldheid, het verloop van de grondwaterstanden en de gevolgen voor de landbouw en het natuurbeheer.

De bedoeling van dit verslag is te komen tot een korte samenvatting van de tot het voorjaar van 1978 verschenen bijdragen, die de droogte van 1976 tot onderwerp hebben. Daarbij ligt de nadruk op de hydrologische aspecten van deze droogte. Er zal niet ingegaan worden op aspecten betreffende het gevoerde beleid inzake de droogteproblematiek. Daarnaast is een zo volledig mogelijk overzicht van de verschenen rapporten samengesteld (hoofdstuk 11).

Een en ander kan onder meer dienen als uitganspunt voor het vaststellen van eventueel nader onderzoek van bepaalde, nog niet voldoende belichte onderwerpen, die met een droogteperiode in verband staan.

Bij beschouwingen over droogte en droogteperioden dienen allereerst deze begrippen nader gedefinieerd te worden. Echter een omschrij-

ving van droogte en droogteperioden hangt samen met de aspecten of belangen die men daarbij in ogenschouw neemt.

Daarnaast is er het probleem van de kwantitatieve begrenzing van de grootheden, die bij een droogteperiode bepalend zijn. Ten aanzien van vele van deze grootheden is 1976 zo uitzonderlijk geweest, dat men geen moeite heeft om dat jaar als zeer droog te kwalificeren. Moeilijker is het om het begin en het einde van de droogteperiode vast te stellen. Ook hier is de beoordeling afhankelijk van het aspect of belang dat bekeken wordt.

Bezien we de weersgesteldheid, dan zijn bij het optreden van droogte de neerslag en de verdamping de kenmerkende factoren. De droogte wordt in dit geval bepaald door de mate waarin de neerslag beneden normaal of waarin het verschil tussen verdamping en neerslag groter dan normaal is. Wordt naar de rivierafvoeren gekeken, dan spreekt men van een droogteperiode als de afvoer een aantal opeenvolgende maanden beneden de maandnormaal blijft, terwijl in het kader van de waterhuishouding de droogte gekenschetst wordt door het verschil tussen vraag en aanbod. In een aantal sectoren wordt de ernst van de droogte bepaald door de gevolgen ervan; dit geldt bijvoorbeeld voor de grondwaterwinning en voor de landbouw. In de meeste gebieden daalt 's zomers de grondwaterstand. De aanvulling van de wateronttrekking aan de onverzadigde zone vanuit het grondwater en het afstromen van grondwater naar de waterlopen wordt niet gecompenseerd door voeding vanuit de neerslag. In de winter overtreft de neerslag de verdamping en wordt het grondwater aangevuld. De droogte kan zich nu bij het grondwater manifesteren door sterk dalende grondwaterstanden in de zomer en door een onvolledig herstel van de niveaus in de winter. Ook in de landbouw wordt de droogte in belangrijke mate bepaald door neerslag en verdamping. Daarbij is vooral het opgetreden vochttekort een maat voor de ernst van de droogte. De in het groeiseizoen gevallen neerslag, de aanwezige bodemvochtvoorraad en de mogelijkheid tot kunstmatige watertoediening bepalen de mate waarin aan de waterbehoefte van het gewas kan worden voorzien. De waterbehoefte wordt grotendeels veroorzaakt door de gewasverdamping.

Een ander facet van de droogte wordt gevormd door de teruggang van de waterkwaliteit in een aantal gebieden. Deels wordt dit veroorzaakt door de beperkte wateraanvoer, zoals bij de verzilting van waterlopen, deels is het een gevolg van hoge temperaturen en de afname van het zuurstofgehalte.

Daarnaast heeft de droogte nog gevolgen gehad in een aantal andere sectoren. De scheepvaart werd geconfronteerd met diepgang- en vaarbeperkingen. In het kader van de drinkwatervoorziening moesten er enige bijzondere maatregelen genomen worden. Daarbij kon niet altijd worden voorkomen dat er enige achteruitgang in de waterkwaliteit van het afgeleverde water optrad. Ook het natuurbeheer had te kampen met een aantal bijzondere problemen, hetgeen naast het tekort aan neerslag en de grote verdamping, werd veroorzaakt door de hoge temperaturen, de sterk gedaalde grondwaterstanden en de achteruitgang van de waterkwaliteit.

In de volgende hoofdstukken zullen deze aspecten nader worden belicht. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen het natuurgebeuren en de gevolgen voor de verschillende watergebonden belangen. De beschreven droogte aspecten en de in deze bijdrage gebruikte gegevens zijn ontleend aan diverse in hoofdstuk 10 opgenomen rapporten. Voor de onderliggende samenvatting van de droogte is geen eigen onderzoek verricht.

2. METEOROLOGISCHE ASPECTEN

2.1. INLEIDING

Het jaar 1976 moet worden gekenschetst als een uitzonderlijk droog jaar. Zowel in Nederland als in de omringende landen is de neerslag ver beneden normaal gebleven (tabel 1). In feite is de droogteperiode al in 1975 begonnen. Op een enkele uitzondering na zijn vanaf mei 1975 tot december 1976 de geregistreerde neerslagmaandsommen beneden normaal gebleven. Vooral in de periode april tot en met augustus 1976 waren de neerslagcijfers extreem laag. (tabel 2).

plaats	neerslag in %	plaats	neerslag in %
Edinburgh	71	Stockholm	65
Londen	60	Kopenhagen	67
Cherbourg	57	Berlijn	83
Brest	68	Warschau	77
Parijs	76	Praag	91
Toulouse	76	Wenen	96
München	93	De Bilt	67
Oslo	67		

Tabel 1: Neerslag in de periode mei 1975 - augustus 1976, uitgedrukt als percentage van het langjarig gemiddelde voor een aantal Europese weerstations. (1, 2) ¥

Het neerslagpatroon in Europa is in deze periode niet steeds hetzelfde geweest. Dit hing samen met de grote luchtcirculatieveranderingen die zich hebben voorgedaan. Deze waren van dien aard, dat een relatief klein gebied rond Nederland continu verstoken bleef van grote hoeveelheden neerslag. Dit betrof een oppervlakte van circa 1000 x 1000 km waarvan behalve Nederland, ook Denemarken, Zuidoost-Engeland, West-België, West-Duitsland en Noordwest-Frankrijk deel uitmaakten.

¥ De cijfers tussen haken hebben betrekking op de in hoofdstuk 10 vermelde literatuur.

maand	1974			1975			1976			1977		
	M	N	%	M	N	%	M	N	%	M	N	%
jan.	62	65	95	84	65	129	98	65	151	70	65	108
febr.	42	49	86	26	49	53	22	49	45	78	49	159
mrt.	48	42	114	77	42	183	30	42	71	38	42	90
apr.	11	45	24	60	45	133	7	45	16	60	45	133
mei	41	49	84	35	49	71	34	49	69	50	49	102
juni	55	54	102	59	54	109	31	54	57	56	54	104
juli	90	77	117	63	77	82	37	77	48	48	77	62
aug.	65	82	79	47	82	57	24	82	29	108	82	132
sept.	125	72	174	75	72	104	72	72	100	13	72	18
okt.	134	73	184	24	73	33	41	73	56	48	73	66
nov.	105	72	146	97	72	135	55	72	76	161	72	224
dec.	107	62	173	33	62	53	84	62	135	51	62	82
jaar-totaal	885	742	119	680	742	92	535	742	72	781	742	105

M = waargenomen neerslag

N = maandgemiddelde 1931-1960

De waargenomen neerslag is als percentage t.o.v. de maandnormaal N gegeven.

Tabel 2: Vergelijking van de opgetreden maandgemiddelde neerslag met de normaalgemiddelde neerslag, gemiddeld over het hele land in mm (2).

De potentiële verdamping was in de zomermaanden van 1976 groter dan normaal. Dit leidde met de geringe neerslag tot grote waarden voor het neerslagtekort in de zomer.

Door het KNMI is een rapport uitgebracht met betrekking tot de droogte van 1976 in Nederland (3). Hierin wordt naast een karakterisering van de aspecten, die met de droogte samenhangen, vergelijkingen gemaakt met de langjarig gemiddelden en met andere droge jaren. In dit hoofdstuk zullen een aantal punten uit het KNMI rapport weergegeven worden. Daarnaast zijn aanvullende gegevens ontleend aan de maandelijkse weeroverzichten van het KNMI (2).

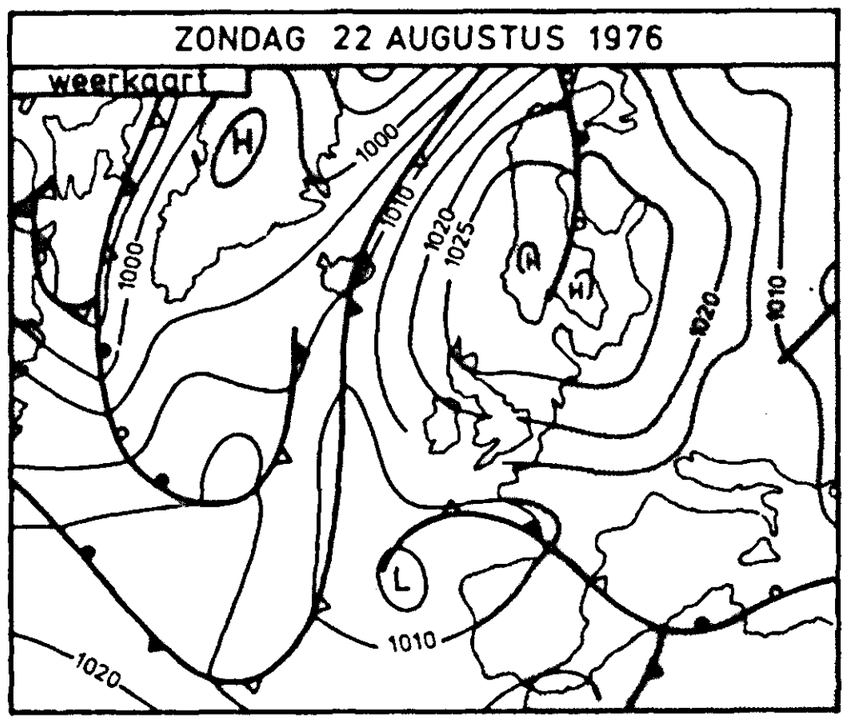
2.2. DE LUCHTCIRCULATIE BOVEN EUROPA

Uitzonderlijke weersomstandigheden hangen in ons land steeds samen met een duidelijk van normaal afwijkende luchtcirculatietoestand. Dit was ook in het droge jaar 1976 het geval. De circulatietoestand wordt gekenmerkt door de aard en de ligging van de grote schaal circulatiesystemen, de hoge- en lagedrukgebieden.

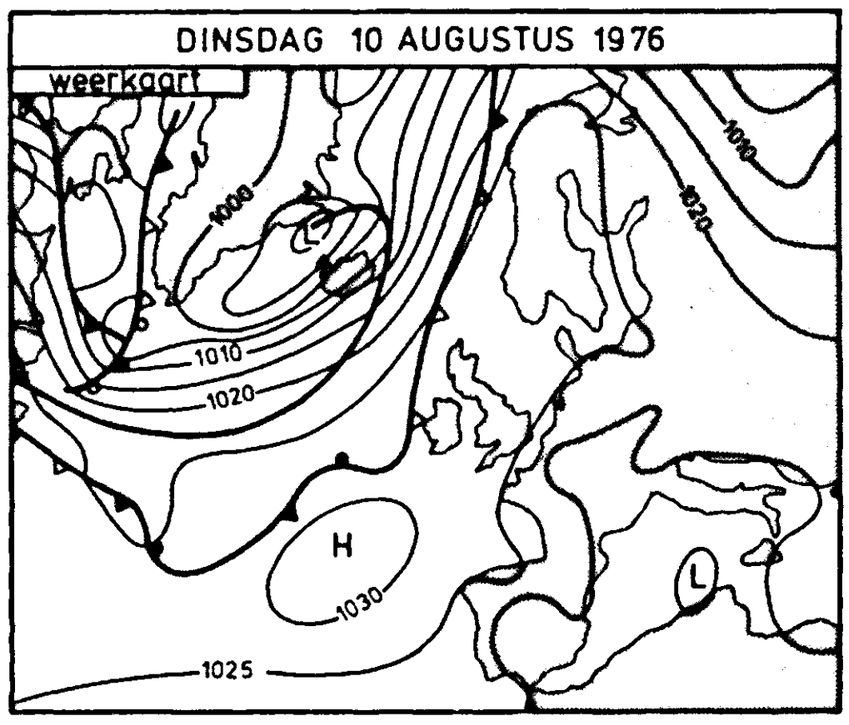
Daarbij onderscheidt men een aantal circulatietypen (de zogenaamde Grosswetterlagen), voornamelijk gebaseerd op de ligging van het "sturende" hogedrukgebied. De luchtcirculatie boven Europa heeft in 1976 van maand tot maand tamelijk grote veranderingen te zien gegeven. Vooral de typen met een hogedrukgebied boven Scandinavië (HFa), het type waarbij de hoge druk zich uitstrekt van de Azoren tot Scandinavië (NEa) en het type met een zone van hoge druk van Engeland naar Duitsland (BM) kwamen veel voor (figuur 1 t/m 3). Doorgaans zijn dergelijke blokkerende hogedrukgebieden vooral in het voorjaar aanwezig en neemt de kans op het optreden van een dergelijke toestand naar de zomer toe af. Daarbij komt de west-circulatie op gang, die vochtige lucht van maritieme oorsprong aanvoert. In de zomer van 1976 is deze west-circulatie echter achterwege gebleven.
Een luchtcirculatiepatroon, zoals dat in 1976 is voorgekomen, heeft niet zonder meer een droogteperiode tot gevolg. Zo vertoont de luchtcirculatie in het eveneens droge jaar 1911 grote overeenkomst met 1976, doch jaren waarbij deze analogie iets minder duidelijk is, blijken soms natte zomers te hebben gekend (1951, 1954 en 1968). Omgekeerd is het echter ook zo, dat meerdere circulatietypen tot droogte aanleiding kunnen geven. Een duidelijk voorbeeld daarvan was 1959, een jaar dat met betrekking tot de luchtcirculatie duidelijk afwijkt van 1976.

De vraag naar de oorzaken van het ontstaan van dergelijke uitzonderlijke circulatietoestanden is nog niet afdoende beantwoord. Een van het normale circulatiepatroon op het gehele noordelijk halfrond afwijkende situatie is in 1976 niet gevonden. Wel is een opvallende verschuiving van de met de zeewatertemperatuur samenhangende ijsgrens in noordelijke richting waargenomen. Dit is gepaard gegaan met een verplaatsing van de westenwindgordel in de zomermaanden van West-Europa naar het gebied tussen Schotland en IJsland.

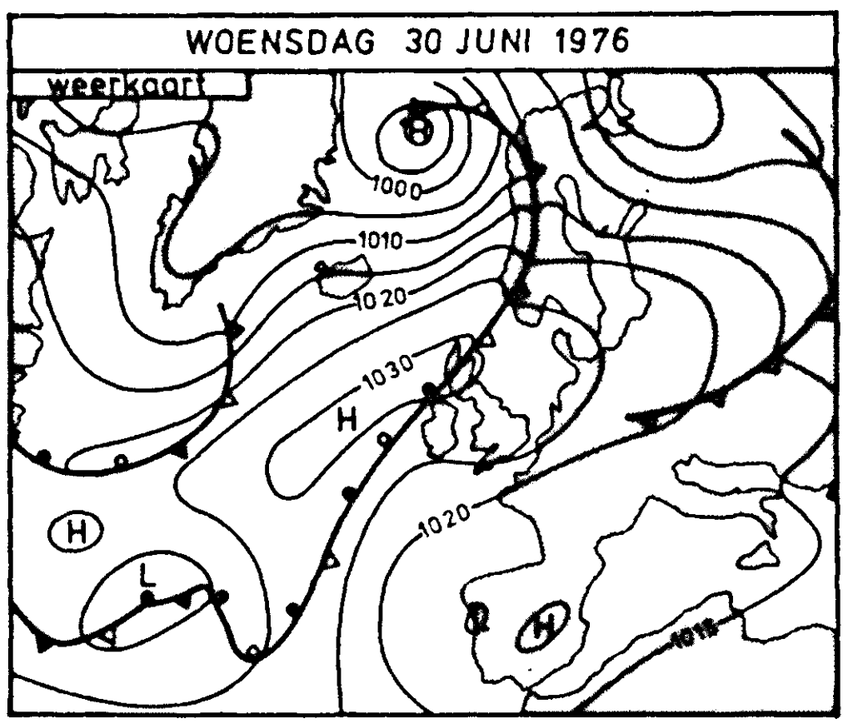
Het is niet ondenkbaar dat de droogte, wanneer deze langdurig is, invloed uitoefent op de luchtcirculatie en aldus persistentie van de droogte veroorzaakt.



Figuur 1



Figuur 2

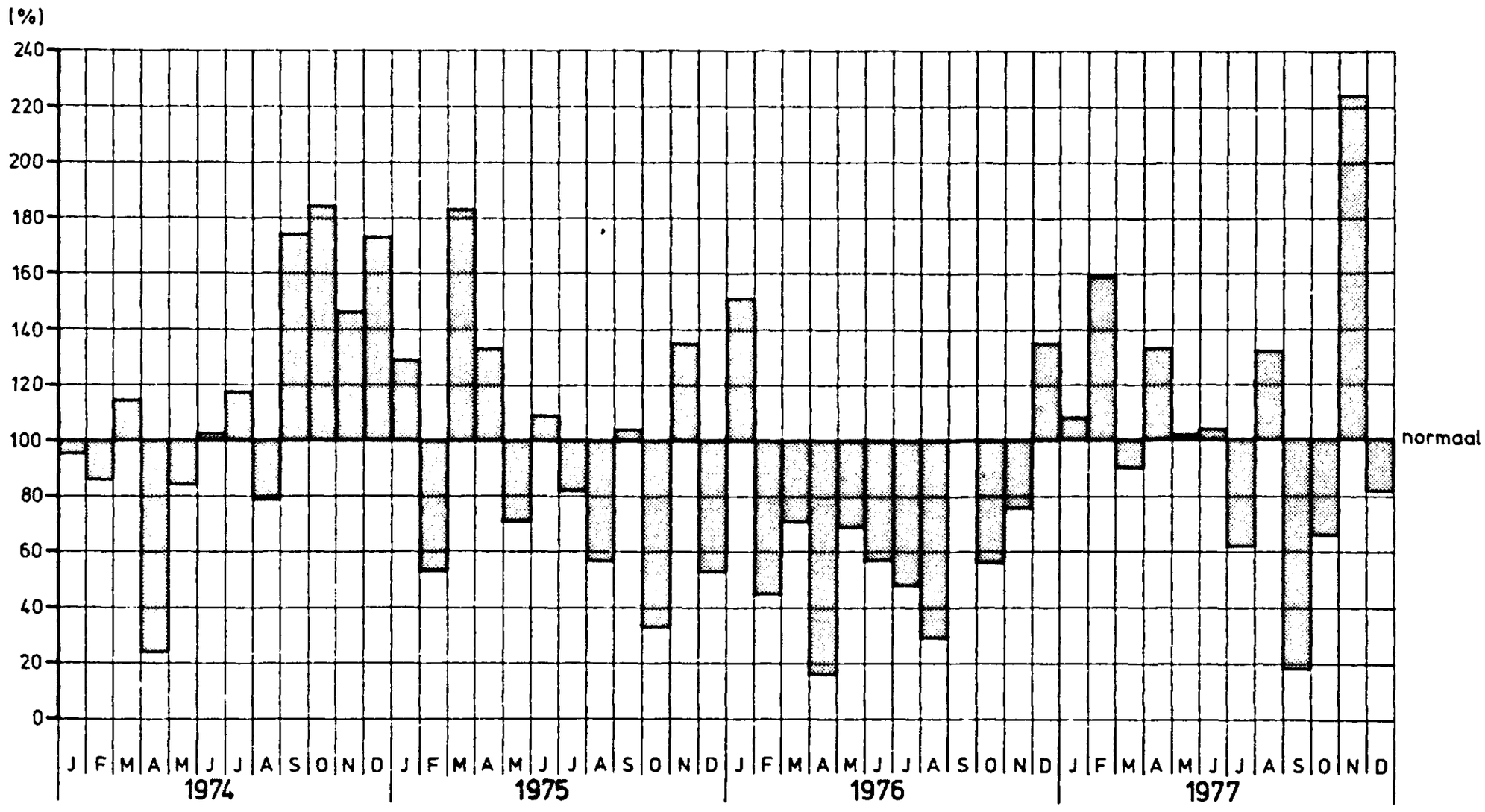


Figuur 3

Fig. 1. Circulatietype HFa met een hogedrukgebied boven Scandinavië (lit. 3)

Fig. 2. Circulatietype NEa met een hogedrukgebied van de Azoren tot Scandinavië (lit. 3)

Fig. 3. Circulatietype BM met een zone van hogedruk boven West- en Midden Europa (lit. 3)



Figuur 4: Gebiedsgemiddelde neerslag Nederland; afwijking van normaal (1930 - 1960) in procenten (2).

2.3. HET WEER IN NEDERLAND

2.3.1. NEERSLAGCIJFERS

Gemiddeld over heel Nederland viel er in 1976 slechts 535 mm neerslag tegen 742 normaal. In feite is de periode met relatief geringe neerslaghoeveelheden al in 1975 begonnen. Met uitzondering van de maanden november 1975 en januari 1976, die duidelijk te nat waren, zijn vanaf mei 1975 maandelijks de neerslaghoeveelheden beneden normaal gebleven. Vooral april 1976 is bijzonder droog geweest. De neerslaghoeveelheid bedroeg toen slechts 16% van het normale maandcijfer. Pas in december 1976 is er voor het eerst weer sprake van een duidelijk neerslagoverschot ten opzichte van het maandgemiddelde (figuur 4 en tabel 2).

neerslag-karakter	droog (< 0,3 mm)	matig (0,3 t/m 4,9 mm)	veel (> 5 mm)
1976	139 (76%)	36 (20%)	8 (4%)
normaal	102 (56%)	57 (31%)	24 (13%)
183 dagen = 100%			

Tabel 3: De verdeling van de dagsommen neerslag te De Bilt voor de periode 1 maart t/m 31 augustus 1976 (3).

De droogteperiode van 1976 telde niet alleen veel droge dagen, doch ook op de dagen dat er wel neerslag viel, waren de hoeveelheden doorgaans klein (tabel 3). Passerende fronten brachten slechts weinig neerslag en ook zware zomerse buien bleven uit.

Voor verschillende hoofdstations in Nederland is in tabel 4 de neerslag in 1975 en 1976 tezamen met de maandnormaal opgenomen. Daarnaast is in figuur 5 de neerslag per KNMI-district weergegeven. Bezien we nu de verdeling van de neerslag binnen Nederland, dan blijkt dat er in de periode maart t/m augustus 1976 in de kustprovincies zowel relatief als absoluut de minste hoeveelheid neerslag is gevallen. Daarbij kwam Zeeland er het slechtst af; er viel over deze periode bijna 60% te weinig neerslag vergeleken met normaal. Het minst ongunstig was de neerslagsituatie in zuidelijk Drenthe en Overijssel. De hier geregistreerde neerslag bedroeg 54% van de normale hoeveelheid.

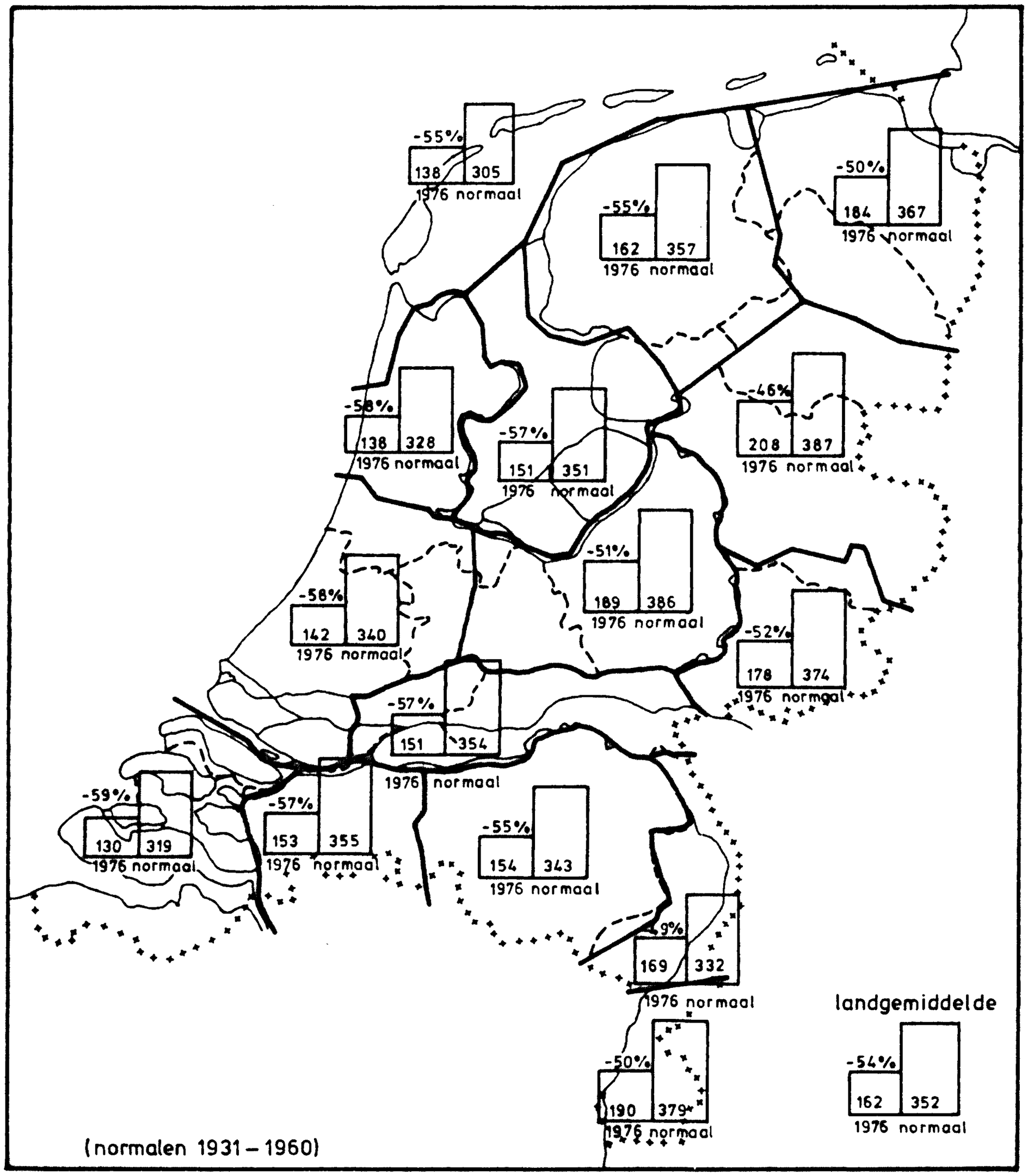


Fig. 5: Neerslag per distrikt in de maanden maart t/m augustus 1976 in mm (3).

maand	Eelde			Den Helder[2]			De Bilt			Vlissingen			Beek		
	M		N[1] 1931-1960	M		N 1931-1960	M		N 1931-1960	M		N 1931-1960	M		N[1] 1931-1960
	1975	1976		1975	1976		1975	1976		1975	1976		1975	1976	
jan.	88,6	123,2	66,8	98,3	105,0	64,2	82,8	107,9	68,0	82,0	56,3	61,9	52,4	87,2	62,4
febr.	25,9	30,5	49,1	25,5	20,2	46,2	23,0	17,1	52,2	30,6	21,8	44,8	25,7	30,5	50,4
mrt.	48,2	23,8	40,8	62,3	20,2	38,6	72,4	36,8	44,6	93,3	35,9	39,1	92,7	25,0	43,3
apr.	76,0	4,4	48,4	59,9	3,6	40,0	61,7	9,8	48,8	57,3	10,2	41,9	60,8	18,0	50,4
mei	51,5	44,8	52,6	19,8	18,8	38,4	34,3	25,0	51,5	23,4	17,5	44,1	18,1	32,1	56,1
juni	40,2	41,6	56,4	54,9	17,7	37,4	85,5	52,8	58,0	50,6	22,8	48,9	57,3	23,3	64,3
juli	96,0	41,0	90,8	33,5	44,6	63,9	24,8	43,4	76,8	50,7	70,0	69,4	108,3	60,0	67,3
aug.	20,0	19,0	87,0	27,7	29,9	71,3	41,6	16,4	88,0	132,5	17,8	66,1	61,0	18,3	80,5
sept.	67,9	49,0	73,2	120,2	78,4	74,6	65,0	63,6	71,2	71,0	79,2	72,8	45,5	95,9	65,0
okt.	28,4	31,1	73,8	28,6	54,9	89,6	12,7	43,3	72,2	16,1	45,3	70,2	11,0	38,6	56,7
nov.	84,5	49,5	73,2	156,1	61,6	82,6	97,2	38,7	70,0	115,7	57,9	75,2	92,1	82,8	60,2
dec.	35,5	107,7	64,1	47,1	125,9	64,8	26,6	87,2	63,4	28,2	63,3	58,5	21,1	57,4	57,8

1) Hier worden de normalen van Groningen in plaats van Eelde en van Stein in plaats van Beek gegeven.

2) De maandgegevens zijn verzameld bij meetstation De Kooy, terwijl voor de normalen Den Helder is gebruikt.

Tabel 4: Neerslagcijfers voor de verschillende hoofdstations in Nederland in 1975 en 1976 (M) vergeleken met de klimatologische waarden (N) over de normaalperiode 1931-1960 in mm (2, 3).

2.3.2. FREQUENTIE-ANALYSE VAN DE NEERSLAG

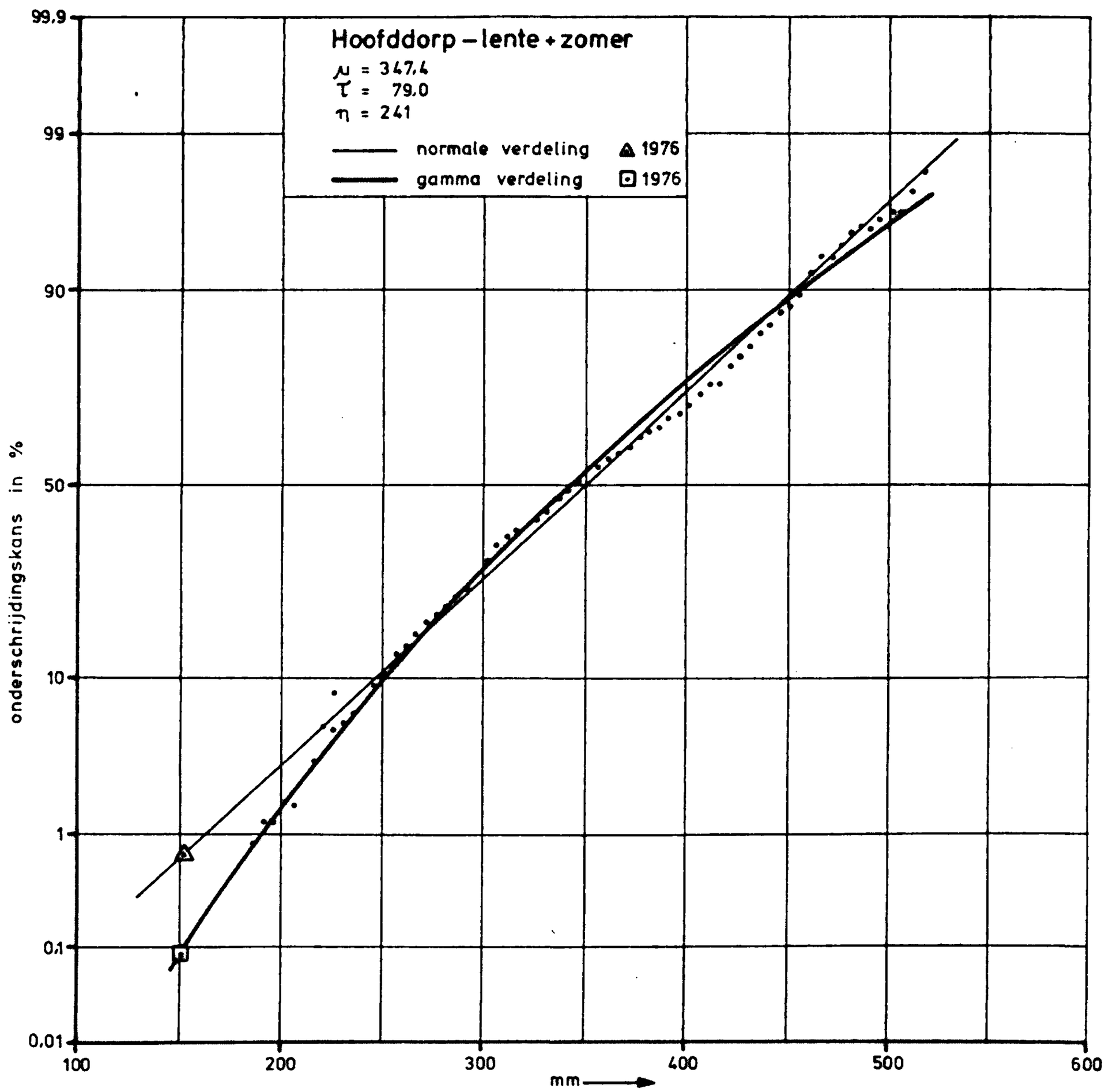
Om enigszins nauwkeurig de kans te berekenen waarmee een droogte als die van 1976 kan worden verwacht, zijn er een groot aantal waarnemingen nodig. In Nederland is de langste neerslagreeks de Hoofddorpreeks, die teruggaat tot 1735. Voor deze reeks is door het KNMI de frequentieverdeling uitgewerkt. Deze vertoont een dusdanige scheefheid, dat de normale verdeling hiervan geen goede beschrijving geeft. (figuur 6).

periode	maart-augustus	maart-mei	juni-augustus
Eelde	0,5	1,5	2
Den Helder	1,5	1	6
De Bilt	1,5	2	6
Vlissingen	0,5	4	0,5
Beek	2	5	4
Gebiedsgemiddelde	0,3	2,5	1,5
Hoofddorp	0,3	1,5	2

Tabel 5: De kans, dat een minstens even droge periode als in 1976 voorkomt, gegeven in het aantal keren per eeuw en uitgaande van een ongewijzigd klimaat (3).

De scheefheid wordt veroorzaakt door de eenzijdige begrenzing van de waarnemingsreeks: het absolute minimum is 0 mm neerslag. Een frequentieverdeling, die beter aansluit bij de neerslaggegevens van de Hoofddorpreeks, is de gammaverdeling. Beschouwen we de periode maart t/m augustus, dan blijkt dat voor de Hoofddorpreeks in 1976 de geringste neerslag is gevallen van alle 241 waarnemingsjaren. De kans dat het nog eens zo droog of zelfs droger wordt, is volgens figuur 6: 0,08%.

In figuur 7 en 8 is de cumulatieve frequentieverdeling voor de lente (maart-mei) en de zomer (juni-augustus) weergegeven. De kansen voor een droogte als in 1976 in deze periode staan weergegeven in tabel 5.



Figuur 6: Cumulatieve frequentieverdeling van de neerslag in procenten voor de periode lente + zomer te Hoofddorp (3).

Neerslagreeksen, zoals de Hoofddorpreeks, die waarnemingen van één station bevatten, zijn niet altijd representatief voor een groter gebied als gevolg van enkele buien, die op het station wel, maar elders niet zijn gevallen. Om dit probleem te vermijden maakt men vaak gebruik van gebiedsgemiddelde neerslagreeksen. Voor Nederland is dat de Braakreeks, die loopt vanaf 1849. Deze voldoet vanwege de middeling over de neerslagstations beter aan de normale verdeling dan de Hoofddorpreeks. De kans van optreden van een droogte als in 1976 in de periode maart t/m augustus is voor de Braakreeks 0,3% (figuur 9). De afzonderlijke lente- en zomerperioden hebben een grotere neerslagkans te zien gegeven (figuur 10 en 11). De droogte was binnen Nederland niet overal even zeldzaam. In tabel 5 is de kans weergegeven dat een minstens even droge periode als in 1976 nog eens voorkomt. Het blijkt dat de kans op nog zo'n droge maart-augustus periode het grootst is in Beek en het kleinst in Vlissingen en Eelde. In tabel 5 is ook de kans ten aanzien van de gebiedsgemiddelde neerslagreeks (Braakreeks) en de Hoofddorpreeks opgenomen.

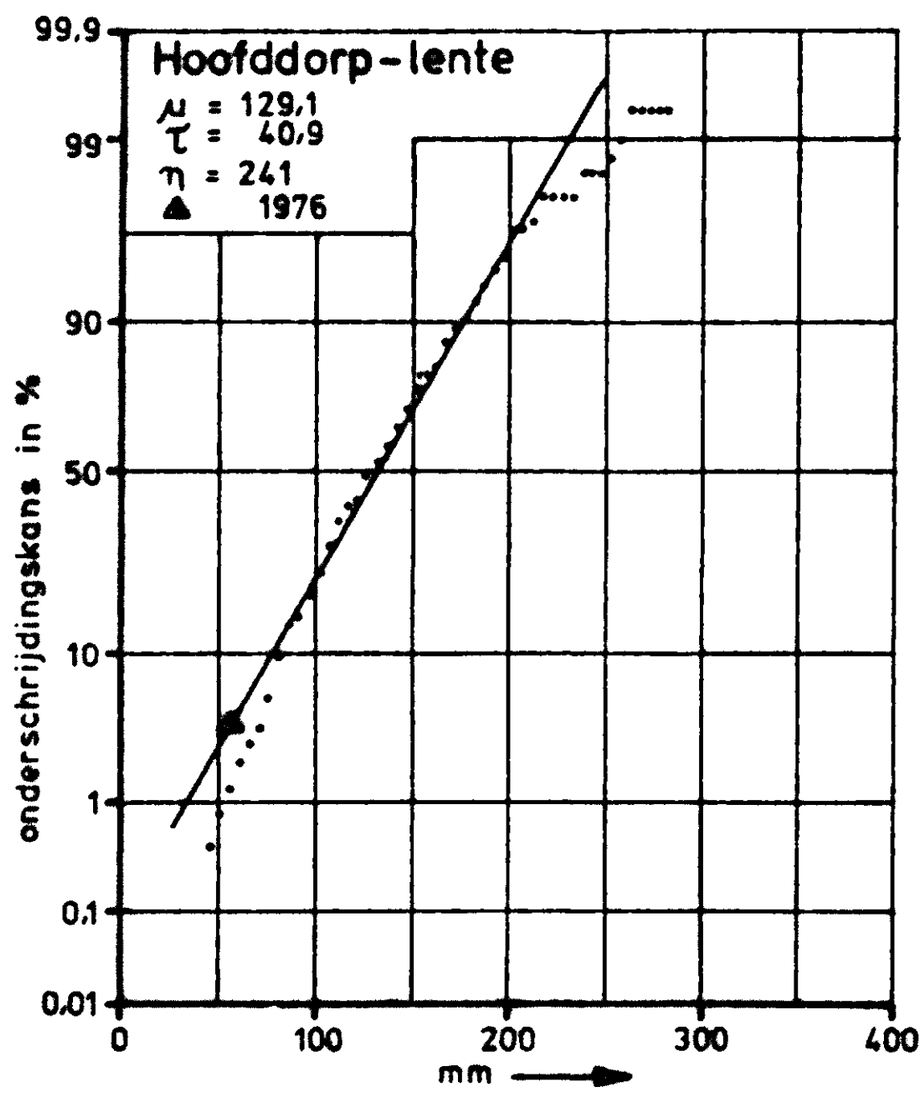


Fig. 7: Cumulatieve frequentieverdeling van de neerslag in procenten voor de lente te Hoofddorp (3).

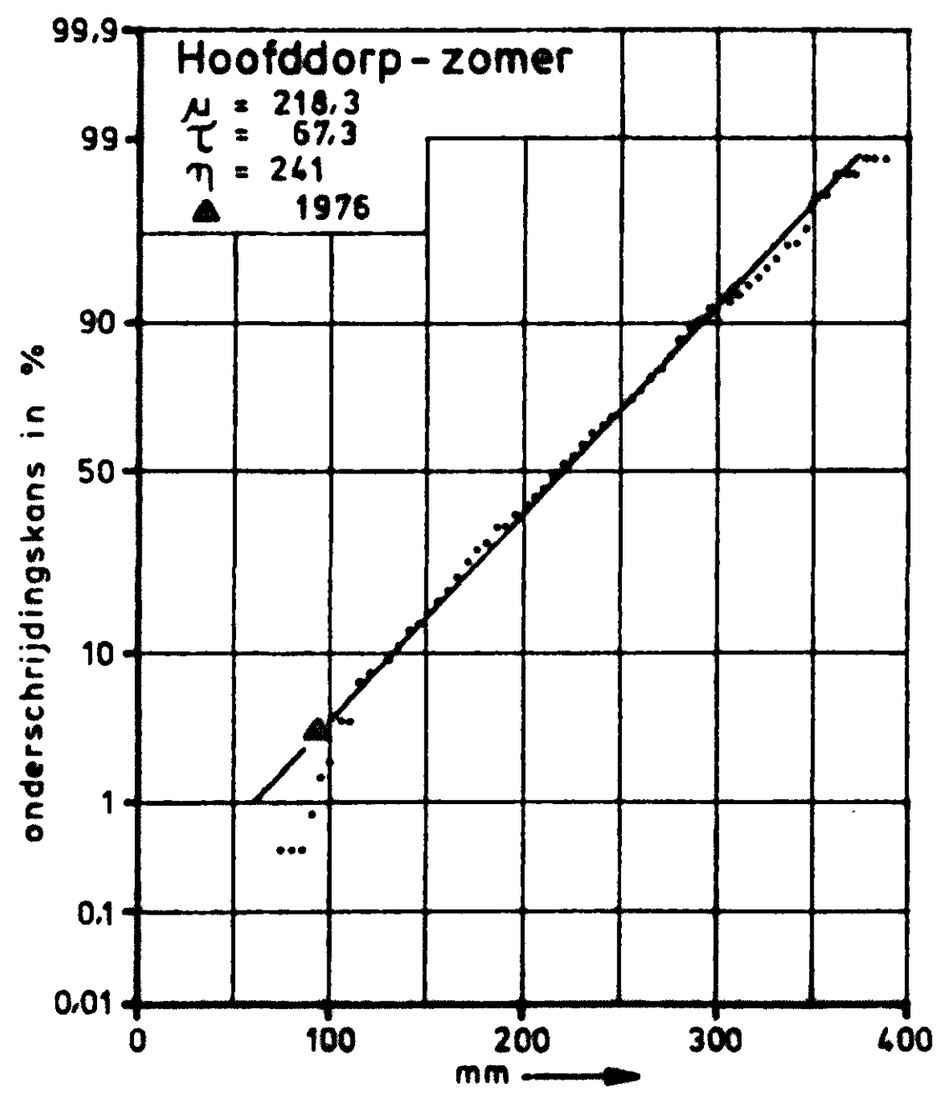
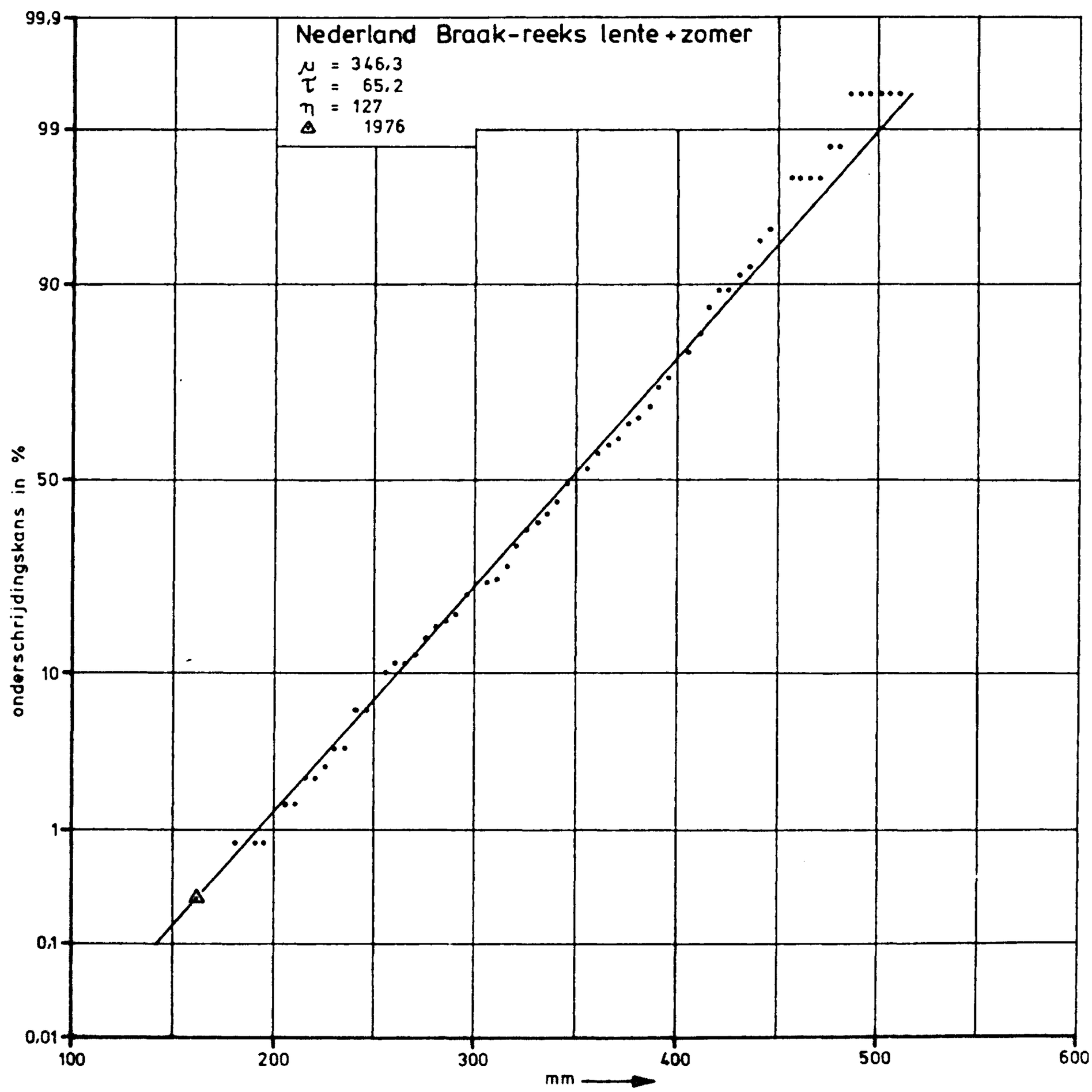


Fig. 8: Cumulatieve frequentieverdeling van de neerslag in procenten voor de zomer te Hoofddorp (3).

Voor het gebiedsgemiddelde volgt verder dat de zomer relatief droger dan de lente is geweest. Regionaal is de tendens echter tegengesteld. In Den Helder was de zomer duidelijk te nat.

Een jaar op jaar persistentie in de neerslagcijfers van de verschillende stations is in 1976 evenals in andere jaren niet gevonden. Ook voor een periode van enige maanden is het resultaat van het onderzoek naar persistentie negatief geweest. Alleen in de gebiedsgemiddelde reeks voor Nederland zijn enkele aanwijzingen voor persistentie gevonden. De meeste 5% droge zomers in deze reeks werden voorafgegaan door een voorjaar met minder dan normale neerslag (tabel 6).



Figuur 9: Cumulatieve frequentieverdeling van de neerslag in procenten voor de periode lente + zomer in Nederland (3).

Opmerkelijk is dat ook het najaar van 1976 relatief droog is geweest. Pas in december kwamen de maandcijfers boven normaal (tabel 2). Mede hierdoor deden de gevolgen van de droogte zich in enige sectoren nog in 1977 voelen.

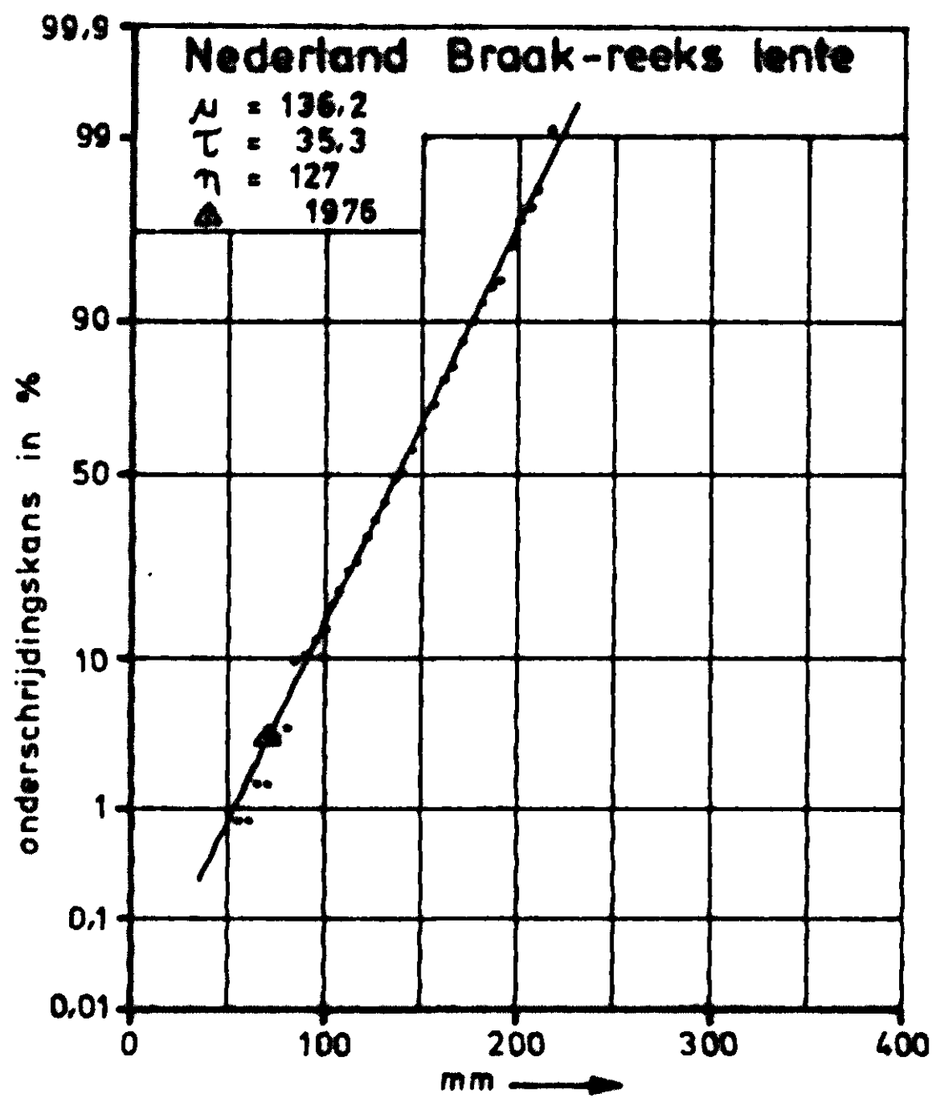


Fig. 10: Cumulatieve frequentie-verdeling van de neerslag in procenten voor de lente in Nederland (3).

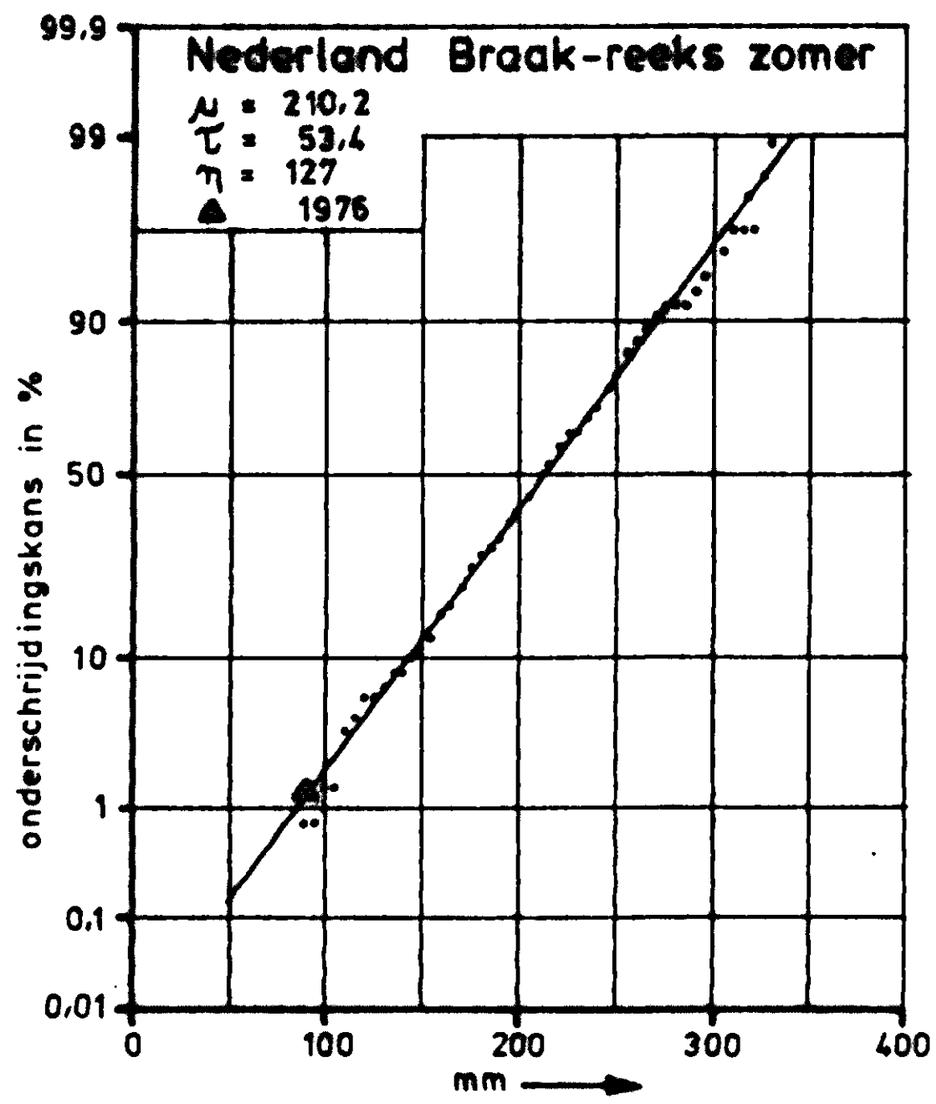


Fig. 11: Cumulatieve frequentie-verdeling van de neerslag in procenten voor de zomer in Nederland (3).

2.3.3. NEERSLAG EN VERDAMPING

Voor de gevolgen van een droogteperiode is de opgetreden verdamping van groot belang. De grootte van de verdamping is echter moeilijk vast te stellen. Behalve door meteorologische factoren wordt bij begroeide grond het verdampingsproces beïnvloed door factoren, die onder meer betrekking hebben op het gewas en de fysische eigenschappen van de bodem. De kwantificering van een aantal van deze factoren is niet op een eenvoudige wijze te realiseren, mede door de grote variaties, die in deze factoren binnen Nederland kunnen voorkomen. Een deterministische benadering van de werkelijke verdamping voor grote gebieden is thans nog niet zodanig ontwikkeld, dat redelijke resultaten kunnen worden verwacht.

Ook andere methoden zijn niet zodanig toepasbaar dat een landelijk en regionaal beeld van de werkelijke verdamping kan worden verkregen. Om toch de verdamping van verschillende gebieden met elkaar te kunnen vergelijken, wordt hier uitgegaan van de potentiële verdamping E_p. Deze wordt 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 (3).

jaar	neerslag in mm	
	zomer	lente
1857	107,9	102,9
1885	111,1	124,6
1887	106,9	119,6
1899	88,5	165,8
1911	108,7	112,7
1921	95,9	81,7
1976	90,9	70,8

Tabel 6: Enige gegevens van de Braakreeks met betrekking tot persistentie; weergegeven zijn de jaren, waarin zowel de 5% droge zomers (totale neerslaghoeveelheid minder dan 115 mm) en de 50% droge lentes (totale neerslaghoeveelheid minder dan 135 mm) zijn voorgekomen (3).

Deze verdamping is dan alleen afhankelijk van meteorologische factoren. Met de formule van Penman kan de zogenaamde openwaterverdamping E_o worden berekend uit de straling, de windsnelheid, de luchtvochtigheid en de temperatuur. Indien het in de definitie van E_p genoemde gewas ongeveer 0,1 m hoog is, kan E_p voor het zomerhalfjaar benaderd worden door $0{,}8E_o$ (KNMI) waarbij E_o (KNMI) de waarde van de openwaterverdamping vormt, die door het KNMI volgens de Penmanformule is berekend.

De gemiddelde neerslag N minus de potentiële verdamping E_p wordt nu het potentieel netto-neerslagoverschot genoemd. $(N - 0{,}8E_o)$. Is dit overschot negatief, hetgeen tijdens de zomermaanden veelvuldig voorkomt, dan spreekt men wel over een netto-neerslagtekort.

In figuur 12 is de verdeling van de openwaterverdamping E_o binnen Nederland voor de periode maart t/m augustus 1976 weergegeven. Tezamen met de in figuur 5 weergegeven neerslagverdeling vinden we het potentieel netto-neerslagoverschot als is aangegeven in figuur 13.

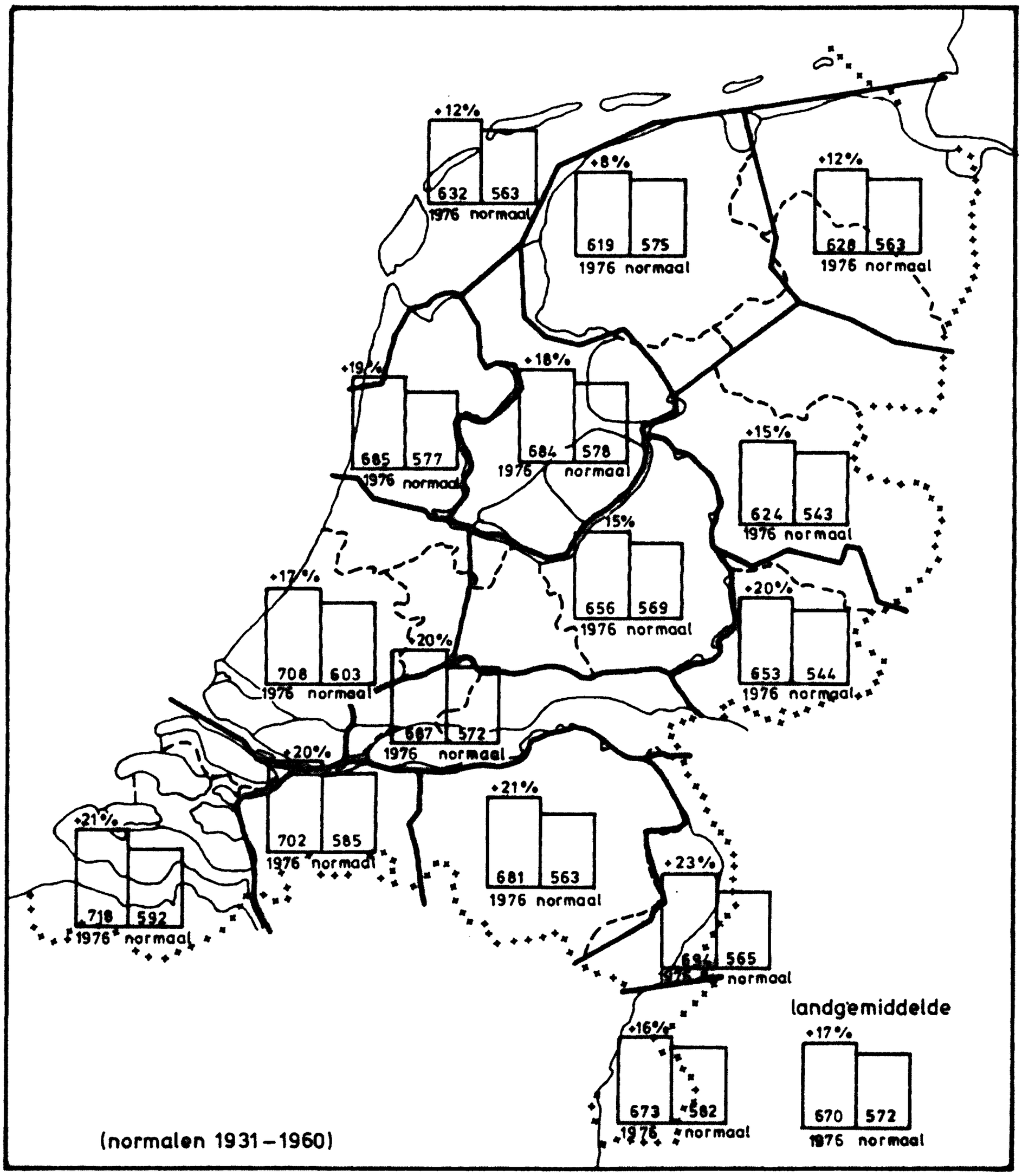


Fig. 12: Openwaterverdamping E_o per district in de periode maart t/m augustus 1976 in mm (3).

Ten aanzien van de verdeling van de neerslag is in 2.3.1. reeds het een en ander gezegd. De verdamping is vooral in het zuiden groot geweest. Bedroeg de gemiddelde openwaterverdamping E_o in genoemde periode voor heel Nederland 17% meer dan normaal, voor de zuidelijke provincies liep dit op tot circa 20%. Het resulterende potentieel netto-neerslagtekort $N-0,8E_o$ was vooral in Zuid-Holland, Zeeland, Noord-Brabant en Gelderland groot. De grootste waarde bereikte dit tekort in Zeeland : 444 mm.

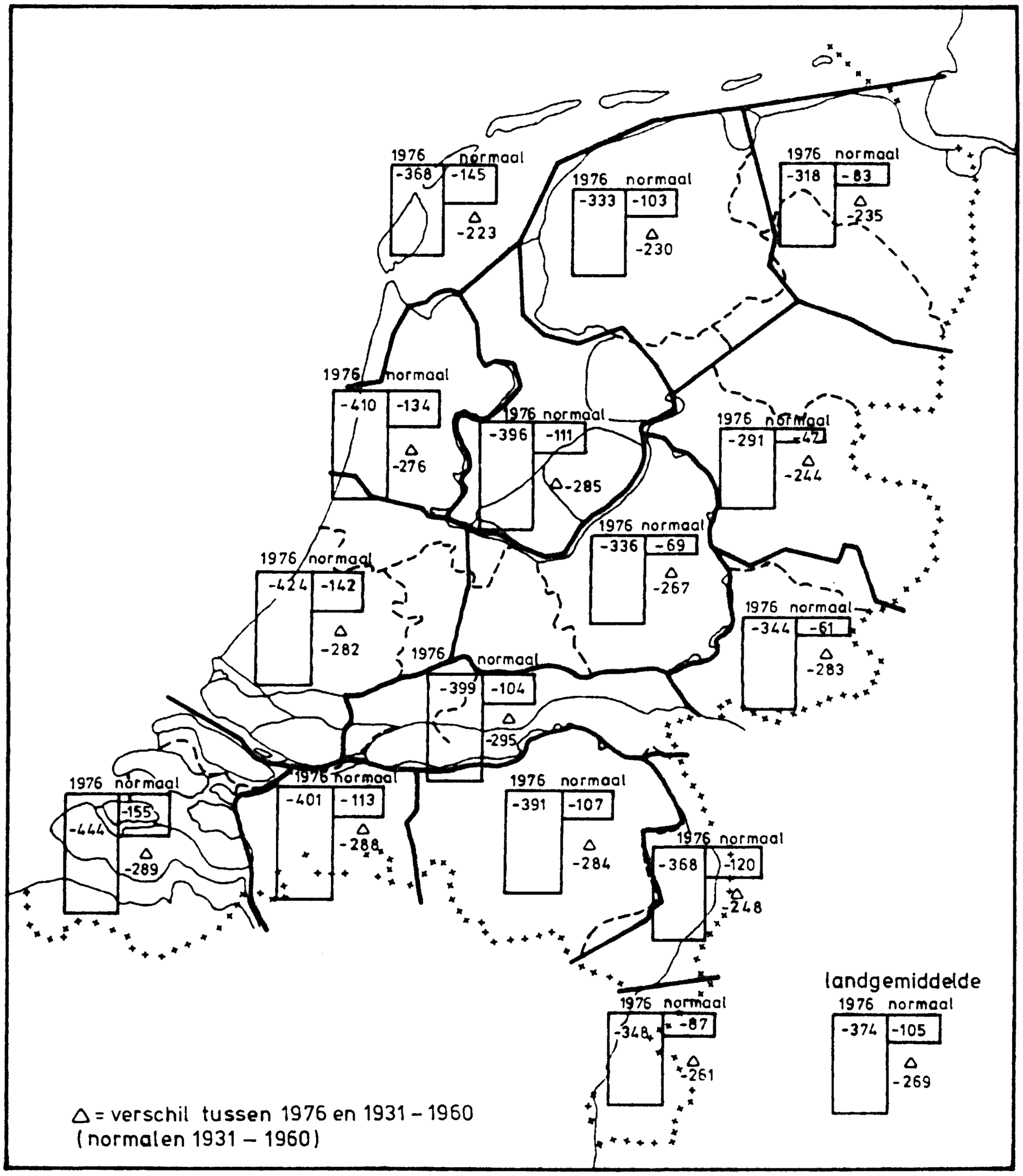
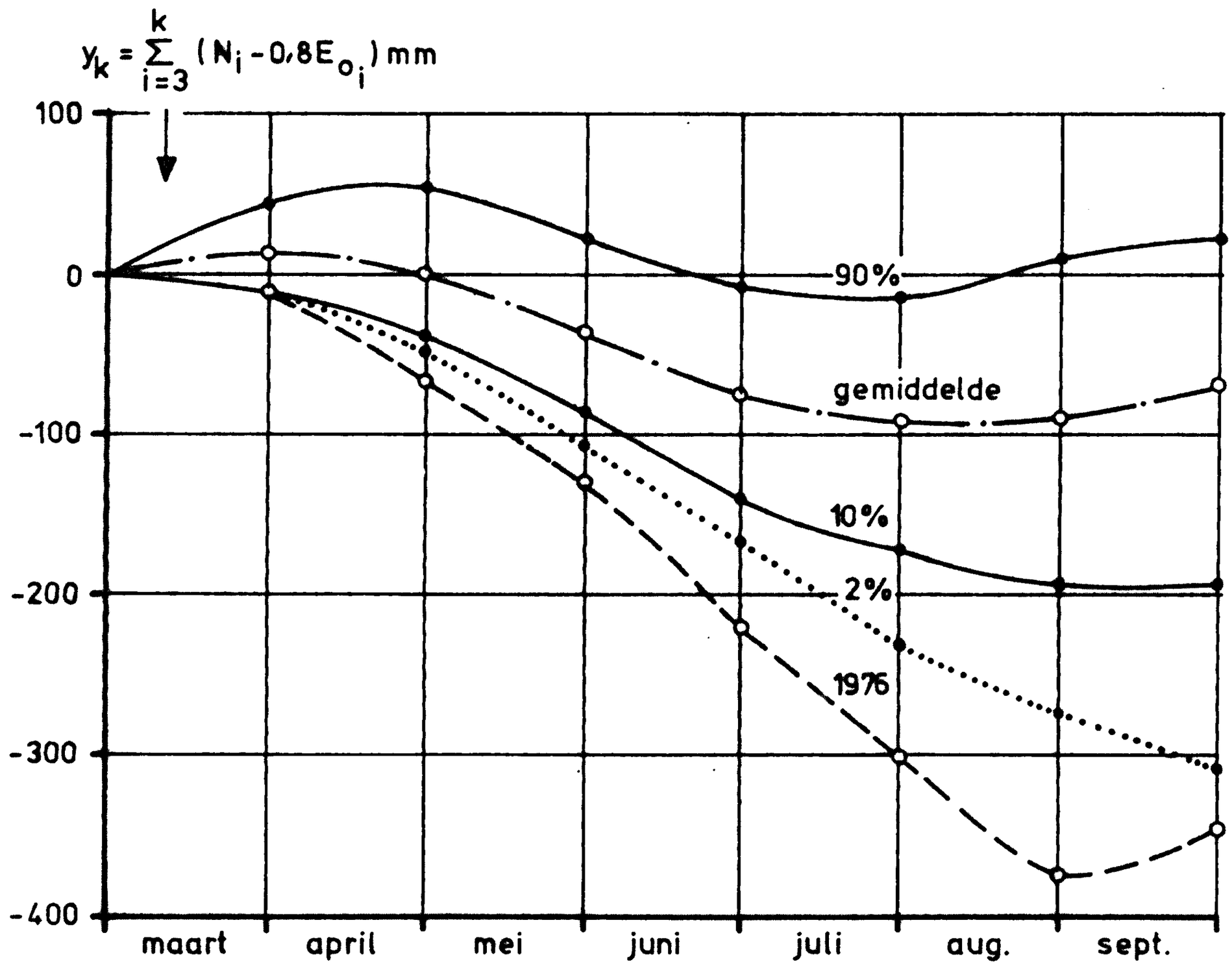
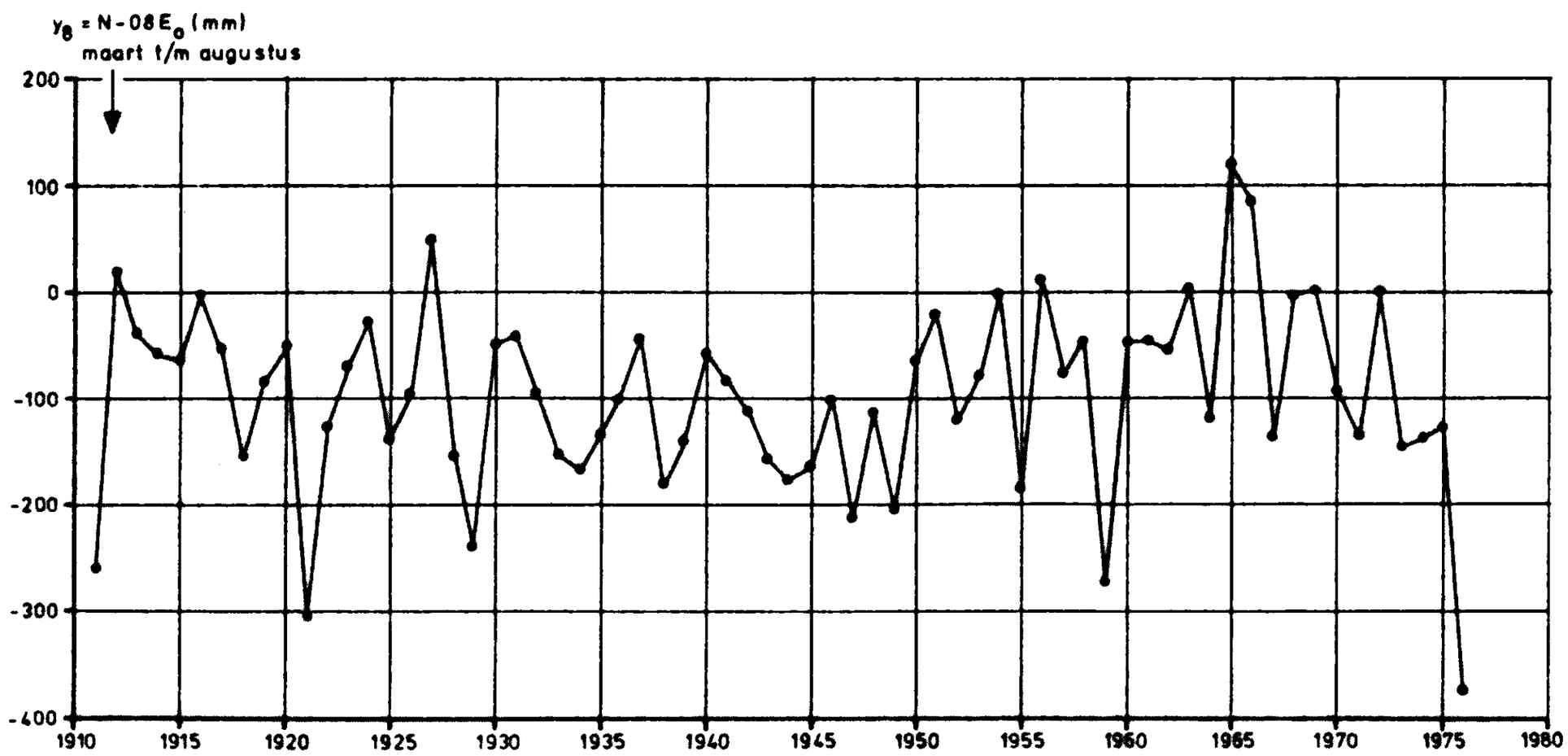


Fig. 13: Het potentieel netto-neerslagoverschot per district in de periode maart t/m augustus 1976 in mm (3).

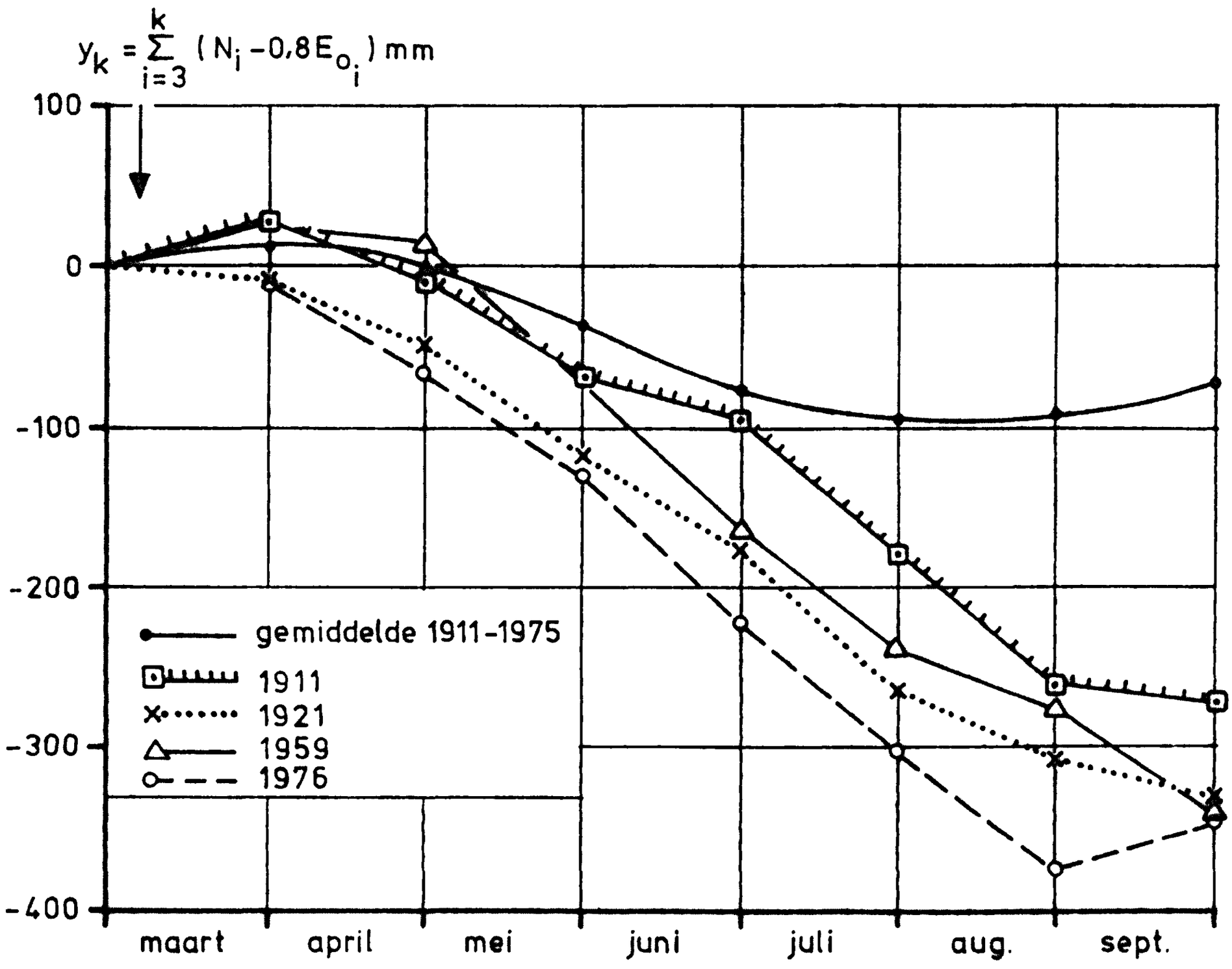
Het is interessant te weten hoe dit tekort in de loop van het seizoen is opgebouwd. Bekijken we daarvoor het landelijk gemiddelde, gevolgd vanaf 1 maart (figuur 14), dan blijkt dat in maart nog geen groot tekort is ontstaan. Pas in april en mei nam het potentieel netto-neerslagtekort sterk toe. Vooral in de maanden juni tot en met augustus liep het deficit snel op tot de maximum waarde eind augustus. Pas in september keerde de tendens om en nam het potentieel netto-neerslagtekort af.



Figuur 14: Cumulatieve som per maand vanaf 1 maart van het potentieel netto-neerslagoverschot in 1976 in mm en enige onderschrijdingsfrequenties voor de periode 1911-1975 van de gebiedsgemiddelde reeks van Braak (3).



Figuur 15: Landgemiddelde potentieel netto-neerslagoverschot over de periode maart t/m augustus in mm (3).



Figuur 16: Cumulatieve som per maand vanaf 1 maart van het landgemiddelde potentieel netto-neerslagoverschot in enkele droge jaren in mm (3).

2.3.4. FREQUENTIE-ANALYSE VAN DE NEERSLAG MINUS DE POTENTIELE VERDAMPING EN VERGELIJKING MET ANDERE DROGE JAREN

Voor statistische bewerking van landelijke neerslaggegevens is de Braakreeks beschikbaar. Ten aanzien van de verdamping is een dergelijke lange reeks gegevens niet aanwezig. Voor 12 stations is voor de periode 1911 t/m 1960 de openwaterverdamping E_o bepaald. Vanaf 1961 is E_o voor 15 stations berekend. In figuur 14 zien we de gemiddelde cumulatieve som van de neerslag minus de potentiële verdamping voor de periode maart tot en met september. Daarnaast zijn in deze figuur de waarden aangegeven, waaronder respectievelijk 90%, 10% en 2% van de waarnemingen liggen. Duidelijk is nu te zien, dat 1976 ten aanzien van het potentieel netto-neerslagtekort een extreem jaar is geweest. Dit wordt nog eens geïllustreerd aan de hand van de landgemiddelden over de periode maart tot en met augustus voor de opeenvolgende jaren vanaf 1911 (figuur 15). In dit tijdvak trad het maximum tekort in 1976 op. Tevens zien we dat ook 1911, 1921 en 1959 grote waarden voor het potentieel netto-neerslagtekort hadden.

Voor de periode tot en met augustus was 1976 duidelijk droger, doch voor eind september zijn de jaren 1921, 1959 en 1976 goed vergelijkbaar (figuur 16). Hieruit blijkt dat men met het vergelijken van bepaalde jaren met betrekking tot droogte, voorzichtig moet zijn. De keuze van de vergelijkingsperiode kan van grote invloed zijn op de resultaten.

Thans wordt bij het KNMI gewerkt aan frequentieanalyses van de maandsommen (voortschrijdend vanaf 1 april voor een periode van 6 à 7 maanden) van de neerslag N, de openwaterverdamping E_o volgens het KNMI en het netto-neerslag- minus-verdamping overschot N- 0,8E_o voor de stations Den Helder, De Bilt, Winterswijk, Gemert, Avereest en Oudenbosch. De waarnemingsperiode van de verwerkte gegevens bedraagt 65 jaar.

2.3.5. LUCHTVOCHTIGHEID EN TEMPERATUUR

Het uitblijven van neerslag betekent in ons klimaat niet zonder meer dat de lucht droog is. De luchtvochtigheid wordt mede bepaald door de aanvoer van vochtige lucht. Indien er lange tijd geen regen is gevallen, kunnen sommige oppervlakken zo droog geworden zijn, dat er praktisch geen verdamping is. Als daarbij de aanvoer van vochtige lucht gering is, zal de luchtvochtigheid in dergelijke gebieden sterk afnemen. Voor De Bilt is in tabel 7 de dampspanning weergegeven. Uit de vergelijking met de normaalwaarden en de getallen voor de voorafgaande jaren kan niet worden geconcludeerd, dat de lucht tijdens de droogteperiode van 1976 uitzonderlijk droog is geweest. Alleen in de maanden maart, april en augustus 1976 is de dampdruk iets onder normaal geweest. Deze maanden werden gekenmerkt door het veelvuldig voorkomen van de blokkeringen boven Scandinavië. Dit type luchtcirculatie gaat in ons land gepaard met de aanvoer van continentaal polaire lucht. Vooral in maart en april kan aanvoer van droge lucht van invloed zijn geweest op de luchtvochtigheid. Voor de relatief droge lucht in augustus kan de sterk teruggelopen verdamping uit de droge grond mede bepalend zijn geweest.

In het vroege voorjaar van 1976 ging de droogte gepaard met beneden normale temperaturen. In de maanden mei tot en met augustus waren de temperaturen boven normaal (tabel 8). De hoge temperaturen in de laatste periode kunnen mede veroorzaakt zijn door de geringe ver-

damping vanuit de droge grond, waardoor er meer zonnestralingsenergie beschikbaar was voor opwarming (4).

maand	normaal 1931-1960	1974	1975	1976	1977
jan.	6,4	8,2	8,5	7,5	7,2
febr.	6,4	7,3	6,3	6,9	7,7
mrt.	7,2	7,7	7,2	6,1	8,4
apr.	8,5	8,2	8,6	7,5	8,0
mei	10,7	10,3	9,9	10,5	9,8
juni	12,9	13,4	12,0	13,7	13,3
juli	15,0	14,2	15,3	15,0	15,0
aug.	15,2	14,9	15,7	14,1	15,3
sept.	13,5	12,8	13,9	13,0	12,9
okt.	10,7	9,0	9,7	11,6	12,3
nov.	8,4	8,8	8,2	8,9	9,0
dec.	7,1	9,2	7,3	6,3	8,0

Tabel 7: Etmaalgemiddelde dampdruk te De Bilt in mbar (2).

maand	normaal 1931-1960	1974	1975	1976	1977
jan.	1,7	5,2	6,2	4,2	3,0
febr.	2,0	4,6	3,1	2,9	4,9
mrt.	5,0	5,6	4,7	3,0	7,1
april	8,5	9,1	7,4	7,5	6,7
mei	12,4	11,6	11,1	13,3	11,9
juni	15,5	14,8	15,1	18,0	14,6
juli	17,0	15,4	17,8	19,3	17,0
aug.	16,8	16,4	19,9	18,0	16,1
sept.	14,3	12,7	15,2	13,7	13,4
okt.	10,0	7,0	8,5	11,2	11,5
nov.	5,9	6,5	5,2	6,9	6,8
dec.	3,0	7,3	3,5	1,7	5,0

Tabel 8: Etmaalgemiddelde temperatuur te De Bilt in ^{o}C. (2).

2.4. HET WEER ELDERS IN EUROPA

Zoals in de inleiding van dit hoofdstuk is geschreven is 1976 niet alleen voor Nederland een droog jaar geweest. Grote delen van Noord- en West-Europa hadden met de droogte te kampen. Het grootste verschil in neerslag ten opzichte van normale jaren werd in Zuidoost-Engeland en Noord-Frankrijk waargenomen. Er viel hier in de periode oktober 1975 - juli 1976 minder dan 50% van de normale neerslaghoeveelheid. Anderzijds waren er gebieden die in dezelfde periode beduidend meer neerslag te verwerken kregen dan normaal, zoals Noorwegen, het uiterste noorden van Schotland en vooral West-Rusland, de Balkan en Zuid-Italië.

Naast de droogte in Nederland is er in 1976 herhaaldelijk gesproken over het droge weer in Engeland en Wales. Hier kwam de droogte aan het eind van een vijfjarige periode, waarin de herfst- en winterneerslag belangrijk beneden normaal bleef. De feitelijke droogteperiode is ook hier al in 1975 begonnen. Met een onderbreking in september 1975 is in grote delen van Engeland en Wales de hoeveelheid neerslag vanaf mei 1975 tot en met augustus 1976 ver beneden normaal gebleven. Hoge temperaturen zorgden in de zomer van 1975 voor een grote verdamping. In vergelijking met 1975 was de zomer van 1976 zelfs nog warmer en droger (tabel 9). In september 1976 kwam er een abrupt einde aan de droogte. De totale neerslag in september en oktober voor Engeland en Wales bedroeg 313 mm, een absoluut record sinds de start van de waarnemingen in 1727.

In West-Duitsland begon de droogte in februari 1976 en duurde tot in het najaar voort, zij het in sommige maanden minder extreem dan in Nederland. Voor Nederland was daarbij van belang dat ten gevolge van de geringe neerslag in West-Duitsland, de Rijnafvoeren belangrijk beneden normaal waren. De droogte in West-Duitsland kan geïllustreerd worden aan de hand van de gebiedsgemiddelde "Baur-reeks". Deze reeks bevat de waarden van de maandsommen van de neerslag, gemiddeld over 14 Duitse stations. De afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde maandsommen in de periode vanaf januari 1851 zijn voor de verschillende maanden van 1976 in tabel 10 weergegeven.

periode in maanden eindigend met augustus'76	neerslag in mm.	% van gemiddelde over de periode 1916 - 1950	frequentie van optreden (per jaar)
3	77	36	1/300
6	205	52	1/400
9	355 1)	55	1/1000
12	571 1)	63	1/650
16	757 2)	64	1/1000
18	909 1)	70	1/500
24	1497	83	1/30
36	2314	85	1/45

1) nieuw minimum voor de in augustus eindigende periode.

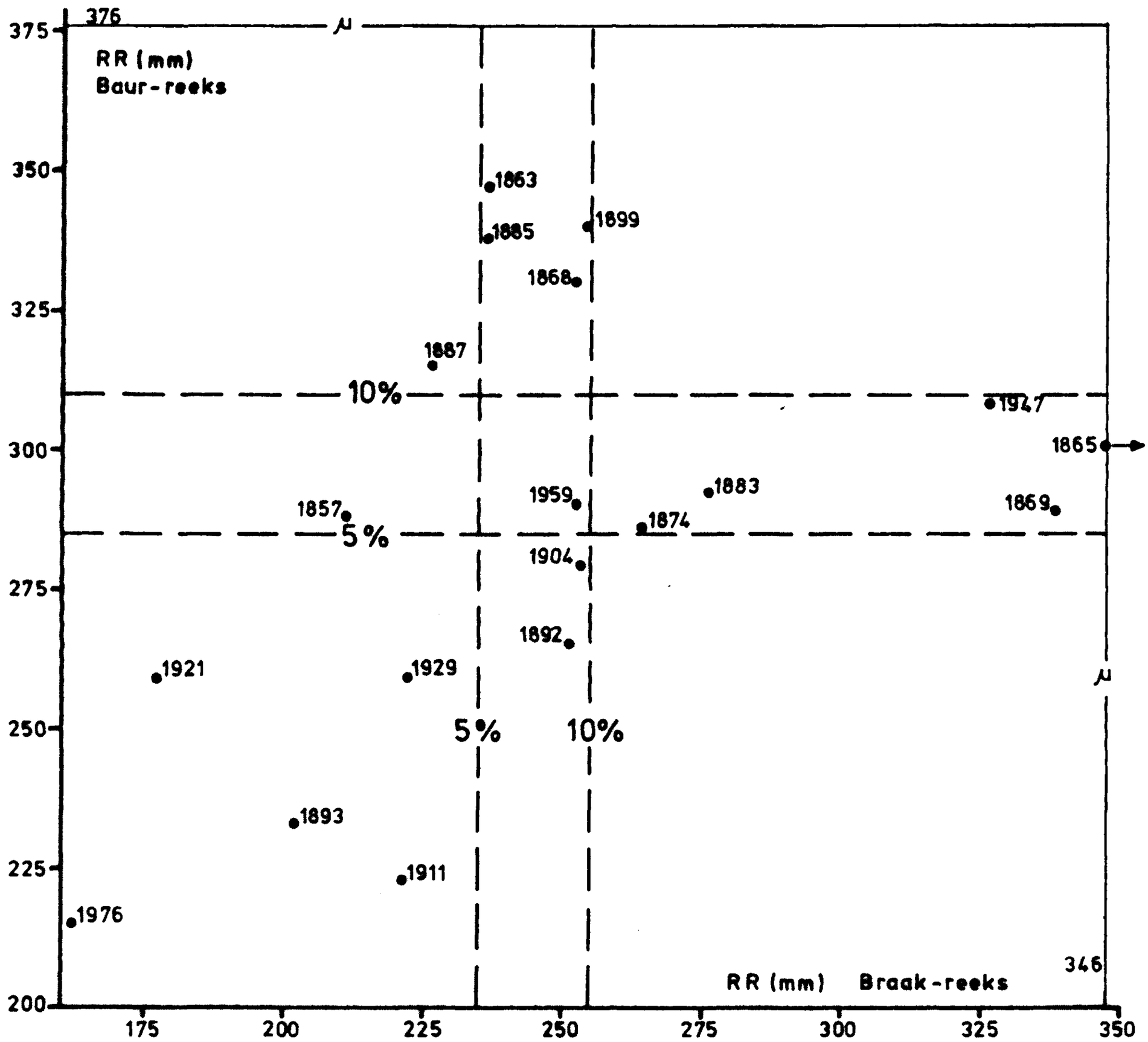
2) nieuw minimum voor een in een willekeurige maand eindigende periode.

Tabel 9: Neerslag in Engeland en Wales tot en met augustus 1976 (5).

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

Tabel 10: Afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde maandsommen voor de Baur-reeks in de periode januari tot en met augustus 1976 (3).

De Baur-reeks is summier onderzocht op de aanwezigheid van een samenhang tussen de neerslaghoeveelheden in opeenvolgende tijdvakken. Daarbij zijn aanwijzingen voor persistentie gevonden. Een vergelijking tussen de neerslagreeksen van West-Duitsland en Nederland leert dat droogte in het voorjaar en de zomer in Nederland veelal samengaat met droogte in West-Duitsland. Echter droogte in West-Duitsland gaat soms gepaard met een normale of bovennormale hoeveelheid neerslag in Nederland (figuur 17).



Figuur 17: Neerslagsom RR (lente en zomer) in West-Duitsland (Baur-reeks) en Nederland (Braakreeks) in mm (3).

3. AFVOERREGIME EN WATERKWALITEIT VAN DE GRENSOVERSCHRIJDENDE RIVIEREN

3.1. DE RIJN

3.1.1. AFVOERVERLOOP

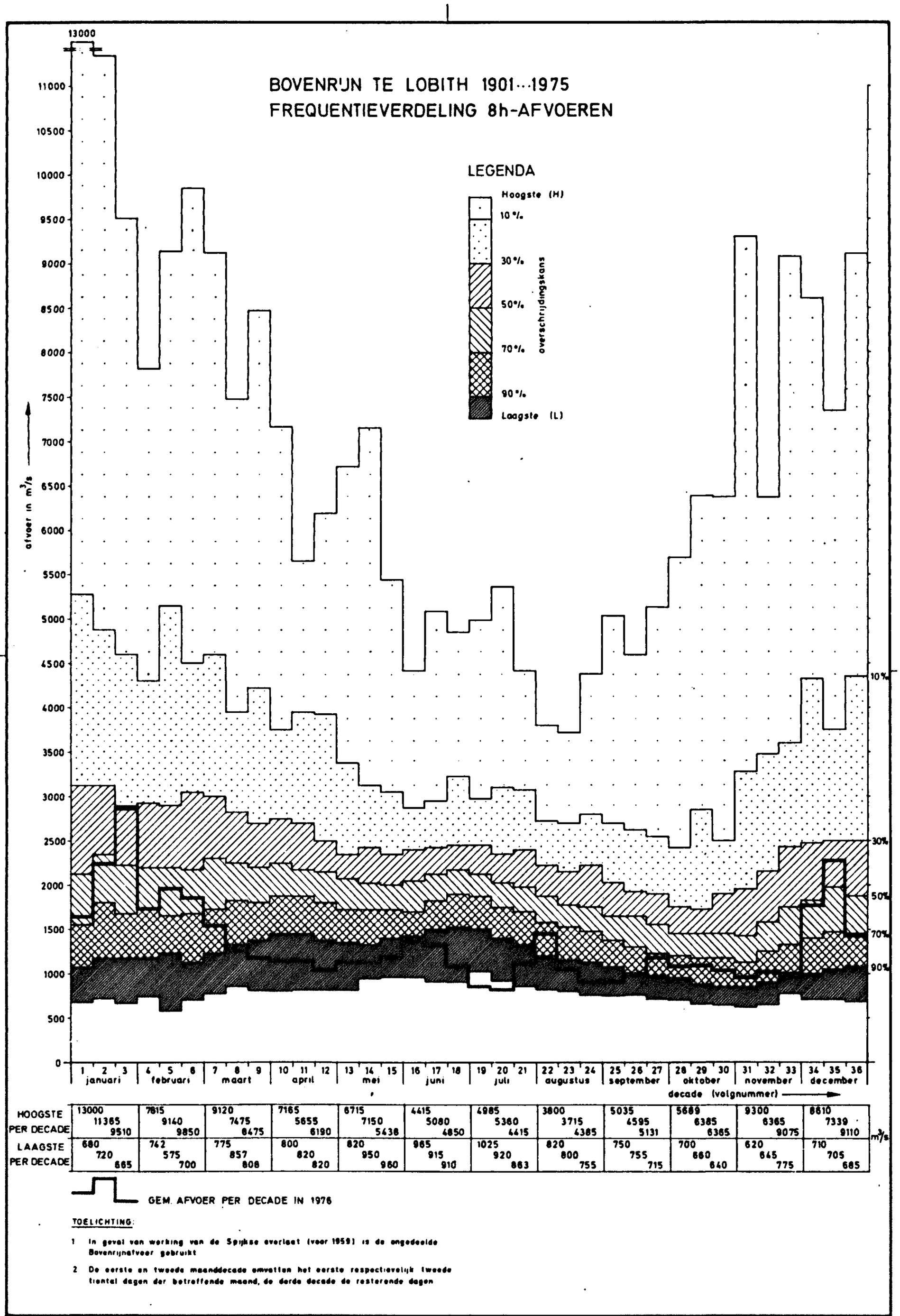
De Rijn is de belangrijste waterbron van Nederland. Circa 65% van al het in Nederland beschikbare zoete water wordt door deze rivier aangevoerd. De afvoer van deze rivier wordt bepaald door regen- en sneeuwval en door het smelten van gletsjers. De in het stroomgebied voorkomende meren hebben een afvlakkende werking op het afvoerverloop. De Rijn heeft een gelijkmatig karakter, mede doordat 's winters veelal de neerslag in het stroomgebied van vaste aard is. De sneeuw en hagel komen niet direct tot afstroming. In de zomer, als er benedenstrooms neerslagtekorten optreden, wordt de afvoer door neerslag in de bovenloop en het smelten van sneeuw in stand gehouden.

Het regime van de Rijn kan op verschillende wijzen gekenschetst worden, zoals door de verhouding tussen de grootste en de kleinste afvoer voor een reeks van jaren, de gemiddelde afvoer over een reeks van jaren, het jaarlijkse verloop in de maandgemiddelden van de afvoer en de verhouding tussen de afvoer in de zomer- en winterperiode.

De normale jaargemiddelde afvoer bij Lobith bedraagt 2200 m^3/s. Vooral het Zwitserse stroomgebied boven Basel speelt daarbij een belangrijke rol. Dit gebied beslaat nog geen kwart van het totale stroomgebied van de Rijn en heeft toch een normale afvoer van meer dan 1000 m^3/s. Voor een normaal jaar is de laagste afvoer bij Lobith ca. 1000 m^3/s en de hoogste ca. 6400 m^3/s.

Voor een periode van grote droogte is vooral de afvoer gedurende de zomer in relatie tot de gemiddelde zomerafvoer en de overige waterbalanstermen van belang. Voor een beschrijving van het regime van de Rijn wordt verder verwezen naar de literatuur (6, 7 en 12).

Al vroeg in 1976 was de Rijnafvoer beduidend lager dan normaal. Vanaf de tweede decade van maart tot en met de derde decade van juli lag het decadegemiddelde van de dagelijkse 8h-afvoeren beneden de 10% onderschrijdingslijn voor de periode 1901-1975 (tabel 11 en figuur 18). In juli verminderde de afvoer tot een minimum van 782 m^3/s (tabel 12).



Figuur 18: Verloop gemiddelde decade-afvoeren van de Bovenrijn te Lobith vergeleken met 1976 (8).

Na een gering herstel daalde begin augustus de afvoer opnieuw beneden de 10% onderschrijdingslijn. Deze toestand duurde meer dan een maand. Ook daarna bleef de afvoer ver beneden normaal. Pas begin december nam de afvoer zodanig toe, dat min of meer van een normale toestand gesproken kon worden.

Vooral de periode maart-juli 1976 was, voor wat de afvoer van de Rijn betreft, zeer droog en slechts overtroffen door het jaar 1921. Bezien we de dagelijkse 8h-afvoeren gemiddeld over het jaar, dan blijken slechts 1921 en 1949 nog ongunstiger te zijn geweest (tabel 13 t/m 16).

maand	overschrijdingsfrekwenties	decade	1976	1911-1960	%	maand	overschrijdingsfrekwenties	decade	1976	1911-1960	%
jan.		1	1627	2927	55,6	juli		1	855	2127	40,2
		2	2279	2955	77,1			2	836	2113	39,6
		3	2977	2737	105,1			3	1149	2097	54,8
	55,8	M	2281	2869	79,5		98,7	M	953	2112	45,1
febr.		1	1724	2515	68,5	aug.		1	1466	1937	75,7
		2	1971	2676	73,7			2	1067	1877	56,8
		3	1868	2616	71,4			3	913	1892	48,3
	75,3	M	1832	2601	70,4		90,9	M	1141	1902	60,0
maart		1	1549	2700	57,4	sept.		1	901	1798	50,1
		2	1265	2531	50,0			2	990	1719	57,6
		3	1187	2452	48,4			3	1172	1708	68,6
	94,8	M	1329	2557	52,0		89,6	M	1021	1742	58,6
april		1	1167	2366	49,3	okt.		1	1081	1662	65,0
		2	1168	2394	48,8			2	1094	1701	64,3
		3	1055	2290	46,1			3	1032	1704	60,6
	97,4	M	1130	2350	48,1		81,8	M	1068	1689	63,2
mei		1	1147	2135	53,7	nov.		1	957	1996	47,9
		2	1141	2059	55,4			2	1025	2059	49,8
		3	1210	2015	60,0			3	1000	2160	46,3
	97,4	M	1167	2068	56,4		63,1	M	994	2072	48,0
juni		1	1389	2017	68,9	dec.		1	1763	2280	77,3
		2	1333	2138	62,3			2	2281	2163	105,5
		3	1092	2183	50,0			3	1427	2271	62,8
	97,4	M	1272	2113	60,2		58,4	M	1802	2339	77,0
						J	96,1		1333	2199	60,6

M is dagelijkse 8-h afvoer, gemiddeld over een maand; J is dagelijkse 8-h afvoer, gemiddeld over een jaar.

Tabel 11: Bovenrijn te Lobith: dagelijkse 8h-afvoeren in m^3/s gemiddeld per decade, maand en jaar; 1976 vergeleken met langjarige gemiddelden (8, 25).

dag	jan.	feb.	mrt.	apr.	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.
1	1080	2187	1695	1208	1231	1169	946	1703	856	1094	931	1151
2	1109	1998	1662	1181	1227	1171	918	1753	845	1090	936	1241
3	1251	1896	1662	1171	1222	1189	897	1635	851	1073	978	1463
4	1371	1809	1636	1148	1196	1194	874	1545	876	1079	987	1767
5	1502	1699	1582	1144	1180	1281	844	1473	895	1078	971	1911
6	1691	1634	1529	1145	1126	1407	828	1395	916	1064	962	2077
7	1978	1577	1487	1148	1087	1621	828	1377	922	1070	951	2117
8	2208	1514	1448	1189	1090	1666	820	1323	921	1081	940	2029
9	2113	1478	1405	1176	1067	1629	805	1258	958	1083	952	1906
10	1969	1451	1381	1157	1047	1566	792	1203	972	1099	964	1966
11	1897	1438	1376	1163	1031	1464	782	1171	958	1103	964	2176
12	1852	1517	1342	1196	1031	1416	787	1132	934	1160	992	2473
13	1902	1595	1290	1257	1024	1394	804	1093	936	1086	1032	2578
14	2028	1787	1268	1266	1099	1364	826	1079	944	1086	1035	2594
15	2216	1954	1237	1209	1151	1347	850	1069	978	1118	1028	2539
16	2478	2169	1238	1181	1179	1345	859	1039	999	1103	1021	2412
17	2674	2401	1229	1141	1213	1303	863	1057	990	1078	1042	2229
18	2677	2474	1223	1116	1228	1252	863	1041	987	1080	1032	2085
19	2570	2304	1227	1092	1227	1230	856	1012	1015	1083	1043	1923
20	2500	2066	1216	1063	1223	1217	875	976	1163	1102	1060	1799
21	2502	1920	1215	1965	1211	1207	888	980	1262	1116	1051	1666
22	2530	1863	1197	1056	1222	1196	971	973	1321	1112	1019	1610
23	2612	1808	1169	1031	1180	1171	1017	947	1291	1107	1003	1545
24	2731	1820	1169	1011	1180	1131	1055	953	1231	1086	975	1520
25	2986	1823	1160	996	1213	1096	1133	942	1187	1056	952	1433
26	3213	1805	1160	986	1225	1079	1176	918	1130	1032	970	1416
27	3459	1729	1155	1003	1235	1047	1216	904	1087	1003	977	1376
28	3382	1711	1187	1063	1246	1018	1250	876	1070	985	990	1353
29	3061	1698	1186	1133	1222	1004	1276	864	1068	974	1014	1308
30	2781		1214	1204	1204	973	1265	847	1070	945	1052	1265
31	2387		1246		1175		1393	839		934		1202

Tabel 12: Bovenrijn te Lobith 1976. Dagelijkse 8h-afvoeren in m^3/s (8).

Jaar	jan.	feb.	maart	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	jaar
1921	1968	1603	959	832	985	1303	1089	966	959	761	989	772	1096
1929	2066	930	1491	1743	1500	1893	1585	1349	1098	987	1171	2005	1489
1934	1487	1250	1787	1310	1243	986	1279	1499	1498	1215	1223	1346	1345
1943	1806	2179	1352	1818	1456	1817	1483	1133	945	998	947	1420	1441
1947	1430	1065	4106	2733	1584	1319	1262	1036	796	683	989	1866	1578
1949	1307	1150	1665	1478	1490	1741	1011	815	782	710	748	1417	1193
1959	3806	2015	1734	1724	1828	1518	1628	1276	920	951	882	924	1584
1964	991	1431	1607	2020	2062	1566	1057	919	953	1086	1646	1733	1421
1971	1552	1970	1481	1494	1475	2184	1765	1298	1160	888	969	1231	1451
1976	2281	1832	1329	1130	1167	1272	953	1141	1021	1068	994	1811	1333

Tabel 13: Bovenrijn te Lobith, periode 1901 - 1976. Afvoeren in m^3/s gemiddeld per maand en jaar; 1976 vergeleken met andere bekende droge jaren (8).

Maart		April		Mei		Juni		Juli		Augustus		September		Oktober		November	
jaar	m^3/s	jaar	m^3/s	jaar	m^3/s	jaar	m^3/s	jaar	m^3/s	jaar	m^3/s	jaar	m^3/s	jaar	m^3/s	jaar	m^3/s
1972	910	1921	832	1921	985	1934	986	1976	953	1949	815	1949	782	1947	683	1949	748
1921	959	1976	1130	1976	1167	1976	1272	1949	1011	1964	919	1947	796	1949	710	1962	844
1932	1223	1934	1310	1938	1222	1921	1303	1964	1057	1921	966	1959	920	1959	751	1959	882
1976	1329	1960	1319	1934	1243	1947	1319	1921	1089	1952	1021	1943	954	1921	761	1953	913
										1947	1036	1964	953	1972	875	1908	939
										1943	1133	1921	959	1971	888	1943	947
										1976	1141	1911	978	1962	936	1907	948
												1976	1021	1953	968	1920	966
														1907	974	1971	969
														1906	982	1955	981
														1929	987	1921	989
														1943	998	1947	989
														1976	1066	1976	994

Tabel 14: Bovenrijn te Lobith, periode 1901 - 1976.
Gemiddelde maandafvoeren op grootte gerangschikt.
De maanden maart t/m november afzonderlijk beschouwd. (8).

Bezien we de dagelijkse afvoeren nog eens op maandbasis, dan geeft 1976 het volgende beeld voor de periode mei t/m september (9):

- de maand mei was ca. 2% droog, dat wil zeggen gemiddeld over de maand mei was de onderschrijdingsfrequentie van de opgetreden afvoer 2%;
- de maand juni was gemiddeld ca. 5% droog;
- de gemiddelde maandafvoer in juli was de laagste juli-afvoer van deze eeuw, deze maand was meer dan 0,5% droog;
- de maand augustus was ca. 8% droog;
- de maand september was ca. 10% droog.

jaar	1921	1976	1934	1949
afvoer	1022	1165	1353	1364

Tabel 15: Bovenrijn te Lobith, periode 1901 - 1976.
Afvoeren gemiddeld over de periode maart t/m augustus in m^3/s op grootte gerangschikt (8).

Bezien we de afvoer van de Bovenrijn over een wat langere periode dan maart-september 1976, dan blijkt dat er in het afvoerverloop al vanaf oktober 1975 sprake is van een droogtepersistentie. Deze

jaar	1921	1949	1976	1934	1964	1943	1971	1929	1947	1959
afvoer	1096	1193	1333	1345	1421	1441	1451	1489	1578	1584

Tabel 16: Bovenrijn te Lobith, periode 1901-1976.
Gemiddelde afvoeren per kalenderjaar in m^3/s op grootte gerangschikt (8).

heeft tot en met januari 1977 voortgeduurd. Onder een dergelijke droogtepersistentie wordt het verschijnsel verstaan, dat gedurende een aaneengesloten periode van tenminste 6 maanden alle gemiddelde maandafvoeren meer dan 10% van de standaardafwijking beneden het langjarig gemiddelde voor de desbetreffende maand liggen (8). Bezien we de droogteperioden sinds 1901, dan valt op dat alle bekende droge jaren persistenties vertonen van 15 of meer maanden. Gesteld mag worden, dat droogtepersistenties korter dan circa 12 maanden veelal nog geen aanleiding geven tot een bekend droog jaar (7). In relatie tot de duur van andere droogtepersistenties sinds 1901 komt de droogteperiode van 1976 op de achtste plaats (tabel 17).

jaar	1943	1929	1949	1934	1921	1953	1947	1976
persistentie-duur (mnd.)	27	26	25	24	19	17	17	16

Tabel 17: Persistenties in de Bovenrijnafvoer te Lobith, gerangschikt volgens duur in maanden (7).

Ten aanzien van persistenties kunnen nog enige opmerkingen worden gemaakt. Zo blijken persistenties geen verband te hebben met de loop der seizoenen. Opmerkelijk is dat praktisch alle droogtepersistenties in het tweede halfjaar zijn begonnen. Ook is er geen langjarige periodiciteit te onderkennen. Volgens Wemelsfelder (7) is de oorzaak van de persistenties gelegen in de invloed van het over een zekere tijd geïntegreerde verschil tussen de actuele en normale neerslaghoeveelheden en de van de temperatuur afhankelijke verdamping op de berging in het grondwater. Deze invloed is zodanig, dat de rivierafvoer

vele maanden, soms zelfs jaren lang, hetzij boven, hetzij beneden normaal blijft. Enige invloed van het sneeuwpakket in het Zwitserse hooggebergte op persistenties is niet geconstateerd, mede doordat de accumulatie en het smelten sterk seizoenmatig plaatsvindt. Meren hebben door hun kleine oppervlakte in vergelijking tot de jaarlijkse afvoer slechts een gering bergend vermogen en zijn in dezen ook niet van belang.

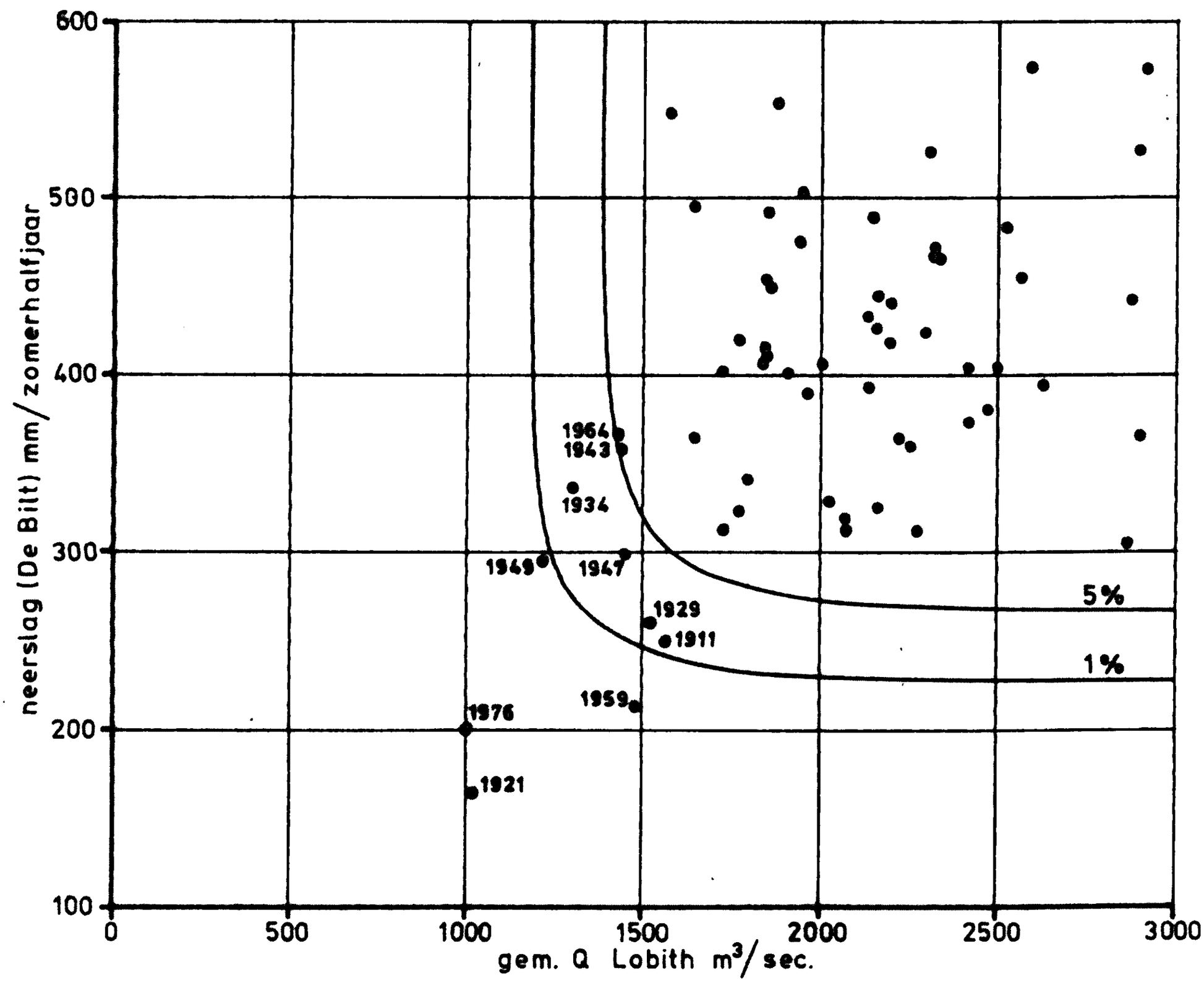
Interessant is, nu de zeldzaamheid van de in 1976 opgetreden Bovenrijnafvoeren is aangegeven, de kans te analyseren dat een combinatie van geringe neerslag in Nederland en lage Bovenrijnafvoeren, zoals deze in 1976 is aangegeven, zich voordoet. Daartoe zijn in figuur 19 de krommen met een onderschrijdingskans van respectievelijk 5% en 1% weergegeven, die berekend zijn als meetkundige plaats van de combinaties neerslag en Bovenrijnafvoer, uitgaande van een lognormale frequentieverdeling. De kans op de combinatie, zoals die in 1976 is opgetreden, ligt aanzienlijk beneden de berekende 1% lijn. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met de brede spreidingsband van de aangegeven lijnen. Slechts 1921 is in dit opzicht droger geweest. Opgemerkt dient nog te worden dat tussen de neerslag in Nederland en de Bovenrijnafvoer slechts een geringe correlatie bestaat.

3.1.2. WATERKWALITEIT

ALGEMEEN

De waterkwaliteit van de rivieren betreft de door de rivieren getransporteerde stoffen. Daarbij kan onderscheid gemaakt worden tussen natuurlijke en kunstmatige belasting. Tot de natuurlijke vrachten worden de stoffen gerekend, die onder andere afkomstig zijn van regenwater, erosie en uitloging van de bodem. De kunstmatige belasting wordt vooral veroorzaakt door afvalwaterlozingen van huishoudens en industrieën.

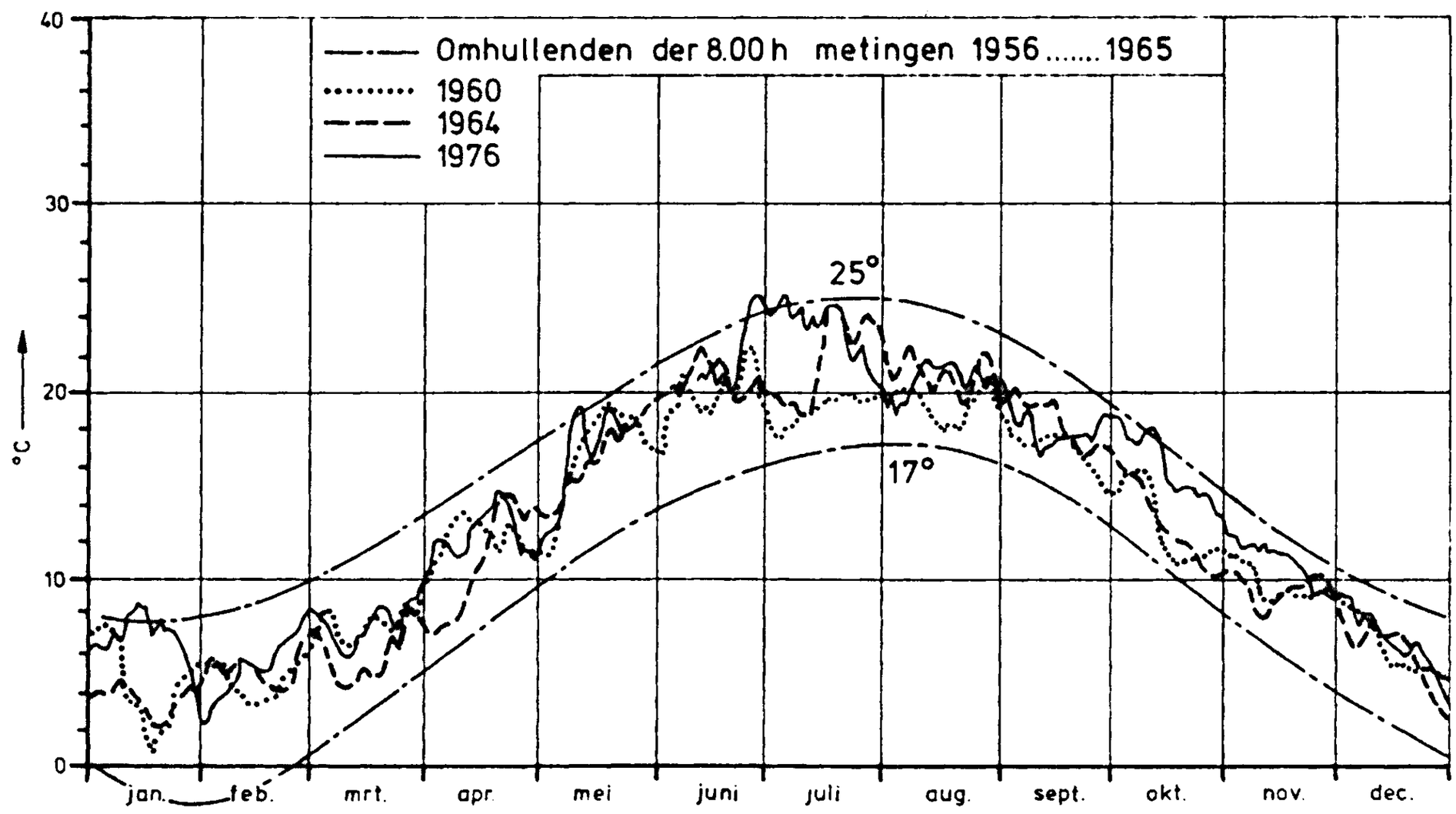
De concentratie van verschillende stoffen hangt, behalve van de grootte van de afvoer, mede af van tal van andere factoren, natuurlijke zowel als kunstmatige. Een beoordeling van de kwaliteit moet dan ook in dit licht gedaan worden. Voor statistische analyse van kwaliteitsparameters en de bepaling van trends hierin zijn lange tijdreeksen nodig. Deze zijn nog niet in voldoende mate aanwezig, zodat op de kansaspecten van de waterkwaliteit nog niet kan worden ingegaan.



Figuur 19: Berekende relatie neerslag-Bovenrijnafvoer bij bepaalde onderschrijdingspercentages van de combinatie van deze grootheden (8).

TEMPERATUUR

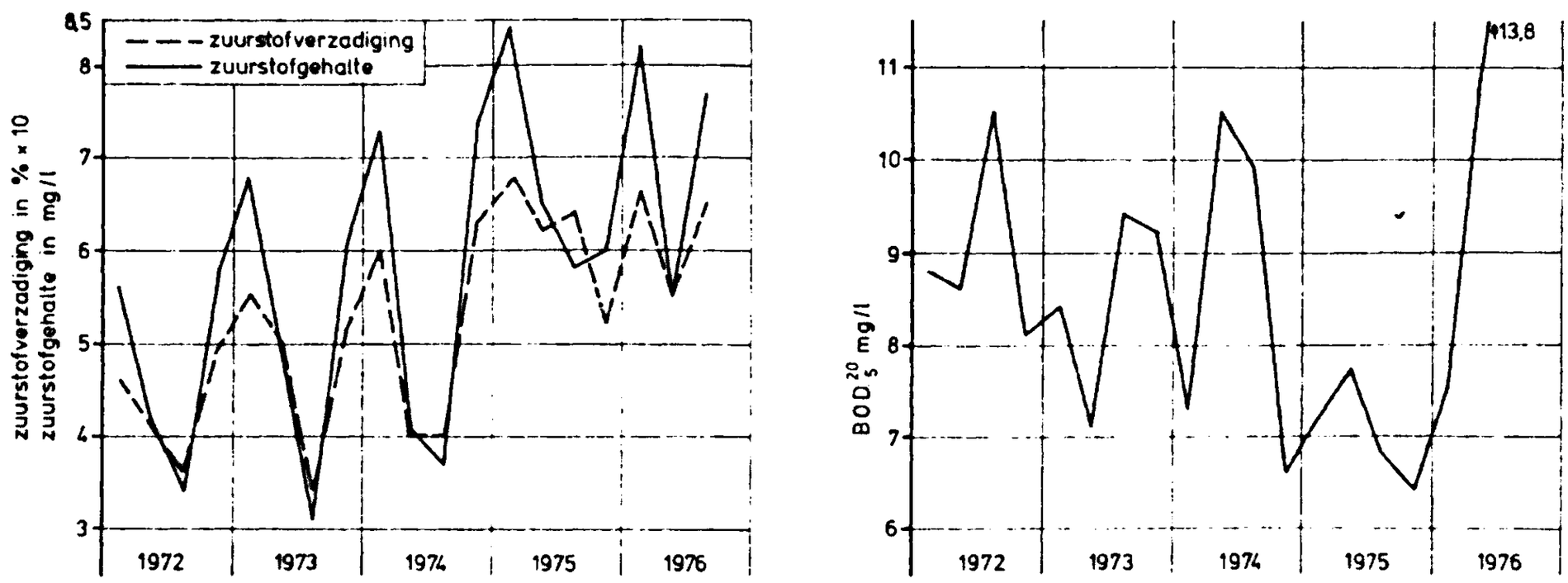
Bij Lobith waren de temperaturen van het Rijnwater in 1976 aan de hoge kant. Regelmatig werden temperaturen boven de 24°C gemeten. De temperatuur steeg zelfs vijfmaal boven de 24,9°C, tot dat jaar de hoogste waarde in een zeventigjarige waarnemingsperiode. Op 5 juli werd een maximum van 25,2°C bereikt (figuur 20). Een van de oorzaken van deze hoge temperaturen moet gezocht worden in de kunstmatige opwarmingen tengevolge van koelwaterlozingen. Daarnaast hebben uiteraard de klimatologische omstandigheden en de lage rivierafvoer een belangrijke invloed gehad.



Figuur 20: Watertemperaturen van de Rijn te Lobith (8).

ZUURSTOF

Uitloging en materiaaltransport waren door de geringe afvoer minder dan normaal. Daarnaast is een deel van de zwevende stof in de rioleringen en beken bezonken. Mede door de grote zuiveringsinspanningen bovenstrooms is het zuurstofgehalte van het Rijnwater minder sterk gedaald dan in eerdere overeenkomstige jaren. De zuurstofgehalten zijn zelfs in het algemeen normaal geweest (figuur 21).



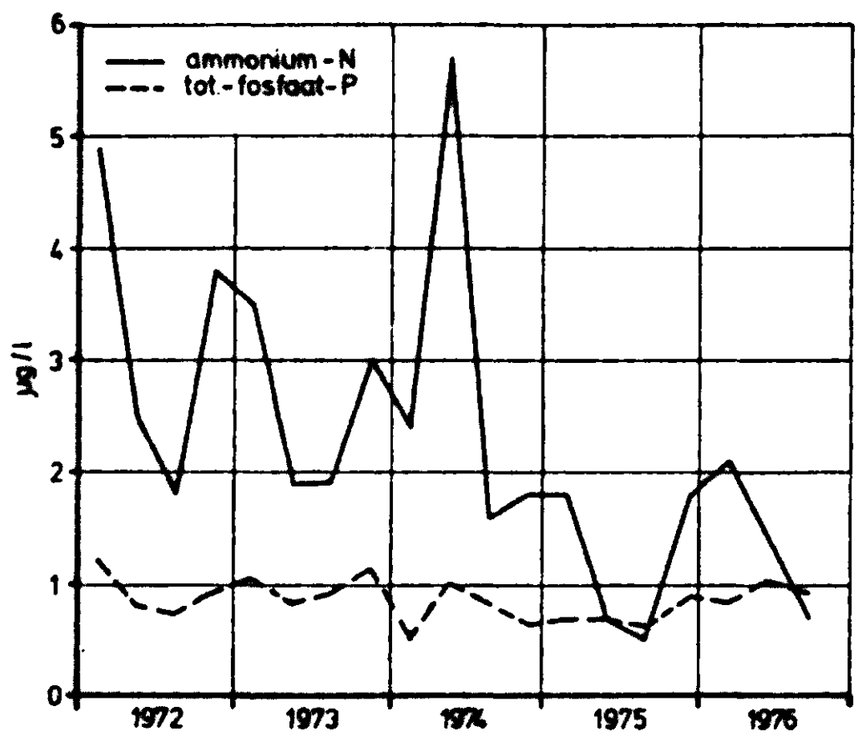
Figuur 21: Zuurstofgegevens van het Rijnwater bij Lobith 1972-1976 (8).

STIKSTOF

De al sinds 1972 dalende tendens in het NH_4-gehalte heeft zich ook in 1976 voortgezet met als gevolg, dat in dit opzicht de kwaliteit van de Rijn in de droogteperiode geen extra zorgen bood (figuur 22). De concentratie NO_3 steeg ook in 1976 mede als gevolg van de toename langs de rivier van zuiveringsinstallaties, waardoor nitrificatieprocessen de stikstof en ammoniakgehaltes in het effluent worden verlaagd.

FOSFAAT

De concentratie totaalfosfaat varieert met de afvoer. Er is hier sprake van een tamelijk constante vracht. In het droge jaar 1976 met lage afvoeren was de concentratie dan ook vrij hoog (figuur 22).



Figuur 22: Verloop stikstof- en fosfaatgehalte te Lobith 1972-1976 (8).

ZOUTEN

Ten aanzien van de chloridebelasting van de Rijn is het moeilijk vergelijkingen met voorgaande jaren te maken. De kunstmatige lozingen in de Elzas en aan de bovenstroom van de Moezel hebben een belangrijk aandeel in deze belasting. Bij lage afvoeren kunnen de lozingen worden opgehouden. Als de afvoer zich weer voldoende heeft hersteld, kan deze vracht weer versneld worden geloosd. Een vergelijking die ten aanzien van de chloridebelasting het meeste inzicht geeft, is die tussen 1976 en de periode 1971-1973. In deze periode bleef de kunstmatige chloridebelasting min of meer constant met een gemiddelde vracht

van 297 kg Cl'/s. Vergelijken we de cijfers van deze en volgende jaren met 1976 (tabel 18), dan blijkt dat er in 1976 een vermindering is opgetreden, vooral in de periode dat de grote droogte zich voordeed. De chloride-ionenconcentratie is met name in de zomer beduidend beneden 300 mg/l gebleven. De gehalten hebben echter absoluut gezien toch grote problemen gegeven.

kwartaal	1971		1972		1973		1974	
	$\bar{Q}$ in m^3/s	kg Cl'/s kunstm.	$\bar{Q}$ in m^3/s	kg Cl'/s kunstm.	$\bar{Q}$ in m^3/s	kg Cl'/s kunstm.	$\bar{Q}$ in m^3/s	kg Cl'/s kunstm.
I	1653	331	1011	283	1489	314	2267	354
II	1716	325	1701	315	2106	337	1475	321
III	1411	254	1577	286	1577	269	1666	294
IV	1030	272	1733	262	1853	320	3262	390
jaargem.	1451 *	295	1503	287	1754	310	2177	340
kwartaal	1975		1976		1971/73			
	$\bar{Q}$ in m^3/s	kg Cl'/s kunstm.	$\bar{Q}$ in m^3/s	kg Cl'/s kunstm.	$\bar{Q}$ in m^3/s	kg Cl'/s kunstm.		
I	2705	378	1784	306	1384	309		
II	2305	331	1289	258	1841	326		
III	2210	257	1044	223	1522	270		
IV	1466	296	1296	287	1539	285		
jaargem.	2170	313	1333	268	1569	297		

* Als jaargemiddelden zijn hier vermeld de werkelijke jaargemiddelden. De kwartaalgemiddelden zijn de gemiddelden van de 9 decaden gemiddelden per kwartaal. De grootste afwijking tussen de werkelijke gemiddelden en de gemiddelden uit de decaden is 9 m^3/s.

Tabel 18: Gemiddelde kunstmatige chloride-ionvracht en gemiddelde afvoer Rijn te Lobith (1971-1976) (8).

HARDHEID

In de hardheid van het Rijnwater is in 1976 geen duidelijke afwijking ten opzichte van voorgaande jaren geconstateerd.

Het droge jaar heeft met betrekking tot de Rijnkwaliteit geen opzienbarende, negatieve, effecten opgeleverd.

3.2. DE MAAS

3.2.1. AFVOERVERLOOP

De afvoer van de Maas wordt geheel bepaald door neerslag en verdamping. Het karakter van de afvoer wordt beïnvloed door de hydrolo-

gische en geologische eigenschappen van haar stroomgebied. De verhouding tussen de grootste en kleinste afvoer is veel groter dan 21 zoals bij de Rijn. In de periode 1911 t/m 1967 bedroeg de grootste dagafvoer 3000 m^3/s en de kleinste enkele m^3/s.

Het eerste deel van het stroomgebied van de Maas bestaat uit doorlatende heuvels van kalkachtig materiaal. Hier infiltreert een groot deel van de neerslag en komt ondergronds tot afstroming. De grondwaterafvoer vormt de basisafvoer, die ervoor zorgt dat in het algemeen in de zomer de Maas in Nederland nog enige afvoer kent. Het vertragingseffect van deze grondwaterberging op de afstroming is ca. 3 à 6 maanden.

Meer stroomafwaarts bereikt de Maas het Ardennen-massief, een uit voornamelijk harde ondoorlatende rotsgesteenten bestaand heuvelgebied. Er is hier bijna geen neerslagberging in de bodem. Neerslag en smeltende sneeuw komen, mede door de vele steile hellingen snel tot afstroming. De rivierafvoer krijgt hierdoor een samengesteld karakter: de hier rechtstreeks en via de zijrivieren naar de Maas afstromende hoeveelheden worden gesuperponeerd op de uit Frankrijk afkomstige basisafvoer.

Na het gebied van de Ardennen stroomt de Maas door hoge gronden, waar enige aanvulling vanuit het grondwater plaatsvindt om tenslotte in de delta uit te monden. In het laatste deel van het stroomgebied vindt nog enige aanvulling vanuit zijrivieren plaats, waarbij de Roer de belangrijkste bijdrage levert. Deze verzekert de Maas zelfs in de droogste perioden nog van een voeding van 10 à 12 m^3/s.

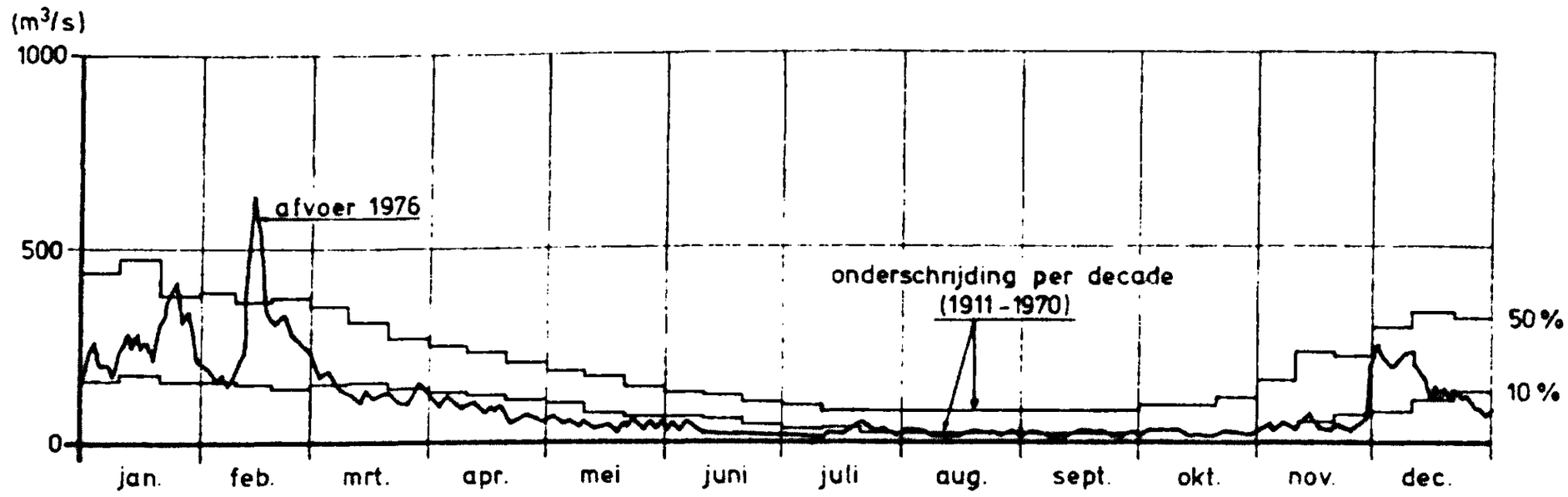
Voor een kenschetsing van het regime kan naast het genoemde verschil tussen hoogste en laagste dagafvoer over een reeks van jaren, de jaarlijkse gang in de maandgemiddelden van de afvoer en de verhouding tussen zomer- en winterafvoer gebruikt worden. De normale jaarafvoer van de Maas bij Borgharen is ca. 260 m^3/s, terwijl de normale maandgemiddelden tussen 70 en 430 m^3/s liggen. Door toestroming vanuit vele beekjes en riviertjes neemt de afvoer stroomafwaarts nog verder toe. De bij de laatste stuw in de Maas te Lith gemeten afvoeren geven aan hoeveel Maaswater de delta binnenstroomt. Het jaargemiddelde is hier ca. 320 m^3/s, terwijl de normale maandgemiddelden variëren tussen 135 en 640 m^3/s.

In plaats van de afvoergegevens te Borgharen te gebruiken, wordt

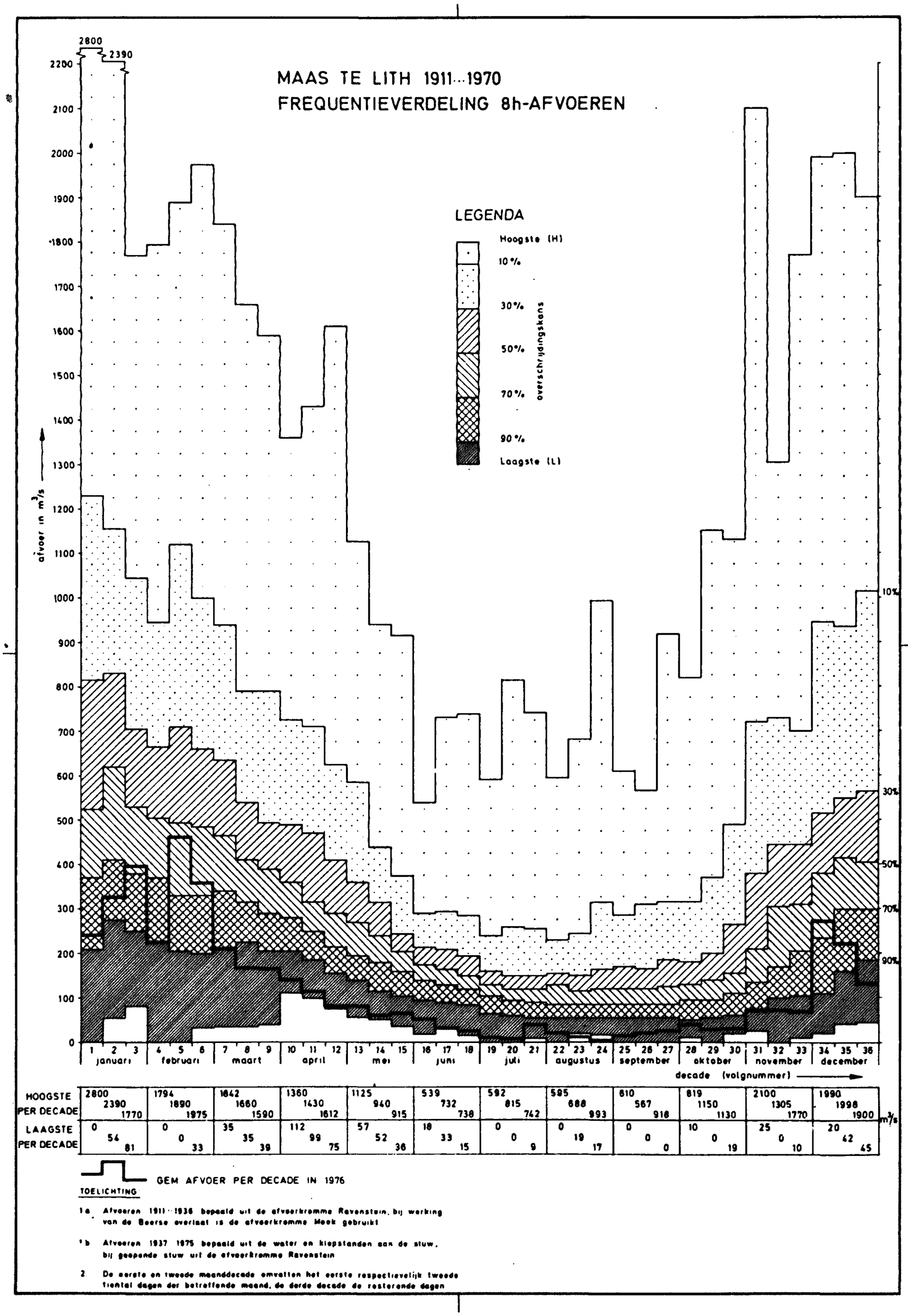
wel gewerkt met de zogenaamde onverdeelde Maasafvoeren te Monsin. Dit is een kunstmatig verkregen afvoerreeks, die wordt berekend door bij de rivierafvoer te Borgharen de debieten via de verschillende bovenstrooms hiervan gelegen, van Maaswater voorziene kanalen op te tellen (10). Men gebruikt hiervoor Monsin, juist bovenstrooms van het Albertkanaal, omdat zodoende bepaald is hoeveel water er van nature door de Maas Nederland zou zijn binnengestroomd. De aftappingen, die in rekening worden gebracht, zijn het Julianakanaal, de voedingsduiker Maastricht, de sluis Bosscheveld, het Albertkanaal en de sluis te Lanaken. Zo bedroeg de correctie in de periode 1947 t/m 1966 28 m^3/s, terwijl deze in de periode 1967 t/m 1970 op 31 m^3/s is bepaald (11).

In theorie heeft men nu een homogene reeks, die niet verstoord is door veranderingen in de infrastructuur. Anderzijds zijn de gegevens van deze reeks niet direct gemeten, doch afgeleid uit verschillende componenten. Bij statistische analyses dient men dan ook voorzichtig te zijn met conclusies, die uit de onverdeelde Maasafvoeren te Monsin worden getrokken. Naast de gegevens van Borgharen en Monsin wordt ook wel gebruik gemaakt van afvoercijfers voor een raai bij Eijsden. Voor een verdere karakterisering van het afvoerverloop van de Maas wordt verwezen naar de literatuur (11, 13).

Evenals bij de Rijn begon de droogte van 1976 voor de Maas al vroeg in het jaar. Na een top in de tweede decade van februari nam de afvoer snel af (tabel 19 en 20). Vanaf begin maart is verder nagenoeg het hele jaar de afvoer beneden de 10% onderschrijdingslijn gebleven (figuur 23 en 24). Alleen gedurende de eerste twee decaden van december was de afvoer iets groter.



Figuur 23: Afvoerverloop van de Maas te Borgharen in 1976 (8).



Figuur 24: Verloop gemiddelde decade-afvoeren van de Maas te Lith vergeleken met 1976 (8).

dag	jan.	febr.	maart	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.
1	132	285	324	135	78	66	22	9	6	56	28	290
2	159	204	225	155	78	49	10	28	23	27	61	355
3	285	312	216	184	75	72	10	16	20	28	17	267
4	315	237	222	144	175	51	20	17	16	30	155	355
5	288	213	222	144	78	66	20	35	13	15	208	141
6	258	213	196	152	95	51	10	36	14	105	20	235
7	264	219	179	149	68	38	9	36	16	56	27	226
8	315	195	182	127	51	38	2	32	14	38	105	258
9	234	207	169	92	61	38	14	16	16	23	55	245
10	180	196	175	127	47	55	2	0	16	23	58	356
11	225	198	152	144	46	48	0	26	46	32	78	327
12	354	297	162	95	55	47	0	23	20	31	39	284
13	369	390	155	116	72	38	0	23	0	40	75	322
14	354	501	168	124	49	29	0	0	20	38	74	268
15	396	723	172	124	78	22	0	3	0	43	74	236
16	315	747	235	95	58	24	48	17	23	33	118	194
17	288	525	144	95	48	40	16	0	27	17	175	149
18	354	456	149	124	75	30	0	0	35	35	49	187
19	324	429	181	124	47	20	16	6	20	14	28	130
20	315	378	172	95	85	27	15	3	20	29	32	130
21	261	411	155	124	48	40	2	3	13	39	52	165
22	420	378	155	74	62	30	69	6	20	35	56	177
23	459	411	152	104	101	22	48	6	40	44	60	152
24	468	369	121	71	81	24	23	13	28	35	71	109
25	453	384	133	58	47	23	44	0	39	43	72	155
26	450	357	127	101	78	22	38	6	16	9	73	149
27	462	324	155	75	72	23	40	6	14	17	119	147
28	363	197	231	101	72	22	31	0	36	52	52	130
29	438	297	253	78	51	22	53	3	27	30	35	75
30	330		202	57	47	22	13	6	30	38	104	126
31	270		166		72		34	6		14		114

Tabel 19: Maas te Lith 1976. Dagelijkse 8h-afvoeren in m^3/s.

De minimumafvoeren van 1976 bij Eijsden zijn voornamelijk veroorzaakt door lekverliezen van de stuw bij Visé. Bij Lith werden deze minimumafvoeren bepaald door lek- en schutverliezen van stroomopwaarts gelegen stuwpanden, de afvoer van de Roer en andere zijrivieren, die in Nederland in de Maas uitmonden, de toestroming van grondwater in de Maasvallei, alsmede onttrekkingen ten behoeve van aangrenzende waterschappen en het vullen van het stuwpand Belfeld. Gedurende de zomer was de Roerafvoer circa 12 m^3/s. Er zijn echter perioden geweest, dat de overstort bij de stuw te Lith praktisch nihil was. Tezamen met het lek- en schutverlies wordt hier het minimumdebiet in 1976 geschat op 4 à 5 m^3/s.

Voor de afvoeren te Lith in 1976 is een vergelijking gemaakt met het verloop van het decadegemiddelde voor de periode 1911-1960 (tabel 21).

maand	decade	afvoer	maand	decade	afvoer
april	1	99,0	augustus	1	13,8
	2	75,2		2	10,4
	3	52,3		3	10,0
mei	1	50,9	september	1	10,6
	2	36,2		2	16,9
	3	41,6		3	15,2
juni	1	32,9	oktober	1	20,5
	2	18,0		2	14,5
	3	15,8		3	18,7
juli	1	11,1	november	1	32,2
	2	16,0		2	37,5
	3	27,5		3	39,5

Tabel 20: Maas te Eijsden; afvoer in m^3/s gemiddeld per decade voor de periode april-november 1976 (10).

Hier zijn met name in de tweede decade van juni (32 m^3/s) en in de tweede en derde decade van augustus (resp. 11 en 5 m^3/s) absolute decademinima geregistreerd. Ook de maandgemiddelden zijn in 1976 zeer uitzonderlijk geweest. In de periode april t/m september werden in 1976 de laagste maandafvoeren sinds 1911 geregistreerd (tabel 22), terwijl in oktober de maandafvoer een met 1947 gedeeld minimum bereikte. Bezien we tenslotte de gemiddelde jaarafvoeren, dan blijkt dat ook hier in 1976 een nieuw minimum sinds 1911 werd bereikt (tabel 23).

3.2.2. WATERKWALITEIT

Bij lage afvoeren wordt een groot deel van de kwalitatieve belasting van de Maas via het Albertkanaal naar de Schelde-delta en via de Zuid-Willemsvaart naar elders afgevoerd. Dat desondanks enige kwaliteitsparameters in 1976 belangrijk afweken van normaal is te wijten aan de zeer geringe debieten in de droge perioden.

Het Maaswater, dat bij Eijsden Nederland binnenkwam, had in 1976 regelmatig een temperatuur van 24 à 26 ^{o}C. Een enkele maal werd een

maand	decade	1976	1911-1960	%	maand	decade	1976	1911-1960	%
jan	1	243	651	37,3	juli	1	12	136	8,8
	2	328	680	48,2		2	10	138	7,2
	3	398	592	67,2		3	36	135	26,7
	M	325	639	50,9		M	20	136	14,7
febr.	1	228	547	41,7	aug.	1	22	127	17,3
	2	464	565	82,1		2	11	135	8,1
	3	359	530	67,7		3	5	155	3,2
	M	350	549	63,8		M	13	140	9,3
maart	1	211	536	39,4	sept.	1	15	145	10,3
	2	169	467	36,2		2	21	147	14,3
	3	168	427	39,3		3	26	164	15,9
	M	182	475	38,3		M	21	152	13,8
april	1	141	399	35,3	okt.	1	40	163	24,5
	2	114	382	29,8		2	31	190	16,3
	3	84	334	25,1		3	32	226	14,2
	M	113	372	30,4		M	34	194	17,5
mei	1	81	300	27,0	nov.	1	73	342	21,3
	2	61	254	24,0		2	74	366	20,2
	3	66	215	30,7		3	69	372	18,5
	M	69	255	27,1		M	72	360	20,0
juni	1	52	179	29,1	dec.	1	273	352	77,6
	2	32	179	17,9		2	223	371	60,1
	3	25	163	15,3		3	136	436	31,9
	M	37	174	21,3		M	208	388	53,6
					J		120	318	37,7

M is dagelijkse 8-h afvoer, gemiddeld over een maand; J is dagelijkse 8-h afvoer, gemiddeld over een jaar.

Tabel 21: Maas te Lith; dagelijkse 8h-afvoeren in m^3/s gemiddeld per decade, maand en jaar; 1976 vergeleken met langjarige gemiddelden (8).

Jaar	jan.	feb.	maart	april	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.	jaar
1921	487	291	158	116	104	91	45	42	44	43	57	66	128
1933	303	367	319	158	214	160	110	79	69	81	142	171	180
1934	248	187	328	184	147	77	61	52	52	61	116	345	155
1947	230	127	637	589	189	118	80	48	49	34	89	242	203
1949	334	219	325	193	123	173	50	48	50	46	81	279	160
1953	459	661	337	221	77	109	133	72	54	43	58	63	188
1959	837	330	281	288	211	122	69	92	60	49	89	145	214
1964	172	310	284	250	148	103	34	50	49	91	337	349	181
1971	299	500	261	165	148	173	126	70	53	53	132	168	177
1972	175	298	159	354	215	149	129	191	117	67	340	242	202
1973	132	458	256	244	259	164	69	48	33	79	144	476	195
1976	325	350	182	113	69	37	20	13	21	34	72	208	120

Tabel 22: Maas te Lith, periode 1911-1976. Afvoeren gemiddeld per maand en jaar, 1976 vergeleken met andere bekende droge jaren (8).

jaar	1976	1921	1934	1949	1971	1933	1964	1953	1973	1947	1959
afvoer	120	128	155	160	177	180	181	188	195	203	214

Tabel 23: Maas te Lith, periode 1911-1976; gemiddelde afvoeren per kalenderjaar in m^3/s op grootte gerangschikt (8).

maximum van 28°C bereikt. Daarnaast veroorzaakte het sterk wisselende zuurstofgehalte de nodige problemen, vooral ten aanzien van het leven in de rivier. Het chloridegehalte bereikte in 1976 voor deze rivier ongekend hoge waarden (130 mg Cl'/l) en ook de fosfaatbelasting was aanzienlijk.

Ten gevolge van de zeer lage afvoeren bij Eijsden werd het naar het niet gekanaliseerde deel van de Maas (Grensmaas) doorgevoerde debiet sterk beperkt. De waterkwaliteit van de Grensmaas ging achteruit en er trad een enkele maal vissterfte op.

Mede doordat de Maas tijdens de periode van zeer geringe afvoeren voor een belangrijk deel werd gevoed met water uit riviertjes en beekjes, waarop aanzienlijke afvalwaterlozingen plaatsvonden, was de waterkwaliteit in de zomer 1976 beduidend minder dan normaal.

4. GRONDWATER

4.1. DE GRONDWATERSTANDEN IN 1976, VERGELEKEN MET VOORAFGAANDE JAREN

Het verloop van de grondwaterstand in de tijd en het verschil in grondwaterstand tussen verschillende punten worden door een aantal natuurlijke en kunstmatige factoren bepaald. Tot de natuurlijke factoren behoren onder andere de neerslag en de verdamping, terwijl tot de kunstmatige factoren menselijke ingrepen gerekend kunnen worden zoals verlagingen ten gevolge van grondwateronttrekkingen en verbetering van drainage en de invloed van stuwtjes.

De grondwaterstand is dus een symptoom van een systeem dat beschreven kan worden door aanvulling, afvoer en berging.

De afstroming vindt in Nederland doorgaans ondergronds naar natuurlijke of gegraven waterlopen plaats. Daarnaast staat het grondwater met name 's zomers water af aan de onverzadigde zone, ter aanvulling van het bodemvocht. Ook kunstmatig vindt er afvoer plaats middels onttrekkingen voor industrie-, drink- en landbouwwater. Een groot deel hiervan verdampt of wordt na gebruik op het oppervlaktewater geloosd en komt niet meer ten goede aan het grondwater.

De voeding van het grondwater vindt plaats vanuit de neerslag, door natuurlijke aanvulling vanuit oppervlaktewater en door kunstmatige aanvulling. Hierbij spelen de verdamping en de berging in de onverzadigde zone een belangrijke rol ten aanzien van de mate van aanvulling en het verloop ervan in de tijd. Zonder aanvulling zal de grondwaterstand in het algemeen dan ook belangrijk dalen.

Een en ander betekent, dat ondanks de relatief geringe oppervlakte en de vlakke ligging van Nederland en ondanks de slechts geringe variatie in de meteorologische omstandigheden over het land, de grondwaterstand over het gehele land vrij verschillend reageert op het neerslagpatroon. In feite moet hierbij een onderscheid gemaakt worden tussen drie verschillende systemen van voeding, berging en afvoer. Deze systemen zijn min of meer geografisch gebonden aan het hoge en lage deel van Nederland.

In het hoge deel van Nederland is er veel variatie in de ligging van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. Deels komt dit door de verschillen in hoogteligging van dit gebied, deels door een

combinatie van factoren, zoals doorlatendheid van de bodem en de ligging van het natuurlijke drainagesysteem. We kunnen hier twee typen onderscheiden: een type met vrij ondiepe waterstanden en een type met diepe grondwaterstanden (10m of meer). Het eerste type reageert op vergelijkbare wijze als in het lage deel van Nederland op variaties in de neerslagintensiteit. Het tweede type echter reageert duidelijk anders. De seizoenfluctuaties worden bij het passeren van het neerslagsurplus gedempt door de als buffer optredende onverzadigde zone: ze bedragen in sommige jaren slechts 1 dm. Daarnaast treedt er bij dit type een naijling op, die ruwweg anderhalve week per meter dikte van de onverzadigde zone bedraagt. Het uiteindelijke verloop van de grondwaterstand wordt steeds bepaald door de gesommeerde reacties van het geohydrologische systeem op het neerslagverloop in de tijd. Daarbij is hier soms een meerjarige cyclus tengevolge van een reeks natte of droge winters te onderkennen.

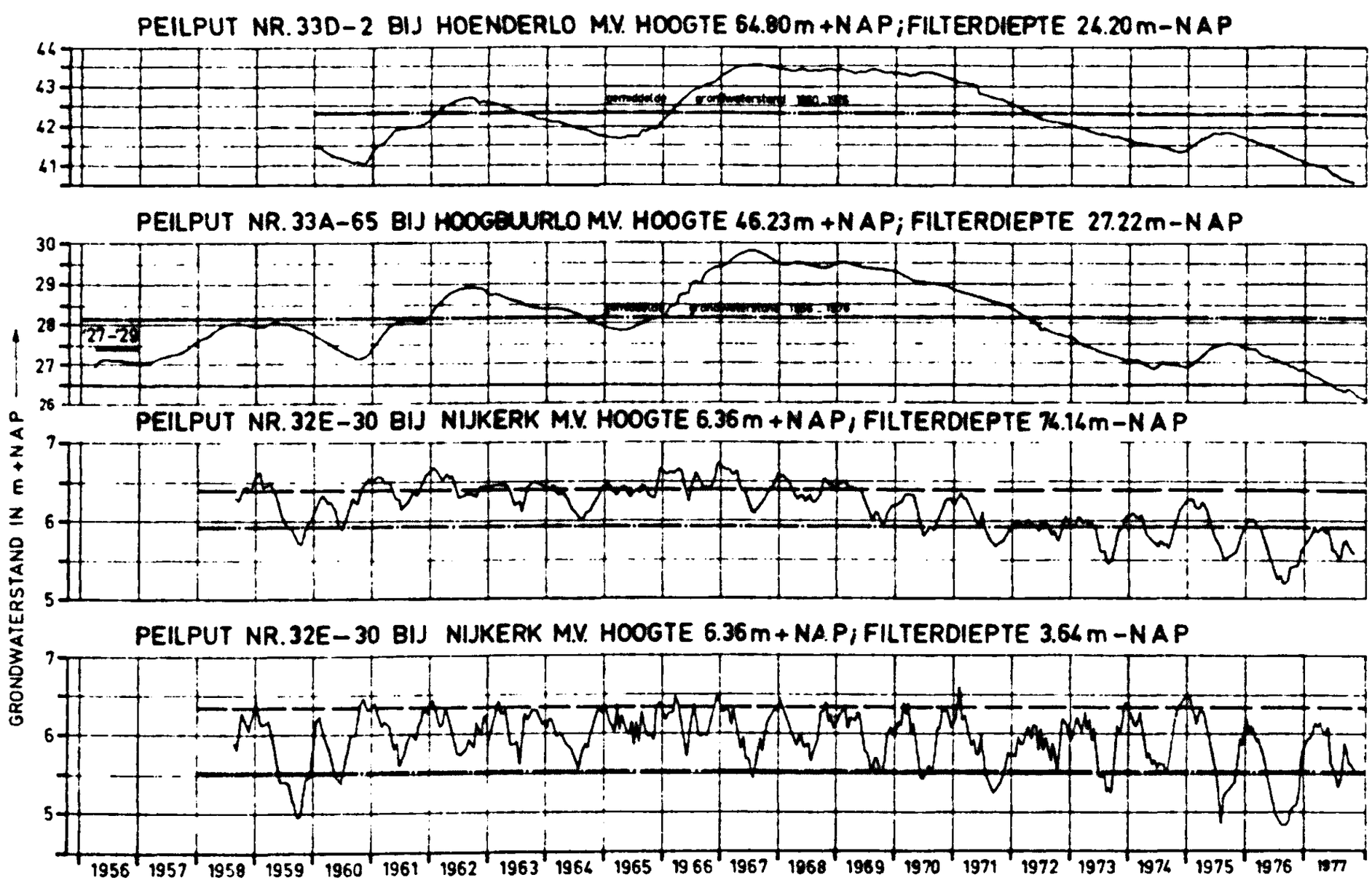
In het lage deel van Nederland wordt de ondiepe grondwaterstand in sterke mate bepaald door de beheerste peilen in de waterlopen. Het grondwaterniveau bevindt zich hier op geringe diepte onder het maaiveld, doorgaans niet dieper dan 1 à 1,5 m.

De grondwaterstand reageert in deze gebieden vrij sterk en snel op elke verandering van de neerslagintensiviteit. Daar in de zomer de verdamping de neerslag overtreft en in de winter de situatie juist omgekeerd is, vertoont de grondwaterstand in de lage gebieden seizoenfluctuaties tot circa 1m. Een meer-jaarlijkse trend ten gevolge van bijvoorbeeld een serie winters met weinig neerslag is hier niet te onderkennen.

Vanwege het grote verschil in het gedrag van de grondwaterstand in lage gebieden met ondiepe stand en hogere gebieden met diepe stand is het derhalve niet mogelijk het effect van het droge jaar 1976 na te gaan aan één of slechts enkele waarnemingsbuizen op één bepaalde plaats in het land. Om toch tot een overzicht van het karakter van het grondwaterstandsverloop in de droogteperiode van 1976 te komen, wordt hier het tijdstijghoogteverloop van enige punten in het hoge en lage deel van Nederland besproken.

DE VELUWE

De Veluwe is een hoog gelegen gebied met in het algemeen relatief diepe grondwaterstanden, naar het westen overgaand in het lager gelegen Eemdal met ondiepe grondwaterstanden. Opvallend is hier het verschil in karakter van de tijdstijghoogtelijnen van de peilputten op de hoge delen van de Veluwe en nabij de IJsselmeerkust te Nijkerk (figuur 25) (14, 15). Is er bij Nijkerk (32E-30) duidelijk sprake van seizoenfluctuaties, voor de Veluwe (33A-65 en 33D-2) geldt een meerjarig fluctuatiepatroon, waarbij in de periode 1965-1972 de grondwaterstanden hoger dan normaal waren. Sinds 1970 zijn ze echter dalende met een onderbreking in 1975, welke het gevolg was van de zeer natte herfst van 1974.



Figuur 25: Grondwaterstandsverloop in enige punten op de Veluwe (15).
--- meerjarig gemiddelde van de drie hoogste standen per jaar.
-·- meerjarig gemiddelde van de drie laagste standen per jaar.

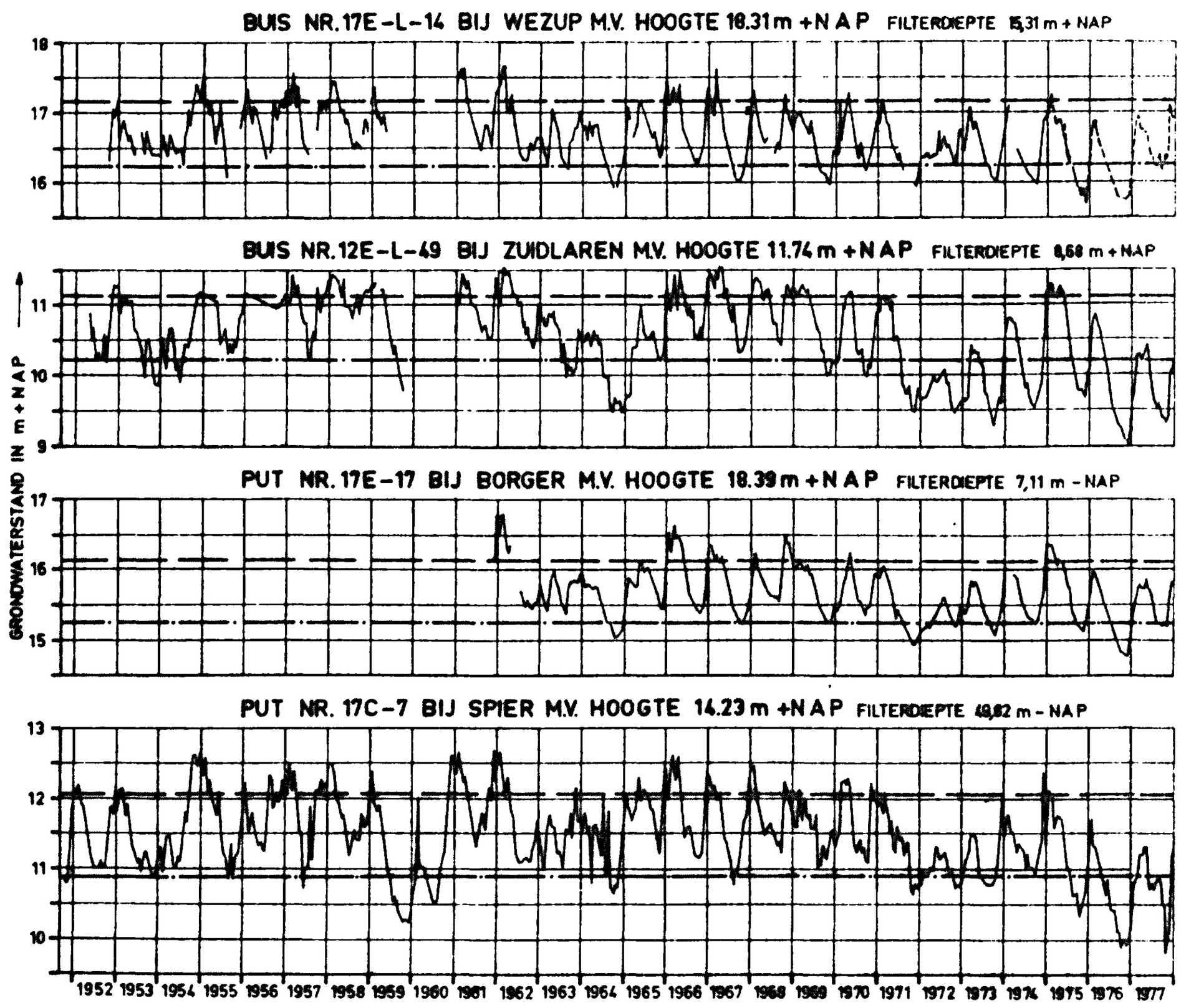
Voor diverse waarnemingspunten op de Veluwe is de naijling ongeveer één jaar. Vooral de neerslag in het winterhalfjaar is bepalend voor het verloop van de grondwaterstand in dit gebied. De lage standen van 1976 zijn hier onder meer het resultaat van de geringe neerslaghoeveelheden die reeds vanaf het voorjaar van 1975 werden waargenomen. Bovendien viel er in de winter van 1975-1976 beduidend min-

der neerslag dan normaal. De droogteperiode eindigde voor het grondwater op de Veluwe pas in december 1976, de eerste maand na de droge zomer dat de neerslaghoeveelheid groter was dan normaal. De reeds aangeduide dalende tendens heeft zich dan ook in 1977 voortgezet. Daarbij zijn de grondwaterstanden vanaf begin 1977 bij de peilputten 33A-65 en 33D-2 de laagste sinds het begin van de recente waarnemingen in respectievelijk 1956 en 1960.

Bezien we peilput 32E-30 bij Nijkerk dan is zowel in het diepe als in het ondiepe grondwater een seizoenfluctuatie te onderkennen.

Daarnaast is er in de stijghoogtelijn van het diepe grondwater een meerjarig effect, dat echter veel kleiner is dan op de Veluwe.

De droogte van 1976 komt bij deze peilput vooral tot uiting in het minimum, dat in augustus 1976 is geregistreerd bij het diepe grondwater. In de op de droogteperiode volgende winter heeft de grondwaterstand zich hier dicht bij het maaiveld duidelijk meer hersteld dan op grotere diepte.



Figuur 26: Grondwaterstandsverloop in enige punten op het Drents Plateau (15).
--- meerjarig gemiddelde van de drie hoogste standen per jaar.
-·- meerjarig gemiddelde van de drie laagste standen per jaar.

HET DRENTS PLATEAU

Het Drents plateau behoort tot de hogere gebieden met een in het algemeen vrij ondiepe grondwaterstand. Voor enige punten in een van Meppel naar Zuidlaren lopende raai zijn de tijdstijghoogtelijnen gegeven (figuur 26) (14, 15).

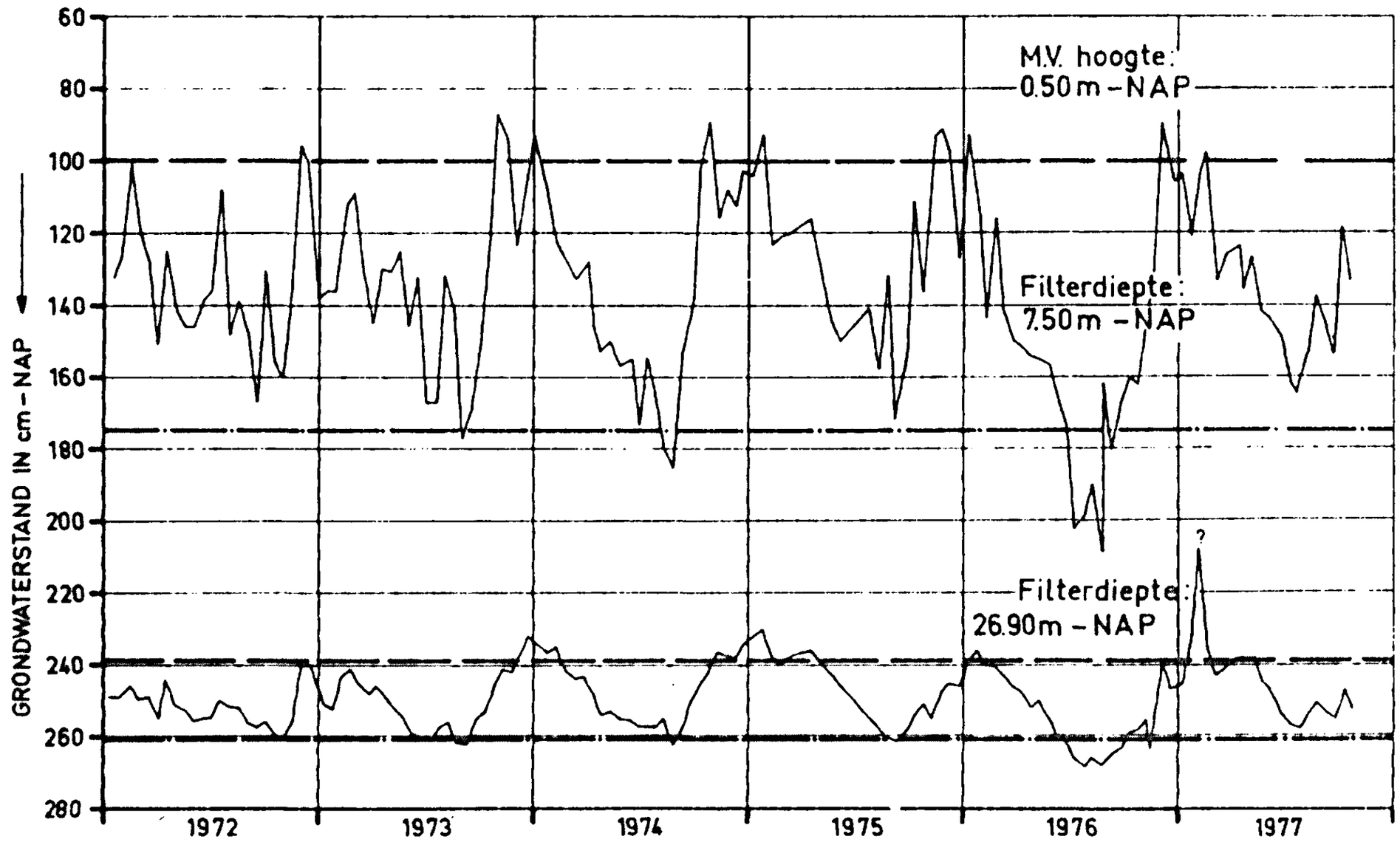
Voor deze punten kan worden opgemerkt dat de laagste stand van het grondwater in 1976 niet meer dan 0,25 à 0,35 m beneden de eerder waargenomen minima is geweest. Vergelijken we de grondwaterstanden op het plateau met het meerjarig gemiddelde van de drie hoogste standen per jaar, dan blijkt dat het grondwaterpeil zich in 1977 niet geheel hersteld heeft.

In de zomer van 1977 werd in enkele van de weergegeven punten opnieuw een zeer laag niveau bereikt.

HOORN (NOORD-HOLLAND)

Als voorbeeld voor de situatie in het lage deel van Nederland waar doorgaans door wateraanvoer van elders een constant peil wordt gehandhaafd, is een peilput bij Hoorn gekozen (figuur 27). De stijghoogte in het pleistocene pakket fluctueert hier slechts in geringe mate. De laagste standen in 1976 waren nog geen 0,10 m lager dan het meerjarig gemiddelde van de drie laagste standen per jaar. Bij het ondiepe filter, dat zich in de afdekkende holocene afzettingen bevindt, zijn de verschillen wat groter. Het minimum lag hier circa 0,30 m lager dan genoemd meerjarig gemiddelde. In beide peilbuizen heeft de grondwaterstand in de winter van 1976-1977 weer een normaal niveau bereikt.

Opgemerkt kan worden, dat hier een beschouwing over de grondwatersituatie in Zeeland in 1976, in verband met de mate van droogte aldaar, op zijn plaats zou zijn. Echter in de tot nu toe uitgevoerde onderzoeken is aan de grondwaterstanden in 1976 in dit gebied geen aandacht besteed, zodat er in deze bijdrage niet verder op kan worden ingegaan.



Figuur 27: Grondwaterstandsverloop in een waarnemingsput bij Hoorn (15).
--- meerjarig gemiddelde van de drie hoogste standen per jaar.
-•- meerjarig gemiddelde van de drie laagste standen per jaar.

4.2. STATISTISCHE ANALYSE VAN HET STIJGHOOGTEVERLOOP EN DE RELATIE GROND-WATERSTAND-NEERSLAG

Bij de aanwezigheid van lange reeksen stijghoogte waarnemingen is een statistische analyse mogelijk. Daarbij wordt ondermeer gezocht naar enige tijdafhankelijke kenmerken van de waarnemingsreeks, de frequentiekarakteristiek van de waargenomen stijghoogten, een relatie tussen meerdere reeksen onderling en een relatie tussen grondwaterstijghoogten en andere parameters, bijvoorbeeld de nuttige neerslag.

Met betrekking tot de droogte van 1976 zijn enige van dergelijke analyses uitgevoerd voor het gebied Gelderse Vallei-Veluwe en voor enkele delen van de oostelijke en zuidelijke zandgebieden. (16, 17).

Het verloop van de grondwaterstand, vooral in het voorjaar en in de zomer, kan van grote invloed zijn op de vochtvoorziening van de gewassen. Daarbij zijn vooral de in de droge perioden optredende afwijkingen van het normale grondwaterstandsverloop van belang. Dit geldt in het bijzonder voor de zandgebieden, daar de grondwaterstand in deze gebieden slechts in geringe mate wordt beheerst.

De droogte van 1976 is aanleiding geweest om te onderzoeken in

Nr.	relatie	correlatie-coëfficiënt	aantal waarnemingspunten
I	$Y_{71-75} = 1,00X_{71-75} + 43,3$	0,93	43
II	$Y_{50-75} = 0,99X_{50-75} + 36,0$	0,85	21
III	$Y_{76} = 1,13X_{76} + 47,0$	0,82	31
IV	$X_{71-75} = 0,92X_{50-75} + 18,8$	0,90	27
V	$X_{76} = 0,98X_{71-75} + 28,2$	0,92	42
VI	$X_{77} = 0,99X_{71-75} + 4,6$	0,91	33
VII	$Y_{71-75} = 1,07Y_{50-75} + 12,3$	0,94	21
VIII	$Y_{76} = 1,12Y_{71-75} + 18,8$	0,92	21

X_{71-75} = het gemiddelde van de grondwaterstanden in het voorjaar over de periode van 1971 t/m 1975 per buis in cm minus maaiveld.

Y_{76} = de zomergrondwaterstand in 1976 per buis in cm minus maaiveld.

I het verband tussen de gemiddelden van de voorjaars- en zomergrondwaterstanden voor de periode 1971 t/m 1975.

II idem voor de periode 1950 t/m 1975.

III idem voor 1976.

IV de relatie tussen de voorjaarsgrondwaterstand in de periode 1971 t/m 1975 en 1950 t/m 1975.

V idem in 1976 en de periode 1971 t/m 1975.

VI idem in 1977 en de periode 1971 t/m 1975.

VII het verband tussen de zomergrondwaterstand in de periode 1971 t/m 1975 en 1950 t/m 1975.

VIII idem in 1976 en de periode 1971 t/m 1975.

Tabel 24: Overzicht van de diverse onderzochte relaties tussen de grondwaterstand in het voorjaar en in de zomer voor de perioden 1971 t/m 1975, 1950 t/m 1975 en de jaren 1976 en 1977 (17).

hoeverre voor enkele delen van deze gebieden de voorjaarsgrondwaterstand (28 april) en de zomergrondwaterstand (28 augustus), zoals die in 1976 optraden, afweken van de gemiddelden van deze standen in de periode 1971 t/m 1975 en 1950 t/m 1975. Deze analyse betrof de grondwaterstand in enige delen van de oostelijke en zuidelijk zandgronden (17).

In tabel 24 is een overzicht gegeven van de diverse relaties, welke zijn vastgesteld. Op basis van deze relaties zijn de verschillen bepaald tussen de voorjaars- en zomergrondwaterstanden in de verschillende perioden. Voor een drietal waarden van het gemiddelde van de voorjaarsgrondwaterstand in de periode 1950 t/m 1975 is, met behulp van de in tabel 24 aangegeven regressievergelijkingen, nagegaan met welke grondwaterstanden deze drie gemiddelde grondwaterstanden corresponderen. Van de vergelijkingen II en III (tabel 24) is vanwege de betrekkelijk lage waarden van de bijbehorende correlatiecoëfficiënten, bij deze berekeningen geen gebruikt gemaakt. Het resultaat van de uitgevoerde berekeningen is opgenomen in tabel 25.

periode	grondwaterstand in m minus maaiveld		
voorjaar 1950 - 1975	0,70	1,10	1,50
zomer 1950 - 1975	1,07	1,41	1,75
voorjaar 1971 - 1975	0,83	1,20	1,57
zomer 1971 - 1975	1,26	1,63	2,00
voorjaar 1976	1,10	1,46	1,82
zomer 1976	1,60	2,02	2,43
voorjaar 1977	0,87	1,23	1,60

Tabel 25: Voorjaars- en zomergrondwaterstanden in verschillende perioden afgeleid uit een drietal aangenomen waarden voor de voorjaarsstand in de periode 1950 - 1975 (17).

De afwijkingen in de voorjaarsgrondwaterstand van 1976 bedroegen volgens tabel 25 bij vergelijking met de periode 1971-1975 0,25 à 0,27 m en bij vergelijking met de periode 1950 - 1975 0,32 à 0,40 m. Bij de zomergrondwaterstand bedroegen deze afwijkingen respectievelijk 0,34 à 0,43 m en 0,53 à 0,68 m.

De diepe zomergrondwaterstanden in 1976 zijn voor een deel het gevolg van de diepe grondwaterstanden in het voorafgaande voorjaar. Echter, ook de droogte die in de zomerperiode van 1976 optrad, heeft hierop invloed gehad. Als gevolg van deze droogte trad er in 1976 in de periode van 28 april t/m 28 augustus een grotere grondwaterstandsdaling op dan in de overeenkomstige seizoenen van de jaren 1950 t/m 1975 en 1971 t/m 1975.

Voor een aantal landbouwbuizen op de zuidelijke en oostelijke zandgronden is een frequentieanalyse gemaakt van de grondwaterstanden die in de periode 1950 t/m 1975 zijn opgetreden. Bij de bewerking van de stijghoogtegegevens is gebleken, dat voor de onderzochte reeksen de normale verdeling een redelijke benadering van de frequentieverdeling is. Uitgaande hiervan zijn de onderschrijdingsfrequenties van de voorjaars- en zomerstanden in 1976 en de voorjaarsstanden in 1977 bepaald (tabel 26). Geconcludeerd is, dat gemiddeld één maal per tien jaar in het voorjaar diepere grondwaterstanden optreden dan in het voorjaar van 1976 zijn voorgekomen.

nr. peilbuis	onderschrijdingsfrequentie in %		
	voorjaar 1976	zomer 1976	voorjaar 1977
45C - L17	2 %	1,5 %	24 %
45D - L12	3 %	1,2 %	27 %
46C - L30	14 %	1,3 %	-
46D - L22	21 %	0,2 %	58 %
57F - L 7	10 %	2,7 %	52 %
gemiddeld	10 %	1,4 %	40 %

Tabel 26: Onderschrijdingsfrequentie voor de voorjaarsgrondwaterstanden in 1976 en 1977 en de zomerstanden in 1976 voor enkele peilbuizen (17).

De kans dat in het voorjaar diepere grondwaterstanden optreden dan in het voorjaar van 1977 zijn geregistreerd, bedraagt 40%. De diepe grondwaterstanden, welke in de zomer van 1976 zijn waargenomen,

bleken in vele buizen nog niet eerder bereikt te zijn. De kans, dat in een zomer minder diepe grondwaterstanden optreden dan waargenomen zijn in de zomer van 1976, bedraagt 98,6%. Daarbij dient opgemerkt te worden, dat de waarnemingsperiode tamelijk kort is en dat daardoor de betrouwbaarheid van met name de laatstgenoemde frequentiewaarde relatief klein is.

Een andere benadering bij de statistische analyse van grondwaterstanden is de statistische bewerking van tijdstijghoogtelijnen. De tijdstijghoogteverlooplijn van grondwater is een tijdreeks. Tijdreeksen zijn gewoonlijk opgebouwd uit één of meer deterministische componenten en een restcomponent, waarin, afhankelijk van de betreffende tijdreeks, een stochastisch proces te herkennen is.

De verschillende deterministische componenten kunnen zijn: discontinuïteit, persistentie, trend en periodieke fluctuatie.

Tijdstijghoogtereeksen kunnen een discontinuïteit vertonen, wanneer een abrupte wijziging optreedt in het karakteristieke patroon; persistentie houdt in dat de waarde van een variabele gedeeltelijk wordt bepaald door waarde(n) van voorafgaande variabele(n).

Een trend wordt gedefinieerd als een algemene lineaire of niet-lineaire beweging in één bepaalde richting, terwijl de periodieke fluctuatie die in dit kader van belang is, een periode heeft van een jaar ten gevolge van de seizoensinvloed op het grondwater.

Een dergelijke analyse is voor een aantal punten op de Veluwe en in de Gelderse Vallei uitgevoerd (16). Daarbij is de mate van persistentie bepaald door het berekenen van de autocorrelatiecoëfficiënt (r_a). In tabel 27 is voor een tweetal punten (33A-65 en 32E-30) de gemiddelde stijghoogte van het grondwater het tweede watervoerend pakket in het winter- en zomerhalfjaar op deze wijze gecorreleerd met de gemiddelde stijghoogte in het voorafgaande halfjaar. Het blijkt dat deze waarnemingen een grote mate van persistentie vertonen. (zie ook figuur 25).

Bij het testen van deze waarnemingen op de aanwezigheid van een significante daling is gebleken, dat er in dit geval geen reden is een trend te veronderstellen.

Het tijdstijghoogteverloop van freatisch- en spanningswater over de periode 1967-1976 toont een ander beeld. Hier is een trend aanne-

peilpunt	r_a	α	N	betrouwbaarheidsinterval
33 A-65	.85	.05	19	-.50 / .39
32 E-30	.82	.05	17	-.54 / .47

α = signifikantieniveau
N = aantal tijdseenheden

Tabel 27: De autocorrelatiecoëfficiënt van het tweede watervoerend pakket (16).

nemelijk. Analyse van uitsluitend winter- en zomerhalfjaren maakt duidelijk, dat deze dalende trend bij het spanningswater niet seizoengebonden is, dit in tegenstelling met freatisch water, waar de jaarlijkse trend sterker door de daling gedurende de zomer dan door vermindering van de stijging in de winter wordt bepaald.

Nadat de trend is bepaald en de stijghoogtelijn hiervoor is gecorrigeerd kan de gemiddelde seizoenfluctuatie uit gemiddelde halfjaarlijkse waarnemingen bepaald worden. Is ook deze component geëlimineerd dan blijft het resterend proces ter beoordeling over. In drie van de vier onderzochte gevallen heeft dit proces een random karakter, terwijl er in het vierde geval mogelijk sprake is van een op de random component gesuperponeerde langjarige periode (16).

Naast een statistische analyse van het stijghoogteverloop in de tijd, is voor hetzelfde gebied ook een studie verricht naar de relatie tussen de nuttige neerslag en de grondwaterstand (16). Uit de neerslag en de actuele verdamping kan het positieve of negatieve neerslagoverschot worden bepaald. In geval van een negatief overschot in het zomerhalfjaar wordt water aan de bodemvochtvoorraad van de onverzadigde zone onttrokken. De op deze wijze ontstane bodemvochttekorten worden in het winterhalfjaar weer aangevuld. Rekening houdend met deze bodemvochtaanvulling is nu uit het neerslagoverschot de aanvulling van het grondwater te bepalen. Deze aanvulling wordt nuttige neerslag genoemd.

Bij analyse van de nuttige neerslag voor het gebied van de Veluwe en de Gelderse Vallei is gebleken, dat vijf jaar achtereen de voe-

ding van het grondwater beneden normaal is geweest (1969 t/m 1973). Voor 1976 heeft een dergelijke analyse nog niet tot concrete resultaten geleid.

Door de bij de statistische analyse resterende stochastische component te relateren aan het neerslagoverschot is voor freatisch water een correlatie verkregen. Wanneer naar een verband met de nuttige neerslag zou worden gezocht, bestaat er het nadeel dat de daling van de grondwaterstand gedurende de zomer niet in oorzakelijk verband kan worden gebracht met de nuttige neerslag, die ofwel nul of zwak positief is. In het onderzochte geval geeft de analyse van de stochastische component slechts een geringe verbetering ten opzichte van de resultaten die uit de deterministische componenten zijn afgeleid. Daarbij komt dat vooral in extreme jaren, zoals in 1976, de gebruikelijke methodes om de werkelijke verdamping te bepalen zeer onnauwkeurig zijn. Men dient dan ook voorzichtig te zijn ten aanzien van de resultaten van een statistische analyse van de relatie tussen neerslag en grondwaterstand in dergelijke jaren.

5. WATERBEHOEFTE EN WATERVERDELING

5.1. WATERBEHOEFTE IN NEDERLAND

5.1.1. INLEIDING

Met het oog op een optimale verdeling van het beschikbare zoete water is het van belang de waterbehoefte voor verschillende doeleinden te kennen. Aanzienlijke hoeveelheden water zijn nodig voor de dekking van de drink- en industriewaterverbruiken, de bestrijding van de verzilting van de polders en boezems, de suppletie van water voor de landbouw en peilbeheersing ten behoeve van de scheepvaart. Ook voor koeldoeleinden dient veel water beschikbaar te zijn. Daarnaast dient rekening gehouden te worden met de belangen van onder meer natuurbeheer en recreatie. Niet alleen de hoeveelheden zijn daarbij van belang, doch er worden ook eisen aan de kwaliteit van het water gesteld.

De verschillende waterbehoeften zijn niet constant in de tijd. Vele factoren hebben invloed op de actuele waterbehoefte. Eén daarvan is de meteorologische situatie. Zoals reeds is beschreven, is het jaar 1976 uitzonderlijk droog en warm geweest, hetgeen in een aantal sectoren tot een vergroting van de waterbehoefte heeft geleid. Dit biedt de mogelijkheid de waterbehoefte in extreme situaties te vergelijken met de normale toestand.

5.1.2. BEVOLKINGS- EN INDUSTRIELE VERBRUIKEN

In het bevolkingsverbruik wordt voornamelijk voorzien door de waterleidingbedrijven. De waterbehoefte van de industrie wordt voor een deel door eigen winning gedekt, terwijl daarnaast water door de waterleidingbedrijven wordt geleverd. In tabel 28 en 29 wordt het industrieel verbruik (volgens een CBS-enquête 1972) en de waterleverantie door de waterleidingbedrijven weergegeven. Daarbij dient te worden opgemerkt, dat met name het industriële verbruik sinds 1972 aanzienlijk is verminderd.

De vraag naar water is in deze sector niet het hele jaar constant. Met name het bevolkingsverbruik schommelt, waarbij de gemiddelde vraag in de zomer ca. 20% groter en in de winter ca. 20% kleiner dan het jaargemiddelde is. De waterleverantie door de waterleidingbedrijven

aan de industrie is het hele jaar min of meer constant. Bij de eigen winning van de industrie is de variatie ca. 10% boven of onder het gemiddelde. In het algemeen kan men stellen, dat de seizoenwisselingen in de bevolkingsverbruiken door het domineren van de gelijkmatige industrieverbruiken voor het landelijk totaal van geringe betekenis zijn.

industrie uitgezonderd electrische centrales	x 1000 m^3		
	koeling	ander verbruik	totaal verbruik
winning van grondwater	316.944	197.919	514.863
winning van oppervlakte water	2.528.227	150.035	2.678.262
totaal eigen winning	(2.845.171)	(347.954)	(3.193.125)
leidingwater	54.738	163.518	218.256
totaal	2.899.909	511.472	3.411.381

electrische centrales	x 1000 m^3		
	koeling	ander verbruik	totaal verbruik
winning van grondwater	3.000	1.000	4.000
winning van oppervlakte water	7.895.000	34.000	7.929.000
totaal eigen winning	7.898.000	35.000	7.933.000
leidingwater	0	3.000	3.000
totaal	7.898.000	38.000	7.936.000

Tabel 28: Watervoorziening van de industrie in Nederland naar winning en verbruik in 1972 (19).

jaar	huishoudelijk verbruik		niet-huishoudelijk verbruik		eigen verbruik en lekverlies		totaal	
	%	m^3	%	m^3	%	m^3	%	m^3
1972	50,3	481.545.140	42,5	407.226.678	7,2	68.731.622	100	957.503.440
1973	51,1	510.411.631	41,6	416.068.623	7,3	73.227.472	100	999.707.726
1974	51,9	520.267.775	40,9	409.271.521	7,2	72.038.002	100	1.001.577.298
1975	53,2	539.535.261	39,0	394.982.258	7,8	79.205.093	100	1.013.722.612
1976	53,3	577.691.828	38,4	416.099.819	8,3	90.709.446	100	1.084.501.093

Tabel 29: De door de waterleidingbedrijven afgeleverde hoeveelheid water in de eigen voorzieningsgebieden (19).

Naast de kwantitatieve aspecten is voor de openbare en industriële watervoorziening de waterkwaliteit van groot belang. Doorgaans worden er in deze sector scherpe eisen gesteld aan de kwaliteit van de grondstof water.

In 1976 is in een aantal gebieden een verhoogde vraag in het bevolkingsverbruik geconstateerd. Vooral in de maand juli was de gedistribueerde hoeveelheid water relatief hoog (tabel 30). De toename van het waterverbruik varieerde sterk van bedrijf tot bedrijf. Er waren zelfs waterleidingbedrijven, die met een afname van het verbruik geconfronteerd werden. Dit hing onder meer samen met vakanties, toerisme, voorlichtingscampagnes en de soort industriële verbruiken.

5.1.3. BESTRIJDING VAN VERZILTING VAN POLDERS EN BOEZEMS

Op vele plaatsen langs de kust, bij riviermonden en zee-armen kan zout water het land binnendringen en problemen veroorzaken bij de watervoorziening van landbouw, bevolking en industrie. Daarnaast treedt in vele polders zoute kwel op. Dit kwelwater dreigt de waterlopen te verzilten. Om dit tegen te gaan is doorspoelen noodzakelijk. Een andere verziltingsbron is de Rijn. Vooral in perioden met lage afvoeren is het chloridegehalte van deze rivier vaak zorgwekkend.

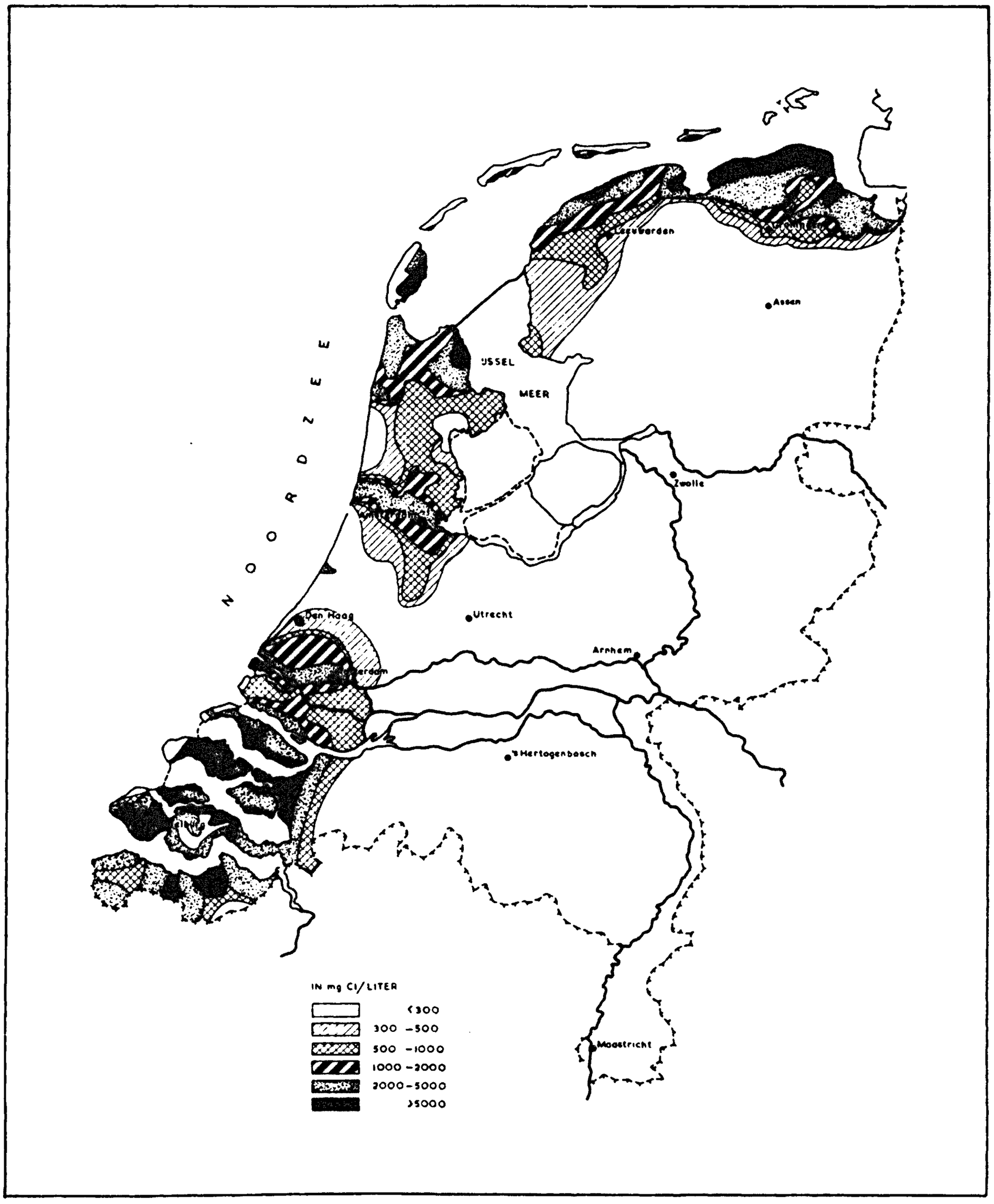
Er zijn vele plaatsen in Nederland die speciaal aandacht vragen met betrekking tot verziltingsproblemen. Genoemd kunnen worden de Nieuwe Waterweg met bedreiging van de zoetwaterinlaat van Delfland en Rijnland aan de Hollandsche IJssel, lek- en schutverliezen bij sluizen (Noordzeekanaal, Afsluitdijk, Volkeraksluizen), zoute kwel in poldergebieden als Delfland, de kop van Noord-Holland, delen van

maand	x $10^6 m^3$		toename 1976 in % t.o.v. 1975
	1975	1976	
jan.	78,0	79,3	1,7
febr.	72,8	77,8	6,9
maart	79,4	83,0	4,5
april	80,1	84,4	5,4
mei	83,1	93,3	12,3
juni	85,6	100,0	16,8
juli	82,4	100,1	21,5
aug.	96,3	102,2	6,1
sept.	82,7	83,6	1,1
okt.	80,9	83,1	2,7
totaal	821,3	886,8	8,0

Tabel 30: De distribuatie door de openbare watervoorziening in de eerste 10 maanden van 1976 in vergelijking met 1975 (20).

de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden en de kuststrook van Groningen en Friesland (figuur 28).

Zoutbestrijding kan op verschillende manieren plaatsvinden en is mede afhankelijk van het karakter van het verziltingsprobleem. In samenhang met de studie over de droogte van 1976 is vooral het verbruik van zoet water van belang. Dit water wordt gebruikt voor doorspoeling van waterlopen en het terugdringen van de zouttong in rivieren en zeearmen. In droge jaren is de behoefte aan doorspoeling vaak groot. Door de grote vraag naar water voor de gewassen mede ten gevolge van de grote verdamping en de geringe neerslag en door de soms beperkte aanvullingsmogelijkheden, dreigt het polder- en boezemwater een hoger chloridegehalte te krijgen dan toelaatbaar is. Een versterkte doorspoeling is vaak echter niet mogelijk, doordat in dergelijke droogteperioden het benodigde zoete water niet in voldoende mate aanwezig is. In 1976 deden zich dan ook omvangrijke verziltingsproblemen voor, onder meer in West-Brabant, bij de Hollandsche IJssel en bij het Noordzeekanaal.



Figuur 28: Chloridegehalte van het boezemwater in een droog jaar (18).

5.1.4. SUPPLETIEWATER VOOR DE LANDBOUW

Suppletiewater is het water dat in de landbouw kunstmatig wordt toegevoerd om van een goede ontwikkeling van de gewassen verzekerd te zijn. Dit water kan door de plant worden onttrokken aan het bodemvocht, hetgeen weer kan worden aangevuld vanuit het grondwater en door beregening en bevloeiing. Voor beregening en bevloeiing kan water zowel aan het grondwater als aan het oppervlaktewater worden onttrokken. Het grondwater kan vaak door aanvulling vanuit het oppervlaktewater min of meer op peil worden gehouden; in de poldergebieden treedt dit vrijwel overal op.

De waterbehoeften voor aanvulling en verversing van polders en boezems en voor suppletie van landbouwgronden tonen zowel in gemiddelde als in droge jaren van maand tot maand grote verschillen (tabel 31) (18).

Maand	Verversing	Suppletiewater	Bevolkingsverbruik	Industrieel verbruik
Januari	4,3%	1%	7%	8,5%
Februari	3	1	7,5	8,5
Maart	6,5	3	8	8,5
April	8,8	5	8,5	8,5
Mei	15,6	14	9	8,5
Juni	16,1	21	10	8,5
Juli	13,3	24	10	8,5
Augustus	9,8	17	9	8,5
September	7,4	9	8,5	8,5
Oktober	5,5	3	8	8,5
November	5,4	1	7,5	8,5
December	4,3	1	7	8,5
Jaar	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabel 31: Relatieve variatie van de waterbehoeften over het jaar (18).

In droge perioden is de vraag naar water vanuit landbouwkringen groter dan normaal. De grote gewasverdamping en de geringe neerslag maken een extra beroep op aanvoer van water noodzakelijk. Ook in 1976 deed zich deze situatie voor. Grote gebieden van Nederland konden nog redelijk van water worden voorzien, met name in de lager gelegen delen van het land. Andere gebieden, zoals een aantal zandgebieden en veenkoloniale gebieden, hadden aanzienlijke watertekorten, mede door de afwezigheid van voldoende aanvoerleidingen. De watervoorziening was hier voornamelijk afhankelijk van het grondwater.

Naast de kwantiteit is ook de kwaliteit van het aangevoerde water van belang. De eisen, die aan de waterkwaliteit gesteld worden hangen af van de agrarische doeleinden waarvoor het water wordt gebruikt (tabel 32).

Teelt	Norm (mg Cl^-/l) [3]
Sterk zoutgevoelige glastuinbouwgewassen [1]	100
Matig zoutgevoelige glastuinbouwgewassen [2]	200
Sierheester	250
Vollegrondstuinbouw en fruitteelt	500
Bouwland en grasland	1000
Veedrenking	2000

1) bijv. komkommer, paprika, sla, gerbera, potplanten
2) bijv. tomaat, anjer, roos
3) sterk respectievelijk matig zoutgevoelige gewassen ondervinden bij de gestelde norm reeds een opbrengstderving van ca. 5%.

Tabel 32: Normen voor het chloridegehalte van het suppletiewater voor agrarische doeleinden (26, naderhand gewijzigd).

5.1.5. SCHEEPVAART

De scheepvaart is gediend bij voldoende vaardiepten, die op rivieren alleen bij bepaalde minimum afvoeren gewaarborgd zijn. Wordt een bepaalde minimum afvoer onderschreden, dan is de vaardiepte geringer. Op kanalen met beheerste waterstand en op gestuwde riviertrajecten moet de wateraanvoer even groot zijn als de onttrekking en verliezen.

Ook aan de toelaatbare stroomsnelheden in de waterlopen worden door de scheepvaart bepaalde eisen gesteld. Deze kunnen de watertransportmogelijkheden van het desbetreffende kanaal beperken.

In droge tijden is in het algemeen de vraag naar water voor het handhaven van vaarpeilen niet veel groter dan normaal. Het is echter niet mogelijk in alle gevallen, mede gezien andere aanspraken, de normale behoefte te dekken. Dientengevolge moeten er soms beperkende maat-

regelen genomen worden ten aanzien van de scheepvaart, zoals het vaststellen van maximum vaardiepten, beperking en aanpassingen van het schutbedrijf bij sluizen en het tijdelijke afsluiten van bepaalde waterwegen.

5.1.6. KOELWATER

Zoals in tabel 28 is aangegeven is het koelwatergebruik in verhouding tot vele andere waterbehoeften zeer groot. Vooral de energiecentrales gebruiken veel water, dat tijdelijk aan de waterbalans in onttrokken en na enige tijd in zijn geheel weer terugkomt, zij het enigszins in temperatuur verhoogd. Naast de temperatuur van het water is ook de beschikbare hoeveelheid hier van belang. In droge, warme zomers kan de koelwatervoorziening problemen ondervinden. Daarbij speelt de hogere temperatuur van het in te nemen water een belangrijke rol. Om aan de van overheidswege gestelde temperatuureisen bij lozing te kunnen voldoen, is soms het innemen van extra water noodzakelijk. Juist in droge tijden is dit niet altijd mogelijk.

5.1.7. NATUURBEHEER

Een van de belangrijkste aspecten bij het natuurbeheer is de vochtvoorziening van de vegetatie. De mate waarin deze verzekerd is, is bepalend voor het karakter van de begroeiing. In vele gebieden hangt de vochtvoorziening van de planten direct samen met de grondwaterstand. Veranderingen in het grondwaterpeil door natuurlijke of kunstmatige factoren hebben dan ook grote gevolgen voor de samenstelling van de vegetatie. Daarnaast is ook een constante kwaliteit van het water van belang.

In droge, warme perioden, zoals de zomer van 1976, is de verdamping groot. De behoefte aan water voor de planten is daardoor eveneens groter dan normaal. Mede doordat natuurgebieden doorgaans geen aparte waterhuishoudkundige eenheid vormen, is het vaak moeilijk aan deze waterbehoefte in voldoende mate tegemoet te komen, zodanig dat de grondwaterstand niet sterker daalt dan in andere jaren. Bij een grote daling van de grondwaterstand treedt er een betere en diepere doorluchting van de bodem op, met als gevolg eutrofiëring. Hierdoor verandert de samenstelling van de vegetatie, hetgeen kan leiden tot het verloren gaan van zeldzame plantensoorten (21).

5.1.8. RECREATIE

Bij het waterbeheer ten behoeve van de recreatie zijn vooral de waterkwaliteit en de peilbeheersing van belang.

Een aantal ziekten worden overgebracht door in het water levende organismen. Ook vervuiling kan water onaantrekkelijk maken voor recreatief gebruik. Naast aan afval, kan men daarbij denken aan de ten gevolge van eutrofiëring hinderlijke toename van algengroei.

In vele gevallen wordt voor de recreatie op en aan het water een goede peilbeheersing verlangd. Vooral de toenemende recreatievaart is daarbij, met name in het zomerhalfjaar, een belangrijke factor, die ook bij beschouwingen over de gevolgen van een droogteperiode voor de scheepvaart dient te zijn betrokken.

Vooral in droge, warme jaren zal het waterbeheer veel met de recreatiebelangen te maken hebben.

5.2. WATERVERDELING

De waterverdeling is in Nederland in beperkte mate een natuurlijk gebeuren. Voor een belangrijk deel behoort de waterverdeling tot de taken van de waterbeheerder. Op landelijk niveau is dit de Rijkswaterstaat. De overige waterverdeling wordt door de provincies en waterschappen geregeld. Voor de uitvoering van het waterbeheer zijn naast de aanwezige bestuurlijke en technische organisaties ook de beschikbare infrastructurele voorzieningen van belang.

Bij de waterverdeling spelen zowel kwantiteit als kwaliteit een rol. In normale jaren is nog voldoende water aanwezig om aan de diverse behoeften te voldoen. In droge perioden kunnen zich echter situaties voordoen, waarbij er een kwantitatieve en/of kwalitatieve schaarste van het water optreedt. In sommige delen van het land kan dan gedurende korte of lange tijd niet, of in onvoldoende mate, het tekort door aanvoer van elders worden opgeheven. In dergelijke gevallen dient een afweging van de belangen van de watergebruikers plaats te vinden om de gevolgen van het optredend watertekort te beperken.

In het droge jaar 1976 is er sprake geweest van een groot watertekort. Dit heeft tot een aantal beheersmaatregelen geleid, die van invloed zijn geweest op de uiteindelijke gevolgen van de droogte in diverse sectoren. In het algemeen zal er hier geen aandacht worden be-

steed aan de afweging van belangen en alternatieven, die tot de door de beheerders genomen maatregelen hebben geleid. Wel zal er worden ingegaan op het effect van de desbetreffende maatregelen op de gevolgen van de droogte.

In het verleden is men wel eens uitgegaan van een zogenaamd 99% droog jaar. De droogte van 1976 heeft het mogelijk gemaakt een betere vergelijking te maken tussen deze analyses en de thans gehanteerde concepties. Daarbij is gebleken, dat begrippen als 99% droog of 95% droog bij het waterbeheer slechts beperkt bruikbaar zijn, doordat het een statistisch gemiddelde situatie weergeeft.

In de praktijk is de onderschrijdingsfrequentie van de waargenomen grootheden van dag tot dag verschillend.

Daarnaast is de ernst van de situatie mede afhankelijk van het verloop van de betrokken grootheden in de voorafgaande perioden. Belangrijk voor de gevolgen van droogteperioden zijn ook de mogelijkheden tot aanvoer van water elders op het juiste tijdstip en in voldoende hoeveelheden van de benodigde kwaliteit. Voor een goede analyse van de factoren die de droogte bepalen, zijn tijdreeksen nodig, met een zodanig tijdstap, dat de voor elke factor van belang zijnde veranderingen in het waarnemingsmateriaal tot uitdrukking komen. Tot op heden is dit niet voor alle betrokken variabelen gerealiseerd. Vooral voor de kwalitatieve grootheden ontbreken lange tijdreeksen met een aanvaardbaar kleine tijdstap.

Bij het voldoen aan de naar tijd en plaats wisselende waterbehoefte is de aanwezige waterhuishoudkundige infrastructuur een belangrijk element. In gevallen dat tekorten optreden of dat de kwaliteit van het beschikbare water onvoldoende is, kunnen de mogelijkheden onderzocht worden om door het nemen van bepaalde maatregelen deze tekorten op te heffen. Deze maatregelen kunnen betrekking hebben op de waterhuishoudkundige infrastructuur, de waterzuivering en de voorraadvorming. In het volgende hoofdstuk zal nader worden ingegaan op de bestaande waterhuishoudkundige infrastructuur en de mogelijkheden ervan in de droogteperiode van 1976.

Zoals even ter sprake is geweest, wordt een belangrijk element bij de verdeling van water gevormd door de meetnetten voor de registratie van diverse kwantitatieve en kwalitatieve grootheden. Het verzamelen van gegevens heeft daarbij zowel betrekking op de water-

bronnen als op de waterbehoeften. Een aantal van deze meetnetten fungeert reeds, zo worden er in het primaire en secundaire net van Rijkswaterstaat waterstandsmetingen verricht en beschikt deze dienst over een temperatuur- en zoutmeetnet. Daarnaast vindt er een periodieke kwaliteitsbemonstering van een aantal oppervlaktewateren plaats door het Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater (RIZA). Verder worden er metingen verricht in de meteorologische stations van het KNMI, in de waarnemingspunten van het Archief van Grondwaterstanden (DGV-TNO) en bij sluizen waar uit de waterstandsregistraties de spui-, inlaat- en schutdebieten kunnen worden afgeleid.

In een periode van droogte is er bij de waterbeheerders een grote behoefte aan veel en nauwkeurige informatie omtrent alle aspecten van de waterbalans. Vooral dient deze informatie ook op regionaal niveau van voldoende omvang en in een aantal gevallen spoedig beschikbaar te zijn. In 1976 is herhaaldelijk gebleken, dat geringe hoeveelheden water (1-5 m^3/s) van veel belang kunnen zijn bij het voorzien in de waterbehoefte, vooral op hogere gronden.

Daarbij is verder naar voren gekomen op welke plaatsen er in de waterverdelingssystemen nog te weinig informatie beschikbaar is. Deels is dit het gevolg van onvoldoend nauwkeurige methoden, deels door het ontbreken van meetapparatuur. Het opstellen van sluitende waterbalansen was daardoor in een aantal gevallen een problematische zaak, vooral voor de kleinere stroomgebieden. Ook de frequentie van de waarnemingen en de dichtheid van het meetnet voor kwalitatieve grootheden waren niet optimaal.

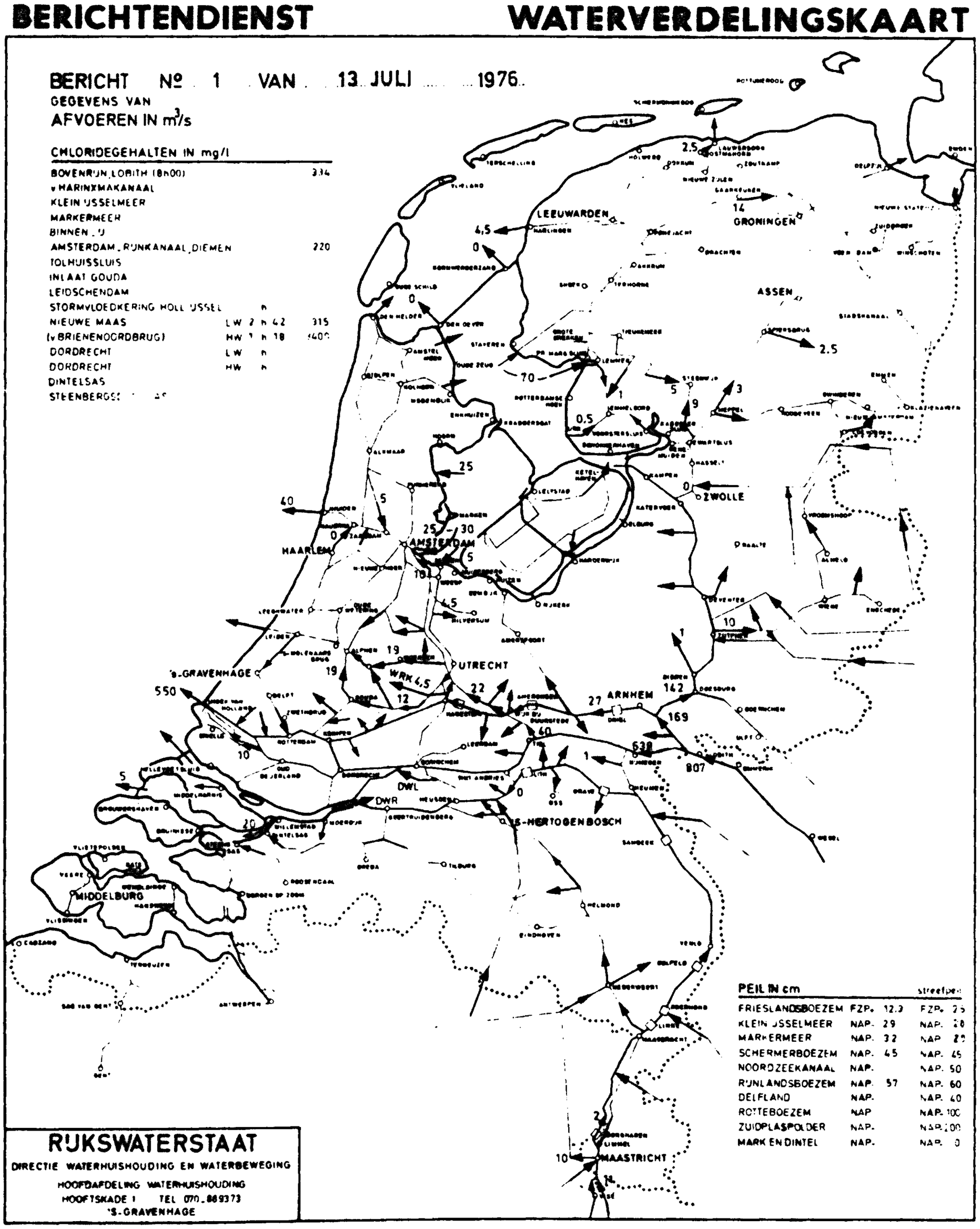
Naast het verkrijgen van gegevens is ook het doorgeven ervan naar de beheersinstanties, die deze gegevens nodig hebben, een belangrijke zaak. De ernst van de droogte in 1976 noopte Rijkswaterstaat tot het treffen van bijzondere maatregelen op dit gebied. Zo werd op 9 juli 1976 gestart met een beperkte verspreiding van waterverdelingskaartjes. In totaal zijn er 26 kaartjes verschenen, aanvankelijk twee kaartjes per week, na 20 september één per week. Op deze kaartjes zijn ter plaatse van de belangrijkste in- en uitlaatpunten de opgetreden waterafvoeren gegeven door middel van pijlen met vermelding van het bijbehorend debiet. Tevens zijn enige opgetreden boezempeilen met bijbehorende streefpeilen en het chloridegehalte van enige wateren vermeld (figuur 29 t/m 32).

Vanaf 2 september 1976 is ook de weersverwachting voor een week aan de diverse beheerders toegezonden. Daarnaast heeft er een uitgebreide formele en informele informatie uitwisseling plaatsgevonden.

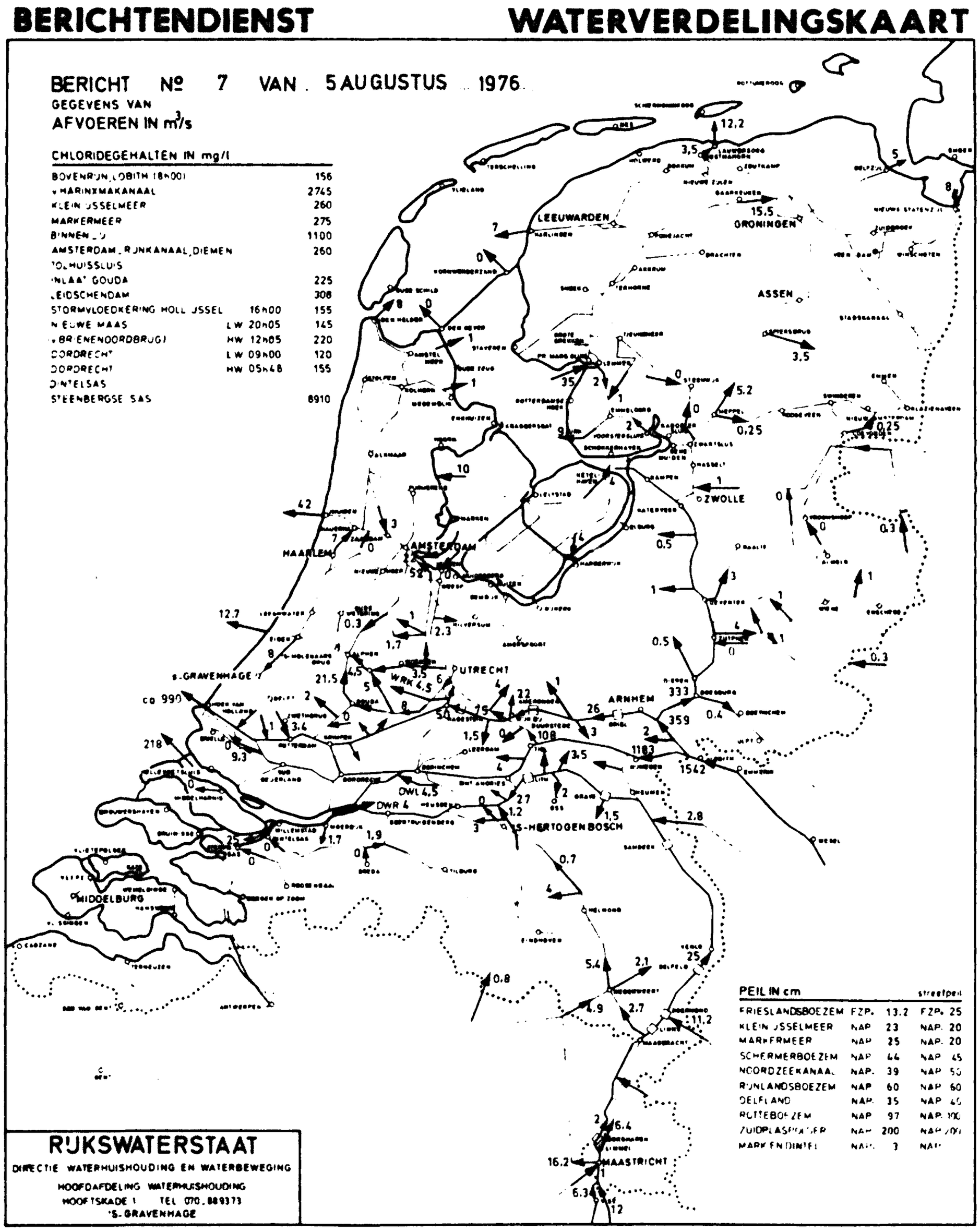
Een belangrijk instrument bij de waterverdeling wordt gevormd door de bestuurlijke en organisatorische structuren. Een aantal van deze structuren stonden al voor 1976 tot de beschikking van de waterbeheerders, echter de bijzondere situatie in 1976 is een aanleiding geweest tot het voeren van overleg op diverse niveaus. Dit overleg heeft in 1976 goed voldaan.

In het wettelijke kader, waarin de waterverdeling in Nederland plaatsvond, bleek in het droge jaar een aantal lacunes te zitten. Ondermeer het ontbreken van regels betreffende onttrekkingen aan waterlopen deden zich gevoelen.

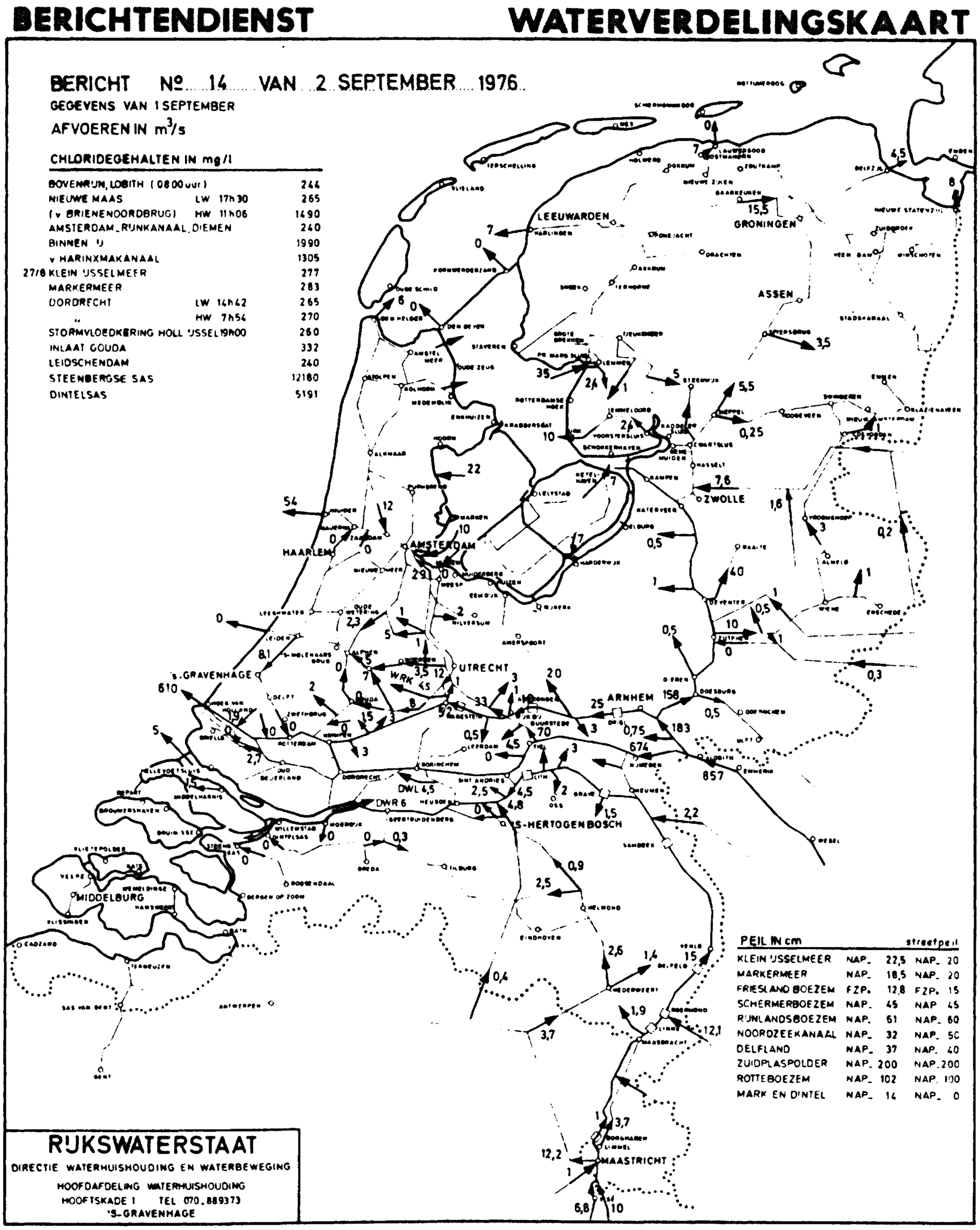
De grote mate waarin ons land bij de waterverdeling afhankelijk is van de grote rivieren, vraagt goede internationale afspraken. Dit is vooral in een jaar als 1976 duidelijk gebleken.



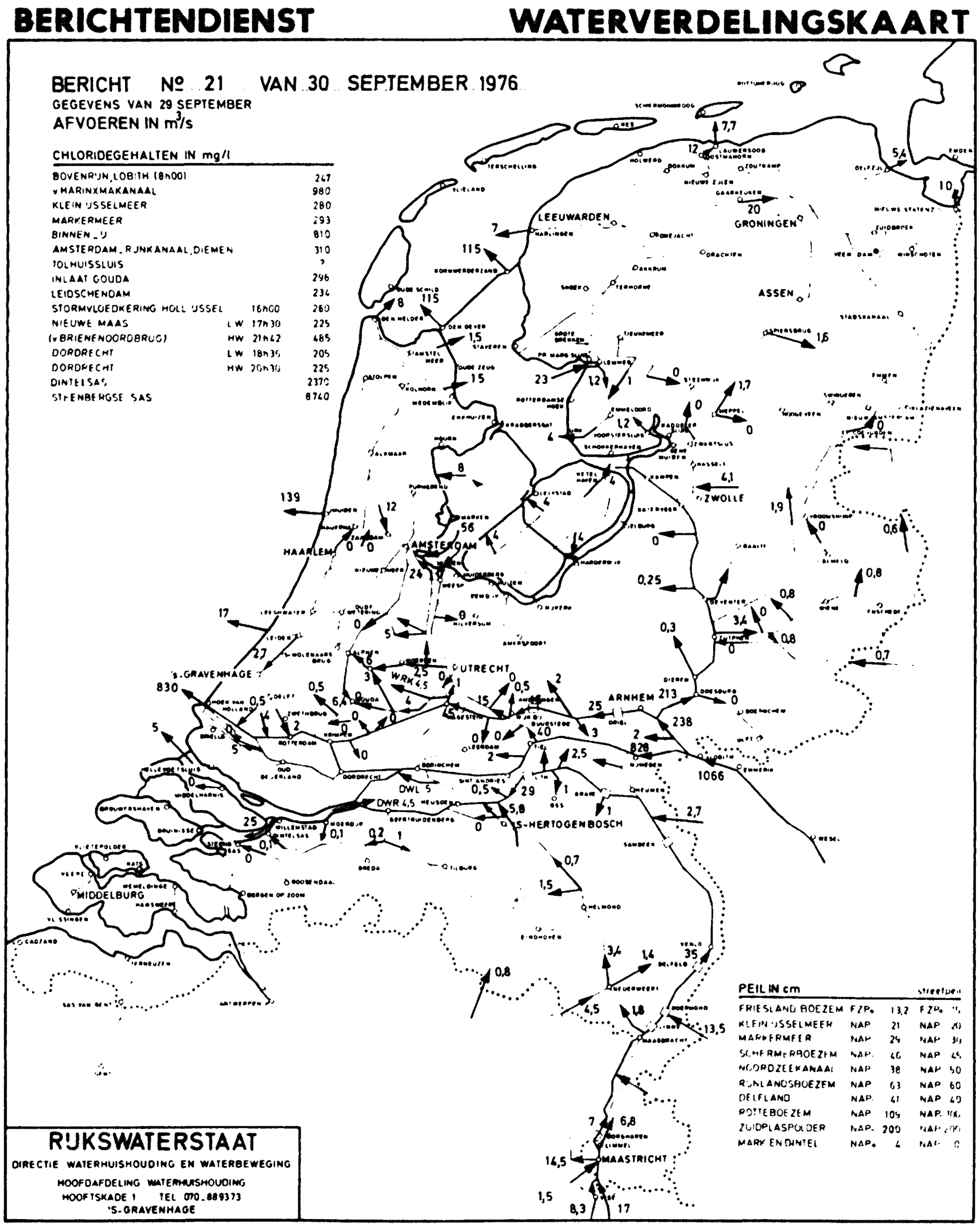
Figuur 29: Waterverdelingskaart no. 1 van 13 juli 1976 (8).



Figuur 30: Waterverdelingskaart no. 7 van 5 augustus 1976 (8).



Figuur 31: Waterverdelingskaart no. 14 van 2 september 1976 (8).



Figuur 32: Waterverdelingskaart no. 21 van 30 september 1976 (8).

6. HET WATERHUISHOUDKUNDIG SYSTEEM IN 1976

6.1. HET HOOFDSYSTEEM

6.1.1. INLEIDING

Het geheel van onderzoekingen, technische werken en bestuurlijke maatregelen, dat nodig is om tot een zo doelmatig mogelijke kwantitatieve beheersing van het aanwezige water te komen, wordt aangeduid met de term waterhuishouding (22). De infrastructuur van de waterhuishouding wordt gevormd door waterstaatkundige voorzieningen. Tot de hoofdelementen van dit systeem behoren de Maas, de Rijn en zijn takken, het IJsselmeer, het Markermeer, het Amsterdam-Rijnkanaal, het Noordzeekanaal en de benedenrivieren met onder andere het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg.

Tezamen vormen ze een stelsel van waterlopen, dat zowel voor afvoer van overtollig water als voor de wateraanvoer naar verschillende gebieden wordt benut. De wateraanvoer is noodzakelijk voor de dekking van de waterbehoeften. De ter dekking van deze behoeften benodigde aanvulling vindt met name 's zomers voornamelijk plaats door middel van aanvoer van water vanuit het buitenland via de Rijn en de Maas. In droge jaren is de bijdrage van de Maas gering en geschiedt de wateraanvoer in hoofdzaak door de Rijn. Mede omdat in droge perioden de afvoer van de Rijn eveneens gering kan zijn, kunnen voorraadbekkens een belangrijke rol in het waterhuishoudkundig systeem vervullen. Waterhuishoudkundig wordt een droogteperiode gekarakteriseerd aan de hand van de waterbalans. Hierbij wordt de aanbodcomponent tegenover het gebruik gezet. In tabel 33 zijn voor een gemiddeld jaar de waterbronnen gekwantificeerd. In tabel 34 zijn deze componenten voor de periode april t/m september voor een aantal droge jaren vergeleken. Het blijkt dat in een aantal opzichten 1921 voor de waterhuishouding droger is geweest dan 1976. Zo was de beschikbare waterhoeveelheid in 1921 kleiner dan in 1976. Daarentegen hadden de Maas en de kleine rivieren in 1921 een grotere afvoer dan in 1976.

Mede bepalend voor het karakteriseren van de droogte vanuit een waterhuishoudkundig oogpunt is het waterverbruik. Daartoe kan ook de verdamping van gewassen en wateren worden gerekend. In jaren van

grote droogte kunnen bepaalde soorten waterverbruik beperkt zijn door onvoldoende mogelijkheden tot aanvulling of op grond van beheers-overwegingen.

Bron	wateraanbod in een gemiddeld jaar in $10^9 m^3$	percentage van het totaal
Rijn	69	62,7
Maas	8	7,3
Neerslag	30	27,3
Kleine rivieren	3	2,7

Tabel 33: Zoetwaterbronnen in Nederland (8).

Bron	wateraanbod in $10^6 m^3$						
	gemiddeld jaar	1921	1947	1949	1959	1964	1976
Rijn	32370	16159	22958	19258	23464	22578	17614
Maas	3500	427	1929	1265	1297	755	300
Neerslag	16058	7223	12138	11714	8158	14633	8603
Kleine rivieren	-	110	147	95	103	163	98

Tabel 34: Wateraanbod in de periode april t/m september voor enige droge jaren (8).

Een eenvoudige analyse van de verbruiksposten in de waterbalans is vanwege de wisselende behoeften, de sterke regionale spreiding van de behoeften en de beheersinvloeden van het water niet goed mogelijk. In dit kader zal dan ook slechts een beperkt regionaal overzicht worden gegeven van de waterhuishouding in 1976.

6.1.2. DE WATERVERDELING BINNEN HET HOOFDSYSTEEM

Het bij Lobith binnenstromende Rijnwater wordt bij Pannerden verdeeld over de Waal en het Pannerdens kanaal. Een verdere verdeling vindt bij Arnhem plaats, waar de IJssel aftakt van het Pannerdens kanaal en de rivier verder stroomt als Nederrijn. Bij Wijk bij Duurstede krijgt de rivier de naam Lek. Tenslotte mondt ze uit in het benedenrivierengebied. Het riviergedeelte stroomafwaarts van Arnhem is gekanaliseerd en bevat drie stuwen: Driel, Amerongen en Hagestein. De stuw te Driel heeft een belangrijke functie bij de verdeling van het water van de Rijn over de Waal, de Nederrijn en de IJssel. Het stuw-programma van dit kunstwerk is zodanig opgesteld, dat minimaal 285 m^3/s via de IJssel en minimaal 25 m^3/s via de Nederrijn afstroomt. Het eerstgenoemde debiet dient de belangen van de scheepvaart op de IJssel en de waterhuishoudkundige belangen van IJssel en IJsselmeer (watervoorziening en voorraadvorming). De in extreme situaties optredende minimumafvoer van de Nederrijn van 25 m^3/s, is nodig voor de doorspoeling van de stuwpanden en de watervoorziening van de aangrenzende gebieden. Stroomafwaarts van de stuw van Hagestein komt de Lek geleidelijk onder invloed van de getijwerking. In dit riviergedeelte houdt het gewenste minimale debiet verband met de bestrijding van de verzilting van de Hollandsche IJssel. Dit debiet is onder andere afhankelijk van de afvoer van de Bovenrijn. Daarnaast bestaat de mogelijkheid rivierwater via het Amsterdam-Rijnkanaal naar het noorden te dirigeren. Ook hier heeft de stuw te Hagestein een belangrijke functie ten aanzien van de debietregeling en peilbeheersing. Bij geringe wateraanvoer vanuit de Nederrijn kan via het Betuwe-pand van het Amsterdam-Rijnkanaal enige aanvulling vanuit de Waal naar Wijk bij Duurstede plaatsvinden. De mate waarin deze aanvulling mogelijk is hangt onder meer samen met de vaardieptesituatie voor de scheepvaart op de Waal.

Het door het Amsterdam-Rijnkanaal naar het noorden gedirigeerde water kan worden gebruikt voor de waterhuishouding van midden- en west Nederland, voor de doorspoeling van het Noordzeekanaal en de aanvulling van het Markermeer. Normaal wordt het Noordzeekanaal doorgespoeld met water uit het Markermeer. Sluizen en gemalen bij Amsterdam en IJmuiden zorgen voor aan- en afvoer van water. Tevens is hiermee peilbeheersing van het Noordzeekanaal en het hiermee in open verbinding staande Amsterdam-Rijnkanaal mogelijk.

De Waal en de IJssel zijn niet gestuwd en wateren vrij af respectievelijk naar het gebied van de benedenrivieren en op het IJsselmeer.

Het IJsselmeer en het Markermeer vormen als zoetwaterbekkens belangrijke onderdelen van het waterhuishoudkundig hoofdsysteem. Daarbij spelen de oppervlakte (IJsselmeer 1.230 km^2 - Markermeer 750 km^2) en de peilvariaties een rol. Het IJsselmeer wordt behalve door de afvoer van de IJssel gevoed door de afwatering van omliggende gebieden en het aangrenzende Marker- en Veluwemeer. Anderzijds kan er voor de watervoorziening van grote gebieden ook water aan het IJsselmeer worden onttrokken. Overtollig water wordt voor een deel via de sluizen in de Afsluitdijk naar de Waddenzee geloosd. Een ander deel wordt gebruikt om het, vanuit Flevoland, met zout polderwater belaste Markermeer naar het Noordzeekanaal door te spelen.

In het gebied van de benedenrivieren zijn eveneens enige kunstwerken die een taak vervullen bij de waterverdeling. Vooral de Haringvlietsluizen en de Volkeraksluizen zijn daarbij van belang door de invloed die ze hebben op de afvoer van het rivierwater naar zee via de Nieuwe Waterweg en het Hollandsch Diep - Haringvliettraject. Zo kan een verhoogde afvoer via de Nieuwe Waterweg hier een belangrijk effect hebben op de terugdringing van de zouttong. Een ander voornaam aspect van het benedenrivierengebied is de getijwerking. Deze heeft een steeds wisselende invloed op de verdeling van de rivierafvoer over de verschillende takken.

Een ander element van het waterhuishoudkundig hoofdsysteem is de Maas. Deze regenrivier is zowel in België als in Nederland voorzien van een aantal stuwen. Na de stuw van Visé te hebben gepasseerd stroomt het water bij Eijsden Nederland binnen. Bij Maastricht vindt een onttrekking ten behoeve van het Belgisch deel van de Zuid-Willemsvaart plaats van minimaal circa 10 m^3/s. Verder stroomafwaarts vinden we bij Borgharen een stuw die de toevoer naar de Grensmaas regelt. Het overige water dient ter compensering van schutverliezen bij de sluizen van het Julianakanaal.

Stroomafwaarts van de stuw te Borgharen vinden we nog een aantal stuwpanden, die in verband met de bevaarbaarheid van de rivier zijn aangelegd. Deze panden worden begrensd door stuwen te Linne, Roermond,

Belfeld, Sambeek, Grave en Lith. Vanuit het stuwpand Linne wordt bij Panheel circa 3 m^3/s opgepompt ten behoeve van de Peelbevloeiing. Na Lith stroomt de rivier vrij af naar het benedenrivierengebied.

De Maas wordt op het Nederlands grondgebied gevoed door tal van riviertjes en beekjes. De grootste daarvan is de Roer met een minimum afvoer van 10 à 12 m^3/s. Langs de benedenloop van de Maas zijn veel onttrekkingen ten behoeve van de landbouw en drinkwatervoorziening.

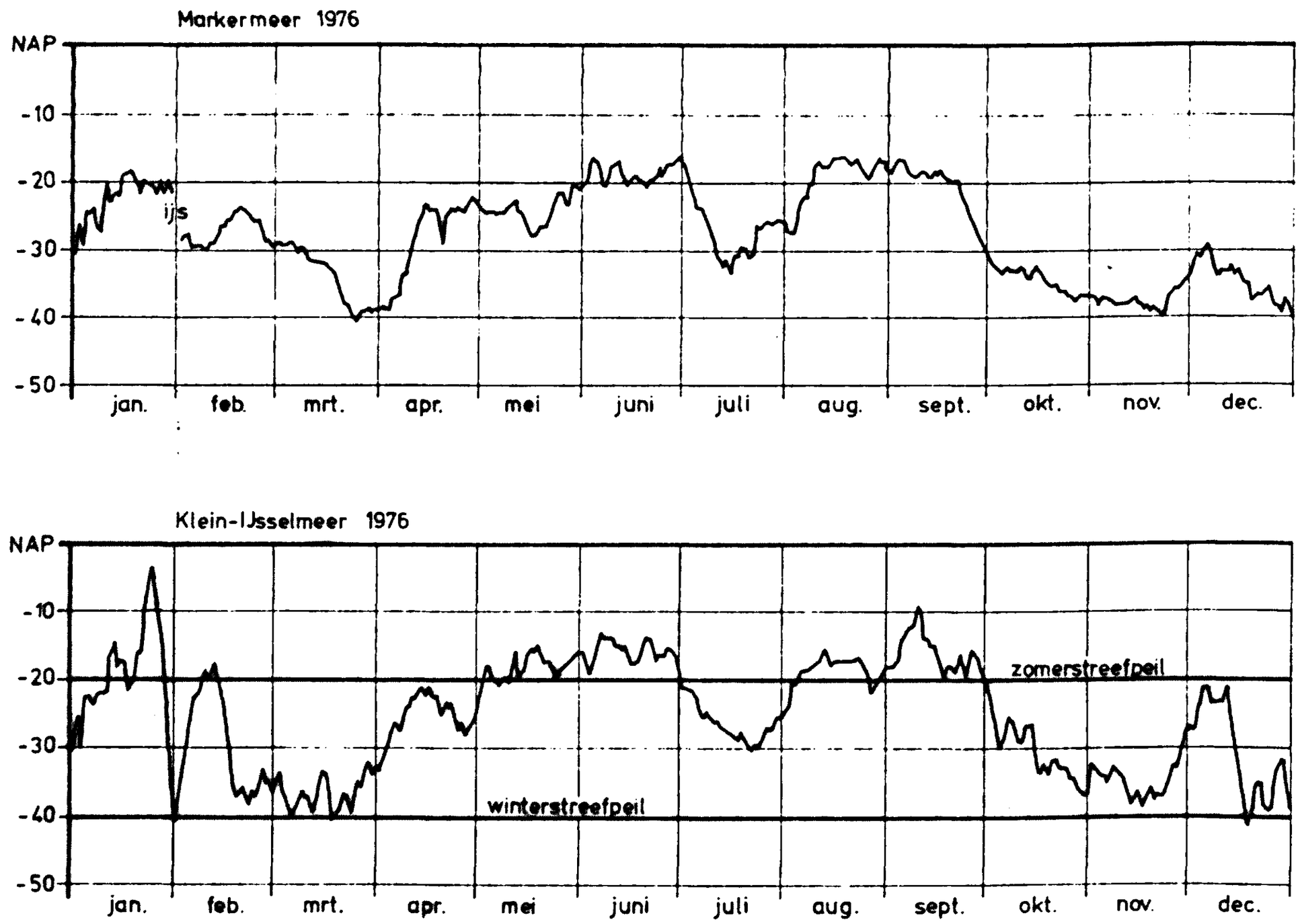
6.1.3. SITUATIE IN 1976

De geringe afvoeren van de Bovenrijn en de Maas in 1976 maakten het vaak onmogelijk om aan alle wensen ten aanzien van de waterverdeling te voldoen. Zo was bij het afvoerminimum van de Bovenrijn op 11 juli (782 m^3/s) de verdeling: IJssel 134 m^3/s en de Benedenrijn 25 m^3/s. Deze lage afvoeren hadden vooral consequenties voor de waterstanden op de IJssel en de aanvulling van het IJsselmeer. Daar in droge tijden de IJssel de enige waterbron van betekenis is voor de aanvulling van het IJsselmeerbekken, dienen bij kleine afvoeren de aftappingen aan de rivier beperkt te zijn. In 1976 was de situatie echter zo ongunstig, dat de IJsselafvoer, die ten goede kwam aan het IJsselmeer en Markermeer, onvoldoende was om het verbruik door de wateronttrekkingen aan de meren en de verdamping op de meren, te compenseren. Vanaf half juni zijn de lozingen op de Waddenzee gestaakt, vooral de geringe aanvoer in juli veroorzaakte forse peildalingen op de meren (figuur 33). Vanaf eind juli was er sprake van herstel tot een redelijk niveau ten gevolge van een afvoertop op de Rijn en locale neerslag. Ondanks dit herstel van vooral het IJsselmeerpeil, traden er nadien weer problemen op.

Benedenstrooms van de stuw te Driel hebben een aantal onttrekkingen plaats gevonden, waarvan de voornaamste in het stuwpand Hagestein ten behoeve van het Amsterdam-Rijnkanaal. Bovendien vond er aanvulling van de afvoer van de Nederrijn plaats via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal vanuit de Waal, oplopend tot gemiddeld 20 tot 30 m^3/s in de zomermaanden. Een deel van dit water werd gebruikt om de afvoer van de Lek te vergroten en zo de verzilting bij de Hollandsche IJssel te bestrijden. Aan de Waal is behalve deze afvoer naar

Wijk bij Duurstede niet veel onttrokken. De laagste afvoer werd ook hier op 11 juli geregistreerd en bedroeg stroomafwaarts van Pannerden-kop 622 m^3/s.

In het benedenrivierengebied is een van de belangrijkste problemen, die zich voordoen bij een geringe bovenafvoer de dreigende verzilting van de Hollandsche IJssel en het Hollandsch Diep/Haringvliet. Beide wateren zijn in 1976 uiteindelijk slechts in beperkte mate door verzilting getroffen. De Hollandsche IJssel is van groot belang voor de watervoorziening van midden-west-Nederland. Daarbij speelt het chloridegehalte een grote rol.



Figuur 33: Verloop IJsselmeer- en Markermeerpeilen in 1976 (8).

Het al dan niet binnendringen van water met een hoog chloridegehalte hangt, behalve van de afvoer van de Rijn, mede af van de getijfase, een eventuele waterstandsverhoging op zee, het verloop van de waterstanden op het Haringvliet/Hollandsch Diep en de onttrekking door het Hoogheemraadschap "Rijnland" bij Gouda. Bij bepaalde situaties is het mogelijk het binnendringen van de zouttong te verhinderen door het gebruik van de stormvloedkering bij Krimpen. Dit zal voor-

namelijk gebeuren als het verziltingsgevaar kort duurt, hetgeen onder meer samenhangt met het getij. Bij langdurig verziltingsgevaar, bijvoorbeeld bij lage Rijnafvoeren, kan de verziltingsbestrijding onder bepaalde voorwaarden geschieden door kunstmatig de Lekafvoer te verhogen met water uit de Waal.

De lage bovenafvoeren van de Rijn en de toenemende chlorideconcentraties veroorzaakten een gestadige verhoging van het chloridegehalte in het Hollandsch Diep/Haringvliet. Vooral de zoutbelasting van de Volkeraksluizen en de gestremde afvoer via de Haringvlietsluizen, speelde daarbij een grote rol. Eind juli, begin augustus, werd de Rijnafvoer wat groter. Gedurende korte tijd is toen via de Haringvlietsluizen gespuid, zodat het bekken doorgespoeld kon worden. Daarna zijn de sluizen tot half oktober gesloten gebleven en was er slechts een afvoer van 5 m^3/s door de zoutriolen. Na het doorspoelen van het Hollandsch Diep/Haringvliet in november was daar de situatie ten aanzien van de chloridegehaltes weer normaal. Ook ten aanzien van het Amsterdam-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal heeft de droogte van 1976 consequenties gehad. Door beperking van de doorspoelmogelijkheden van het Noordzeekanaal vanuit het Markermeer nam op dit kanaal de verzilting belangrijk toe (tot 1.000 mg Cl'/l bij het Binnen-IJ). Om verzilting vanuit het Noordzeekanaal tegen te gaan en om andere belangen veilig te stellen, zoals verversing van de stadsgrachten van Utrecht, watervoorziening in land- en tuinbouw- koel- en drinkwatervoorziening, is extra water ten behoeve van het Amsterdam-Rijnkanaal aan het stuwpand Hagestein onttrokken. In etappes is het onttrekkingsdebiet daarbij verhoogd tot 30 m^3/s, terwijl gedurende een korte periode, begin augustus, waarin een proefneming met de noord-zuidkoppeling plaatsvond ter suppletie van het Markermeer, dit debiet toenam met 75 m^3/s.

Ook de waterverdeling van de Maas werd door geringe bovenafvoeren sterk beïnvloed. Net als bij de Rijn heeft men bij de Maas een aantal mogelijkheden gecreëerd om de waterverdeling te kunnen reguleren.

Bij de Maas is dit zodanig uitgevoerd dat er bij lage afvoeren practisch geen sprake meer is van een natuurlijke verdeling. Nadat de rivier Nederland is binnengestroomd vindt een eerste verdeling plaats

over de Zuid-Willemsvaart, de Grensmaas en het Julianakanaal. De afvoer naar de Grensmaas was beperkt, zelfs zodanig dat behoudens lekverlies (ca. 1,5 m^3/s) er gedurende lange periode (half juni-half juli en begin augustus-half september) te Borgharen geen afvoer optrad. Dit had een belangrijke verslechtering van de waterkwaliteit van de Grensmaas tot gevolg. Behalve door het lekverlies van de stuw te Borgharen werd de Grensmaas gevoed door de Geul (1,5 m^3/s), de Ur (1 m^3/s), enige kleinere beken en zijdelings toegestroomd grondwater (2,5 à 3 m^3/s tot bij Maasbracht).

Doordat schutverliezen van het Julianakanaal werden gecompenseerd door terugpompen uit het benedenpand, was de afvoer van de Grensmaas de enige aanvulling van het stuwpand Linne. Vanuit dit stuwpand, dat een grote bergende oppervlakte heeft, wordt zowel het stuwpand Roermond als rechtstreeks het verder gelegen stuwpand Belfeld van water voorzien. Daarnaast wordt het stuwpand Roermond door de Roer gevoed met een in de zomer van 1976 bereikt minimum van ca. 10 à 12 m^3/s. Deze afvoer is van groot belang geweest voor het op peil houden van de stroomafwaarts gelegen stuwpanden.

Vanuit het stuwpand Linne is er bij Panheel water in het kanaal Wessem-Nederweert gepompt. Wordt er rekening gehouden met de schutverliezen bij de sluis bij Panheel, dan is er hier in de zomer van 1976 circa 2 m^3/s aan de Maas onttrokken.

6.2. ENIGE FACETTEN VAN DE DROOGTE IN 1976 MET BETREKKING TOT HET IJSSELMEER, HET MARKERMEER, DE RANDMEREN EN DE MEREN IN HET DELTAGEBIED

Zoals in het vorige hoofdstuk reeds is vermeld, ondervond het IJsselmeer veel hinder van de lage IJsselafvoeren. Grote verdamping van IJsselmeer en Markermeer en de aanzienlijke onttrekkingen ten behoeve van de watervoorziening van omliggende gebieden hadden vooral in juli aanzienlijke peildalingen tot gevolg (figuur 33). In juni was het IJsselmeer tot boven het zomerpeil opgezet, hetgeen aanvankelijk enig soelaas bood.

Na half juni is er geen water meer op de Waddenzee afgelaten. Meermalen is de doorspoeling van het Markermeer gestaakt. Toen de situatie in juli ernstig werd, is Noord-Holland en Friesland verzocht zo zuinig mogelijk te zijn bij het innemen van IJsselmeerwater. Door

enige neerslag en verhoogde Bovenrijnafvoeren kon eind juli het peil weer enigszins worden opgezet. In september werd de situatie beter. Na 1 oktober is aanvankelijk nog een streefpeil van 0,30 m-NAP aangehouden, dit in verband met de nog steeds lage Rijnafvoeren en het openhouden van de mogelijkheid van extra wateraanvoer naar midden-west-Nederland bij een dreigende of optredende verzilting van de Hollandsche IJssel. De chloridegehaltes van het IJsselmeer en het Markermeer zijn gestegen tot 280 à 300 mg Cl'/l in september (zie tabel 35). Vooral voor het IJsselmeer zijn deze waarden beduidend hoger dan normaal (200 à 220 mg Cl'/l). Dat het Markermeer geen grote verandering te zien heeft gegeven met betrekking tot de chlorideconcentraties kan worden verklaard uit de beperkte uitslag van zout polderwater uit Flevoland en andere polders op dit meer. Daarentegen werd het IJsselmeer belast met IJsselwater met een relatief hoog chloridegehalte en met het zoute uitslagwater van Flevoland. Ook de randmeren ondervonden een aanzienlijke toename van de chloride-concentraties in de loop van de zomer (zie tabel 35).

Datum meting	IJsselmeer	Markermeer	Veluwemeer Noord	Veluwemeer Zuid
5-9 jan	213	249	100	91
1-5 mrt	188	248	85	89
5-9 apr	200	257	84	97
3-6 mei	219	260	97	99
31 mei-3 juni	233	259	144	107
5-9 juli	252	272	189	119
2-5 aug	284	274	205	122
30 aug-2 sept	297	281	241	131

Tabel 35: Gemiddelde chloridengehalteverloop januari-september 1976 van IJsselmeer, Markermeer en Randmeren in mg Cl'/l (8).

De Zeeuwse meren hebben weinig hinder ondervonden van de grote droogte. De grote verdamping zorgde voor enige verlaging van de peilen. Zo bereikte het Grevelingenmeer een laagste zomerstand van 0,45 m -NAP. Hier is het streefpeil 0,20 m-NAP met aanvaardbare afwijkingen

van + of- 0,20 m. Het peil van het Veerse Meer schommelde de hele zomer van 1976 rond NAP, het zomerstreefpeil. In afwijking echter van de normale procedure, is hier het afspuien naar het winterpeil enige weken later begonnen, dit om de sterk gedaalde grondwaterstanden in de aanliggende polders zich enigszins te laten herstellen.

6.3. ASPECTEN VAN DE REGIONALE WATERHUISHOUDING

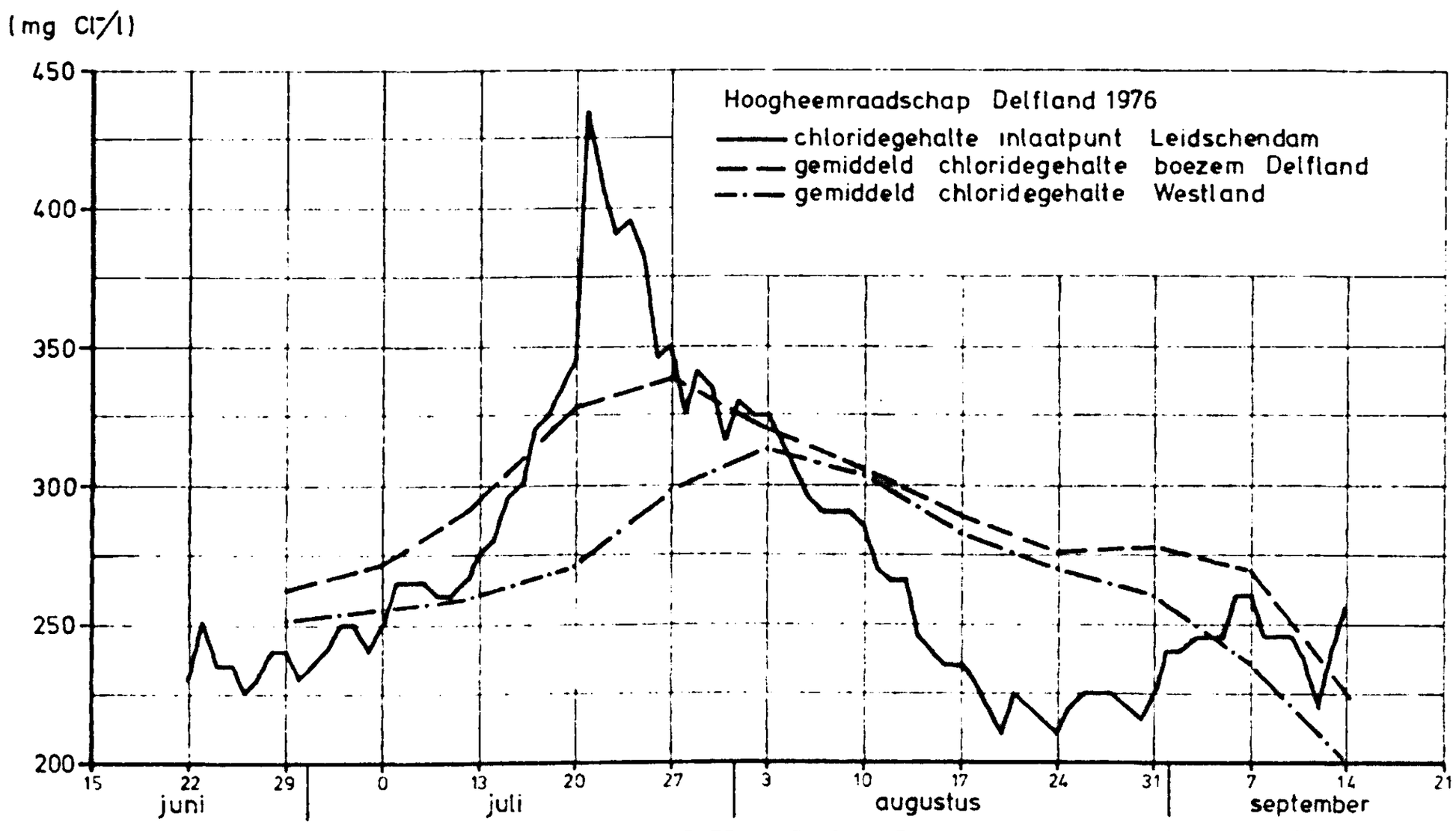
6.3.1. DE LAGE DELEN VAN NEDERLAND

Een belangrijk deel van Nederland ligt beneden de zeespiegel. Uitgebreide maatregelen zijn nodig om deze gebieden tegen overstroming te beschermen. Daarnaast dient ook gezorgd te worden voor de afwatering van overtollig water, dat afkomstig is van neerslag en kwel. Het daartoe aanwezige stelsel van waterlopen wordt tevens benut voor de aanvoer van water in droge perioden ter dekking van de waterbehoeften en ter bestrijding van de verzilting. Een deel van de waterlopen is voor scheepvaart toegankelijk.

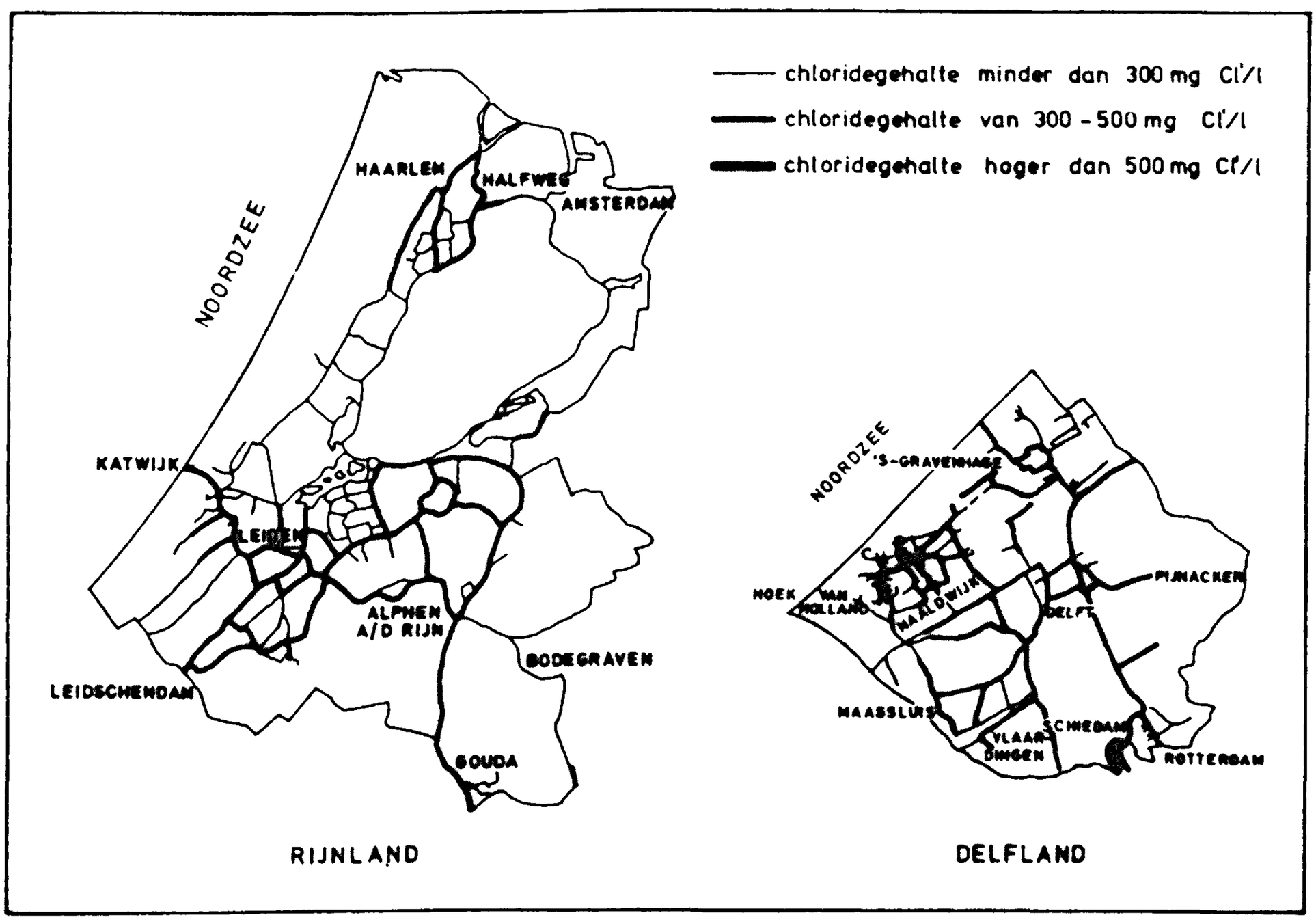
In 1976 is de watervoorziening in deze gebieden in het algemeen redelijk verlopen. Hier en daar moesten enige beperkingen aan de onttrokken hoeveelheden worden gesteld en ook was het niet steeds mogelijk de waterkwaliteit binnen aanvaardbare grenzen te houden. Vooral de verzilting is nog al eens een moeilijk te bestrijden probleem gebleken. Veelal moest een keuze gemaakt worden tussen peilbeheersing en doorspoeling. Met name de boezems van Rijnland, Delfland en Schieland raakten in de loop van de droge zomer steeds meer verzilt (figuur 34 en 35). Ook in Noord-Groningen, delen van Friesland en in West-Brabant traden verziltingsproblemen op. Effectieve bestrijding van zoutpenetraties bij de contactpunten met zoute kwel was of door gebrek aan voldoende water of door gebrek aan water van voldoende kwaliteit niet mogelijk. Dit leidde bij schutsluizen die dergelijke verziltingsproblemen veroorzaakten, tot beperkingen in het schutbedrijf.

De Hollandsche IJssel is voor de watervoorziening van midden-west Nederland van groot belang. Vanuit deze rivier kunnen bij Gouda door Rijnland aanzienlijke hoeveelheden water worden ingelaten. Een deel van het ingelaten water kan bij Leidschendam naar Delfland worden doorgevoerd. Bij zeer lage Bovenrijnafvoeren bestaat de mogelijkheid dat de Hollandsche IJssel vanuit zee verzilt raakt. In dat geval

wordt voor de watervoorziening gebruik gemaakt van noodaanvoerwegen, waarbij onder meer water aan het Amsterdam-Rijnkanaal wordt onttrokken. Deze alternatieve wateraanvoer is echter van beperkte omvang: ca. 25% van de maximale inlaatdebieten bij Gouda.

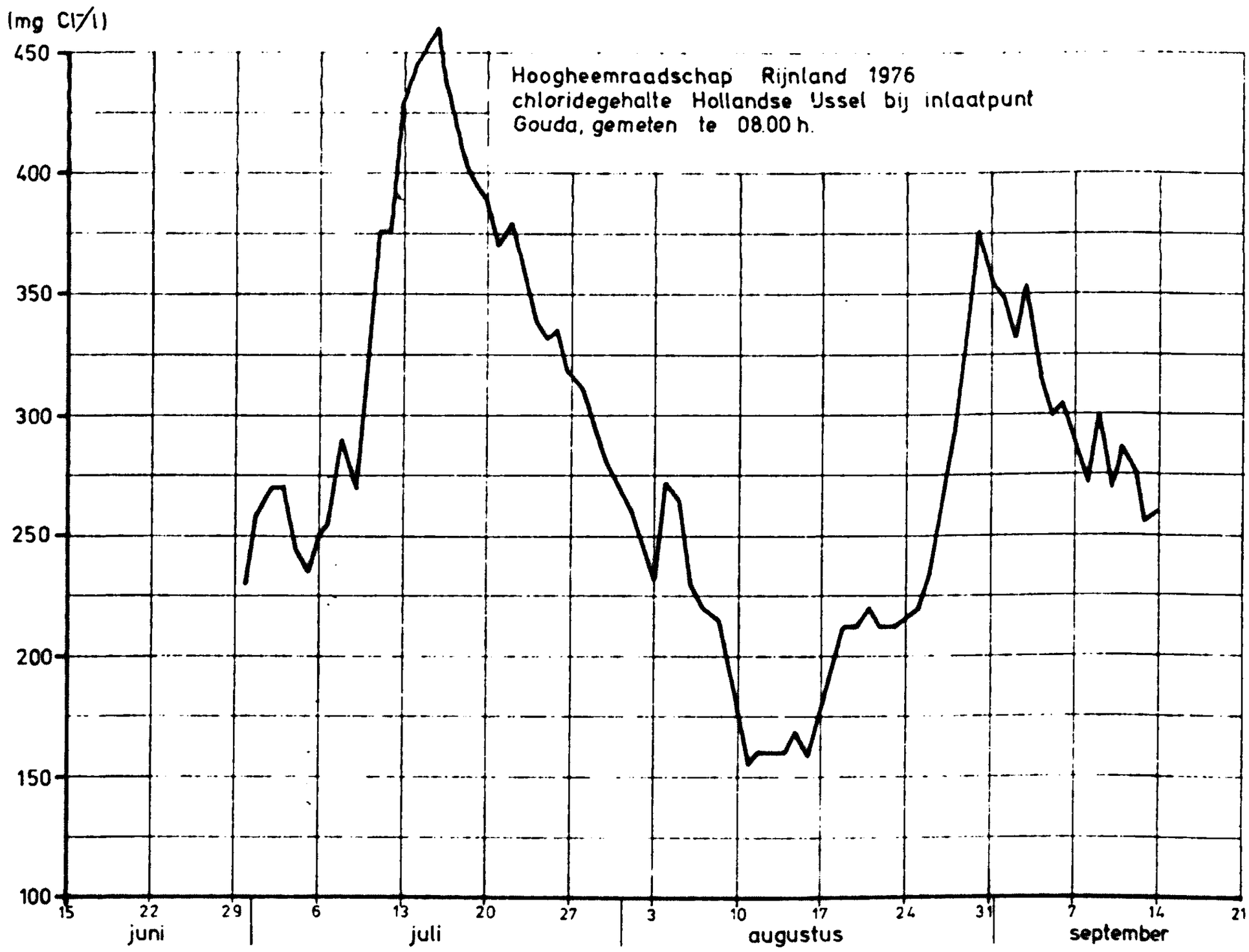


Figuur 34: Chloridegehalte in Delfland in de zomer van 1976 (23).



Figuur 35: Verziltingssituatie van de boezem van Rijnland (27 juli 1976) en Delfland (3 augustus 1976) (24, 23).

Gedurende de zomer van 1976 is langdurig van deze noodvoorziening gebruik gemaakt. Niet alleen was een enkele maal de Hollandsche IJssel verzilt (figuur 36), doch ook de door de droogte verhoogde waterbehoefte noodzaakte tot deze maatregelen. In Amstelland had het gebruik van de deels in dit Hoogheemraadschap gelegen noodaanvoerwegen een verzoetende werking op het boezemwater. Normaal heeft het boezemwater hier een hoog chloridegehalte ten gevolge van het zoute uitslagwater van de diepe kwelpolders en door het ontbreken van doorspoelingsmogelijkheden (vóór het in werking stellen van de noodaanvoerwegen ca. 850 mg Cl'/l).



Figuur 36: Chloridegehalte bij het inlaatpunt Gouda van het Hoogheemraadschap Rijnland in de zomer van 1976 (24).

Naast inlaatproblemen bij Gouda kende het Hoogheemraadschap Rijnland ook verziltingsproblemen bij Spaarndam, veroorzaakt door het zoute water van het Noordzeekanaal. Om te voorkomen dat het chloridegehalte van de boezemwateren en de bollenstreek te hoog werd is in juli bij de sluis te Spaarndam een schutbeperking ingesteld.

Zowel Delfland als Schieland hadden in 1976 naast verziltingsproblemen ook moeilijkheden bij de peilbeheersing. Met name in Schieland daalde het peil van de Rotteboezem in juli aanzienlijk. De waterinlaatmogelijkheden waren beperkt doordat de hoofdinlaat aan de Nieuwe Maas niet gebruikt kan worden vanwege de ver opgedrongen zouttong op deze rivier.

In het ten noorden van het Noordzeekanaal gelegen deel van Noord-Holland zijn de problemen in 1976 beperkt gebleven. Enige verzilting trad op in het boezemwater bij Nauerna aan het Noordzeekanaal ten gevolge van het verhoogde peil van het Noordzeekanaal. Het schutbedrijf werd hier stilgelegd en de scheepvaart moest gebruik maken van de Zaan. Ter voorkoming van verzilting van het Noord-Hollandskanaal bij Den Helder werden aldaar schutbeperkingen aan de scheepvaart opgelegd.

In Noordwest- en Noordoost Groningen zijn in 1976 maatregelen genomen om verzilting tegen te gaan. Vooral in het noordwesten van de provincie kon verzilting van delen van het gecompliceerde kanalenstelsel niet afdoende worden bestreden. In Friesland zijn de problemen ten gevolge van de droogte beperkt gebleven. Enige verziltingsproblemen traden op bij Harlingen, waar ten gevolge van het schutten van schepen en de geringe doorspoelmogelijkheden op het Van Harinxmakanaal naal, de chloridegehalten op dit kanaal hoge waarden bereikten. Men heeft hier tijdelijk een schutbeperking gekend.

Ook in West-Brabant was de opdringende verzilting van rivieren en kanalen een groot probleem. De landbouw- en industriewatervoorziening kwam hierdoor in gevaar. De voor de bestrijding van deze verzilting benodigde hoeveelheden water waren niet aanwezig en de kwaliteit van het aanwezige water was dusdanig, dat het niet voor gebruik binnen de land- en tuinbouw aangewend kon worden.

6.3.2. DE HOGE GRONDEN IN NEDERLAND

De watervoorziening van de hoge gronden is voornamelijk afhankelijk van de neerslag. De afwatering van overtollige neerslag geschiedt hier middels een systeem van natuurlijke waterlopen. Vooral in de benedenlopen van beken en riviertjes trad in het verleden regelmatig overlast op. In vele gevallen zijn hiertegen maatregelen genomen. De aanvoermogelijkheden zijn bij deze waterlopen beperkt. Ook de in sommige hoge gebieden aanwezige kanalenstelstels zijn doorgaans primair

niet ontworpen voor een watertransportfunctie. Ze zijn indertijd aangelegd om scheepvaart mogelijk te maken. Grote delen van de hoge gronden blijven dan ook in droge tijden verstoken van de aanvulling met oppervlaktewater (figuur 37). Daardoor speelt het grondwater in deze gebieden een belangrijke rol. Door het plaatsen van stuwen in de natuurlijke waterlopen is een beperkte peilbeheersing mogelijk, hetgeen een gunstige invloed op de grondwaterstand heeft.

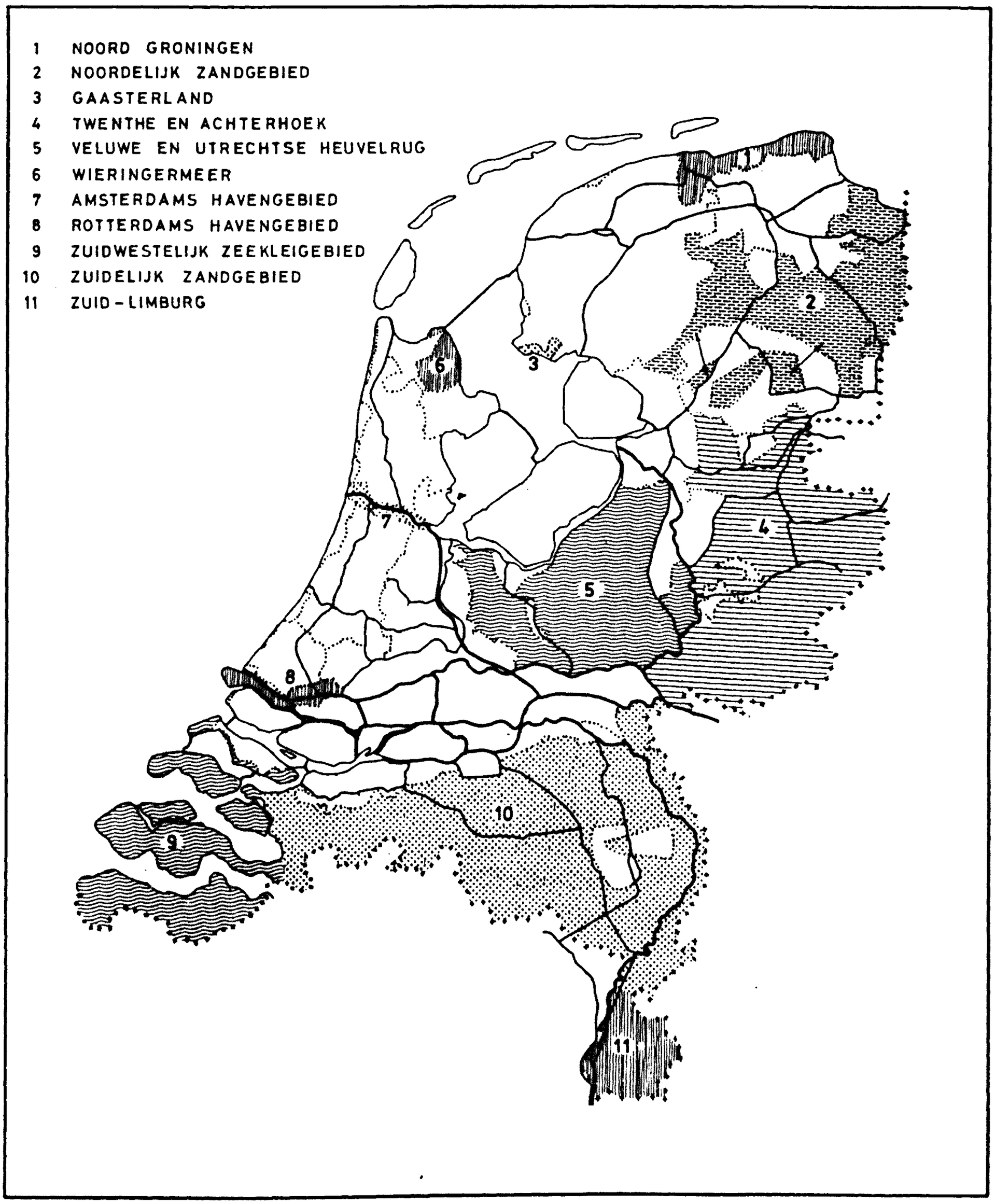
De hoge delen van Nederland worden in droge perioden dikwijls geconfronteerd met kwantitatieve watertekorten. In de behoefte van de landbouw kan slechts ten dele worden voorzien en het is niet altijd mogelijk de benodigde vaardiepte voor de scheepvaart te verzekeren. Bovendien veroorzaken deze watertekorten problemen bij het doorspoelen van waterlopen, waarop afvalwater wordt geloosd.

In 1976 hebben dergelijke problemen zich in min of meer ernstige mate voorgedaan in Zuid- en Midden-Limburg, Noord-Brabant, gedeelten van Oost-Gelderland, de Veluwe, Twenthe, Salland en het hooggelegen Drenthe. Vele beken en riviertjes kenden nauwelijks afvoer van enige betekenis (tabel 36). Een aantal waterlopen stond gedurende lange tijd droog.

In de nabijheid van de grote rivieren is de watervoorziening in het algemeen redelijk verzekerd, terwijl de waterbehoefte van de aanliggende kleigronden doorgaans kleiner is.

waterloop	afvoer in m^3/s
Jeker	1,5 à 1,6
Geul	0,5
Roer	10 à 12
Niers	1,6 à 1,7
Grote Molenbeek	0,1 à 0,2
Dommel	0,5 à 0,6
Dieze	0
Hunze	0
Overijsselse Vecht	0
Oude IJssel	0
Eem	0

Tabel 36: Minimum beekafvoeren in 1976 (8).



Figuur 37: De gebieden zonder wateraanvoer in 1976 (gearceerd) (29).

Voor Limburg en Noord-Brabant is de Maas naast de neerslag de belangrijkste waterbron. In droge tijden is echter ook de Maasafvoer doorgaans gering. In grote delen van dit gebied is de bestaande infrastructuur dan ook niet ingericht om in een dergelijke situatie water van elders aan te voeren. Een uitzondering wordt gevormd door de Peelbevloeiing.

Voor een deel van de oostelijke zandgebieden in de Achterhoek, Twenthe, Salland en Zuid-Drenthe is de toestand in droge jaren gunstiger, doordat er een aantal mogelijkheden zijn voor wateraanvoer. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van de aanwezige scheepvaartkanalen en delen van de gereguleerde natuurlijke waterlopen, eventueel aangevuld met enige noodvoorzieningen.

De belangrijkste waterbronnen zijn hier de IJssel, de Vecht en het IJsselmeer, waarvan het water via het Meppelerdiep naar Drenthe kan worden gevoerd.

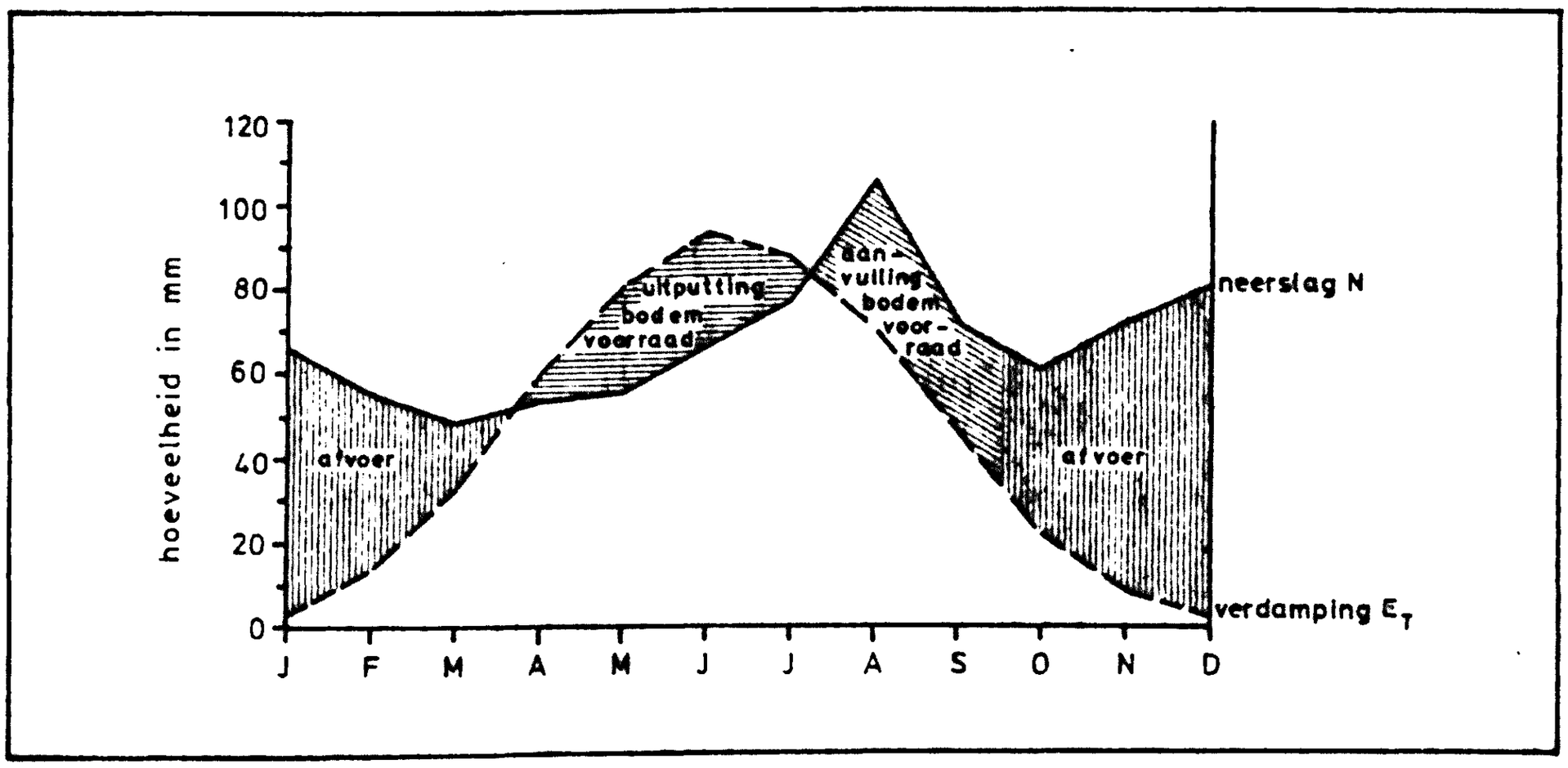
Het middengebied van de Veluwe is relatief hoog gelegen en kent practisch geen afwatering via open waterlopen. Wateraanvoer is hier niet mogelijk. De waterbehoefte van de vegetatie wordt voornamelijk gedekt vanuit het bodemvocht, dat door de diepe ligging van de grondwaterstand alleen vanuit de neerslag wordt aangevuld.

7. DE GEVOLGEN VAN DE DROOGTE IN 1976

7.1. DE LANDBOUW

De beschikbaarheid van voldoende water is voor planten van groot belang. Het grootste deel van het benodigde water wordt door de plant verdampt. Slechts een gering deel (1%) wordt gebruikt voor de opbouw van de plant zelf.

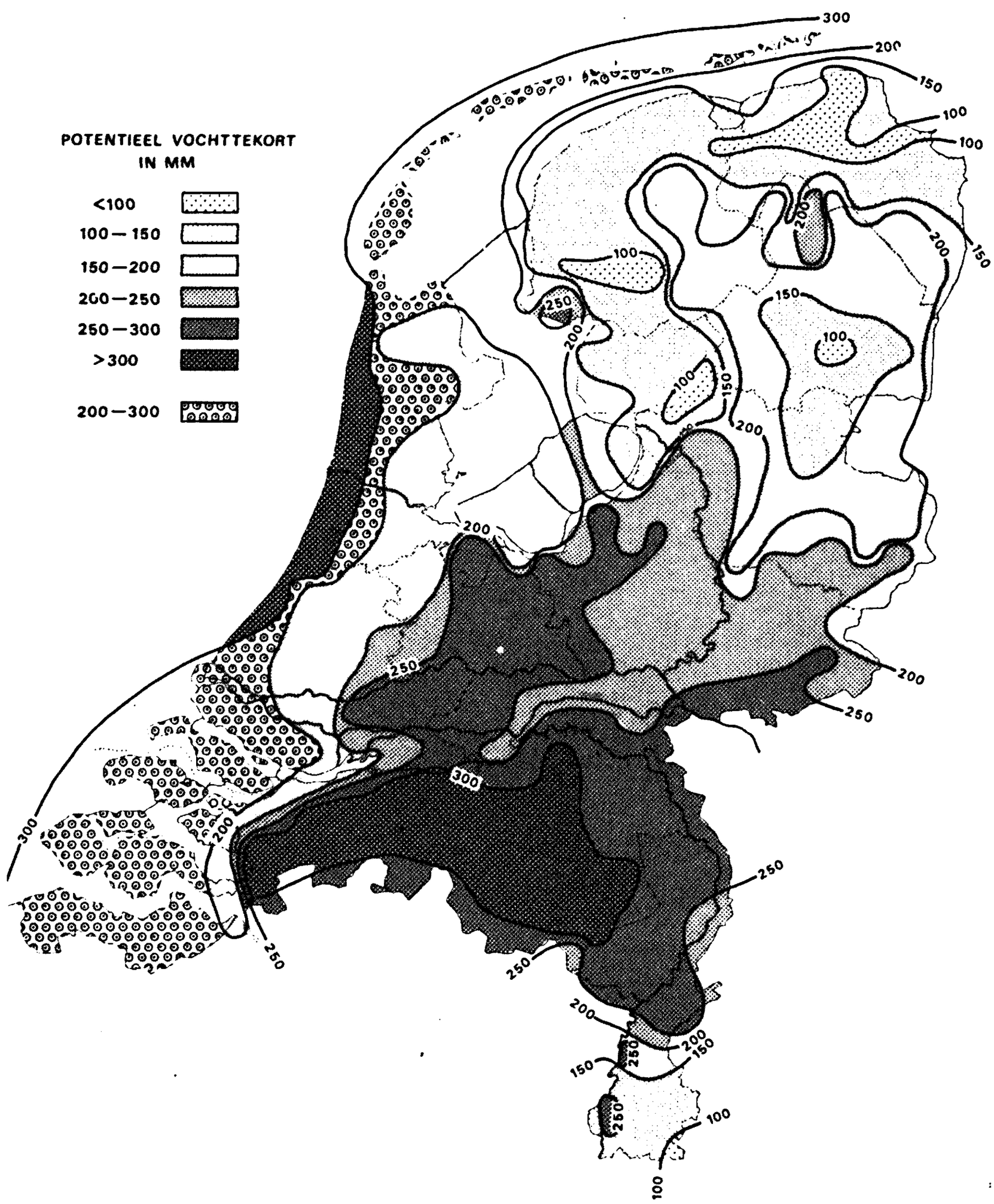
De verdamping van de gewassen is niet gelijkmatig over het jaar verdeeld. De verdamping bedraagt normaal in december en januari slechts enige milimeters per maand. In normale zomers echter loopt deze waarde op tot bijna 100 mm per maand. Gedurende het groeiseizoen van de gewassen (begin april tot eind september) is doorgaans de verdamping groter dan de neerslaghoeveelheid (figuur 38). De planten zijn voor hun watervoorziening dan ook voor een belangrijk deel aangewezen op de in de winter gevormde bodemvoorraad.



Figuur 38: Gemiddelde neerslag en potentiële gewasverdamping in De Bilt (27).

Wordt het verschil tussen neerslag en verdamping niet volledig gedekt vanuit de bodemvoorraad en de capillaire opstijging dan is kunstmatige wateraanvulling door bevloeiing, beregening of ondergrondse infiltratie noodzakelijk. De grootte van de benodigde aanvulling kan worden benaderd door het potentiëel vochttekort. Hieronder wordt verstaan het verschil tussen de potentiële verdamping van kort gras

verminderd met de in betreffende periode gevallen neerslag en de vochtleverantie (bodemvoorraad en capillaire opstijging) door de grond.



Figuur 39: Potentiële vochttekorten in de periode april tot en met augustus 1976 (28).

In 1976 zijn door de geringe neerslag de potentiële vochttekorten hoog opgelopen. De hoogste waarden traden op in Noord-Brabant en de kuststrook van Noord-Holland (figuur 39). Aanvulling op grote schaal was dan ook noodzakelijk. In een groot deel van Nederland was kunstmatige wateraanvoer in het geheel niet mogelijk (figuur 37). In deze gebieden is men veelal aangewezen op het gebruik van grondwater.

Gebiedsindeling	Beregening in %		Bevloeiing in %	
	cultuur-grond	oppervlakte-water	cultuur-grond	oppervlakte-water
Gebieden met aanvoer				
Veenweidegebieden	8,3	93	4,9	99
Zeekleigebieden*)	15,2	96	0,3	100
Overgangen veenweide/zeeklei	9,5	98	2,3	98
Rivierkleigebieden	22,6	86	6,8	93
Zandgebieden	6,6	44	1,3	93
Gebieden zonder aanvoer				
Zeekleigebieden	0,5	94	0,1	66
Zandgebieden	7,5	25	0,5	87
Lössgebied	0,8	46	0,9	92
Nederland *)	8,9	69	1,5	95

*Exclusief Flevopolders

Tabel 37: Het gedeelte van de oppervlakte cultuurgrond, dat beregend en bevloeid is; alsook het gedeelte van het beregende en bevloeide areaal, dat behandeld is met oppervlaktewater (29).

In andere delen van het land is de kwaliteit van het aangevoerde water soms een beperkende factor geweest.

Voor de kunstmatige watervoorziening van de gewassen is in 1976 op grote schaal gebruik gemaakt van beregenings- en bevloeiingsinstallaties. Totaal is in dat jaar 8,9% van de oppervlakte cultuurgrond in Nederland beregend en 1,5% van deze oppervlakte bevloeid (tabel 37). Daar de oppervlakte aan land- en tuinbouwgewassen circa 83% van de oppervlakte cultuurgrond vormt, betekent dit dat 10,7% van het areaal aan land- en tuinbouwgewassen is beregend en 1,8% is bevloeid (29).

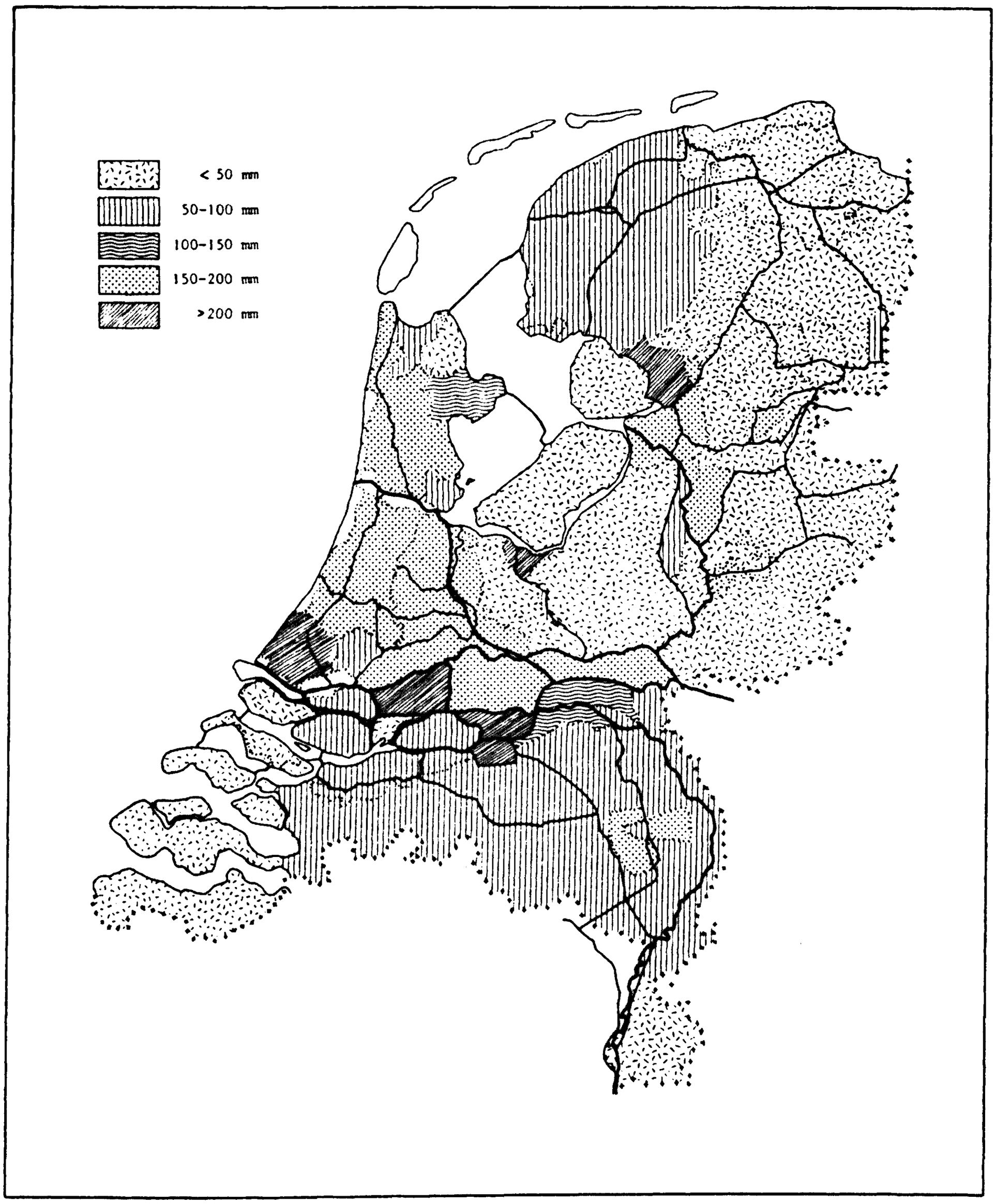
Van de hoeveelheid water, die voor beregening is aangewend, was 56% afkomstig uit oppervlaktewater en 44% uit het grondwater (tabel 38).

Gebiedsindeling	Oppervlaktewater			Grondwater		
	aandeel (%)	watergift (mm)	hoeveelheid ($10^6 m^3$)	aandeel (%)	watergift (mm)	hoeveelheid ($10^6 m^3$)
Gebieden met aanvoer						
Veenweidegebieden	90	305	45,8	10	411	4,8
Zeekleigebieden	93	158	75,5	7	278	5,6
Overgangen veenweide/ zeeklei	97	199	80,4	3	259	2,4
Rivierkleigebieden	86	346	78,1	14	357	12,8
Zandgebieden	42	384	18,2	58	421	29,8
Gebieden zonder aanvoer						
Zeekleigebieden	97	149	5,9	3	170	0,2
Zandgebieden	21	345	62,4	79	433	233,3
Lössgebied	34	237	0,4	66	384	0,8
Havengebieden	-	-	0,3	-	-	0,1
Nederland	56	242	367,0	44	418	289,8

Tabel 38: Voor oppervlakte- en grondwater, dat voor beregening is gebruikt: het aandeel in de totale hoeveelheid, de gemiddelde gift en de aangewende hoeveelheid (29).

Gebiedsindeling	Oppervlaktewater			Grondwater		
	aandeel (%)	seizoengift (mm)	hoeveelheid ($10^6 m^3$)	aandeel (%)	seizoengift (mm)	hoeveelheid ($10^6 m^3$)
Gebieden met aanvoer						
Veenweidegebieden	98	289	27,2	2	440	0,5
Zeekleigebieden	100	203	2,1	0	300	0,0
Overgangen veenweide/ zeeklei	98	296	28,5	2	317	0,5
Rivierkleigebieden	93	463	33,6	7	458	2,6
Zandgebieden	92	147	2,9	8	181	0,2
Gebieden zonder aanvoer						
Zeekleigebieden	73	195	0,4	27	174	0,1
Zandgebieden	86	235	10,8	14	262	1,8
Lössgebied	92	195	0,8	8	212	0,0
Havengebieden	-	-	0,0	-	-	0,0
Nederland	95	308	106,3	5	328	5,7

Tabel 39: Voor oppervlakte- en grondwater, dat voor bevloeiing is gebruikt: het aandeel in de totale hoeveelheid, de gemiddelde gift en de aangewende hoeveelheid (29).



Figuur 40: Het totale watergebruik in april tot en met augustus 1976 door de land- en tuinbouw (29).

Voor de bevloeiing is voornamelijk van oppervlaktewater gebruik gemaakt (tabel 39). De totale hoeveelheid water, die in 1976 in de land- en tuinbouw gebruikt is, is in figuur 40 weergegeven. Voor de gebieden die kunstmatige aanvoer kenden, is hierbij uitgegaan van de som van het voor bevloeiing en beregening gebruikte grondwater en het voor infiltratie, bevloeiing en beregening e.d. aan het hoofdsysteem onttrokken oppervlaktewater. Voor de gebieden die geen kunstmatige wateraanvoer kenden, is uitsluitend het gebruik van grond- en oppervlaktewater voor beregening en bevloeiing aangegeven. Duidelijk komt naar voren dat het opgetreden waterverbruik nauw samenhangt met de regionale mogelijkheden ten aanzien van de watervoorziening.

Geraamd is, dat door de gebieden met kunstmatige wateraanvoer, in de periode april tot en met augustus 1976 in totaal $1,5.10^9$ m^3 aan het hoofdsysteem is onttrokken ten behoeve van infiltratie, beregening en bevloeiing. Daarnaast is er in dezelfde periode $0,59.10^9$ m^3 aan het hoofdsysteem onttrokken ten behoeve van de verziltingsbestrijding in poldergebieden; dit betreft alleen water, dat na gebruik voor doorspoeling op zoute of brakke wateren wordt geloosd.

In de eerste twee decaden van juli en de laatste twee decaden van augustus bereikten de twee bovengenoemde onttrekkingen de grootste waarden, respectievelijk 206 m^3/s voor infiltratie, beregening en bevloeiing 35 m^3/s voor doorspoeling. Aan het grondwater is in 1976 ten behoeve van de beregening en bevloeiing in totaal $0,30.10^9$ m^3 onttrokken (29).

De mate waarin uiteindelijk in de periode april tot en met augustus 1976 in de opgetreden waterbehoefte is voorzien, is van gebied tot gebied verschillend. Vooral op de onberegende en onbevloeide zuidelijke zandgronden was het voorzieningsniveau laag (ca. 40%), dat wil zeggen dat hier voor 40% in de waterbehoefte van de gewassen is voorzien. Op grond van deze cijfers en de bestaande relatie tussen de relatieve gewasverdamping en de droge stof produktie is geschat, dat ondanks de kunstmatige wateraanvoer de opbrengstdepressies in de poldergebieden in de periode april tot en met augustus 1976 20 à 30% en in de zandgebieden 40 à 50% hebben bedragen. Was kunstmatige watervoorziening achterwege gebleven, dan waren de oogstdepressies 10 à 20% hoger geweest. Opgemerkt wordt nog dat vele gewassen in de nazomer van 1976 een deel van de groeiachterstand goed gemaakt hebben (29).

7.2. DE NATUUR

De gevolgen voor de natuur van de langdurige droogteperiode 1975-1976 zijn moeilijk te overzien. Dit hangt onder meer samen met het ontbreken van een meetnet, waarmee de reacties van organismen en levensgemeenschappen op wisselingen in de voor hen bepalende milieufactoren geregistreerd worden. Daarnaast speelt ook de vertraging in de reacties op de fluctuaties in milieufactoren een rol. Sommige gevolgen zijn pas in de loop van 1977 merkbaar geworden, terwijl ook op langere termijn de droogte van 1975-1976 gevolgen heeft. Bovendien is het vaak moeilijk een onderscheid te maken tussen de gevolgen van een versterking in een al aanwezige tendens en de tendens zelf; er kan sprake zijn van een cumulatief effect.

Voor de natuur zijn de grote dalingen van de grondwaterstanden een belangrijk element van de droogte gebleken. Hierdoor en door de geringe neerslag was er minder water voor de vegetatie beschikbaar. Bovendien ontstond er een betere en diepere doorluchting van de bodem, hetgeen tot eutrofiëring leidde. Slechts enkele gebieden zijn hiervan gevrijwaard gebleven doordat er daar sprake is van een hydrologisch ongestoord milieu, waarbij de toestand in extreem natte of droge jaren niet of nauwelijks afwijkt van de toestand in normale jaren. De hier voorkomende vegetaties worden door natuurbeheerders zeer waardevol geacht. De droogte van 1976 heeft in deze zeldzame gebieden geen ernstige gevolgen gehad (21).

In de gebieden waar dalingen in de grondwaterstanden groot waren, heeft vooral de eutrofiëring van voedselarme terreinen ernstige consequenties gehad. Uiteindelijk heeft de droogte geleid tot een afname van dit type terrein.

Ook in de bosbouw heeft de droogte van 1976 consequenties gehad. Vooral aan de beuken en de jonge aanplant is veel schade toegebracht. Vele oude beuken zijn een jaar later niet meer in blad gekomen. In feite heeft een combinatie van factoren tot de grote sterfte onder de beuken geleid. Vele bomen waren van aanzienlijke ouderdom en stonden veelal op plaatsen waar de groeiomstandigheden niet optimaal waren, de warmte en de droogte van 1975-1976 konden niet meer worden opgevangen. Daarbij komt dat de beuk een vrij kwetsbare boomsoort is. Door de dunne gladde bast heeft de boom slechts weinig bescherming tegen de zonnestraling en ontstaat er bij directe bestraling zonnebrand. Ook kan de beuk slecht tegen wisselende grondwaterstanden. Er

treedt al spoedig wortelsterfte op. Door zijn geringe herstellingsvermogen is de beuk veelal niet in staat genoemde aantastingen te boven te komen (30).

Een nevenaspect van de droogte in de bosbouw werd gevormd door de vele bosbranden die in 1976 hebben gewoed en een aanzienlijke schade hebben veroorzaakt.

In de poldergebieden wordt ook in normale jaren veel water van elders ingelaten. Hierdoor kan in sommige gevallen een aanzienlijke vermindering van de biologische kwaliteit van het slootmilieu veroorzaakt worden. Anderzijds kan bijvoorbeeld een optredende verzilting eveneens negatieve invloed op de kwaliteit van het slootmilieu uitoefenen. In 1976 is deze tendens door de grote kunstmatige wateraanvulling verder versterkt.

Ook de fauna heeft in 1976 van de droogte te lijden gehad. Vooral ten gevolge van hoge temperaturen van het oppervlaktewater is er een grote toename van het botulisme bij watervogels en hier en daar bij vissen opgetreden. Hierbij kan mogelijk ook de slechte kwaliteit en de lage peilen van het oppervlaktewater een rol gespeeld hebben (21).

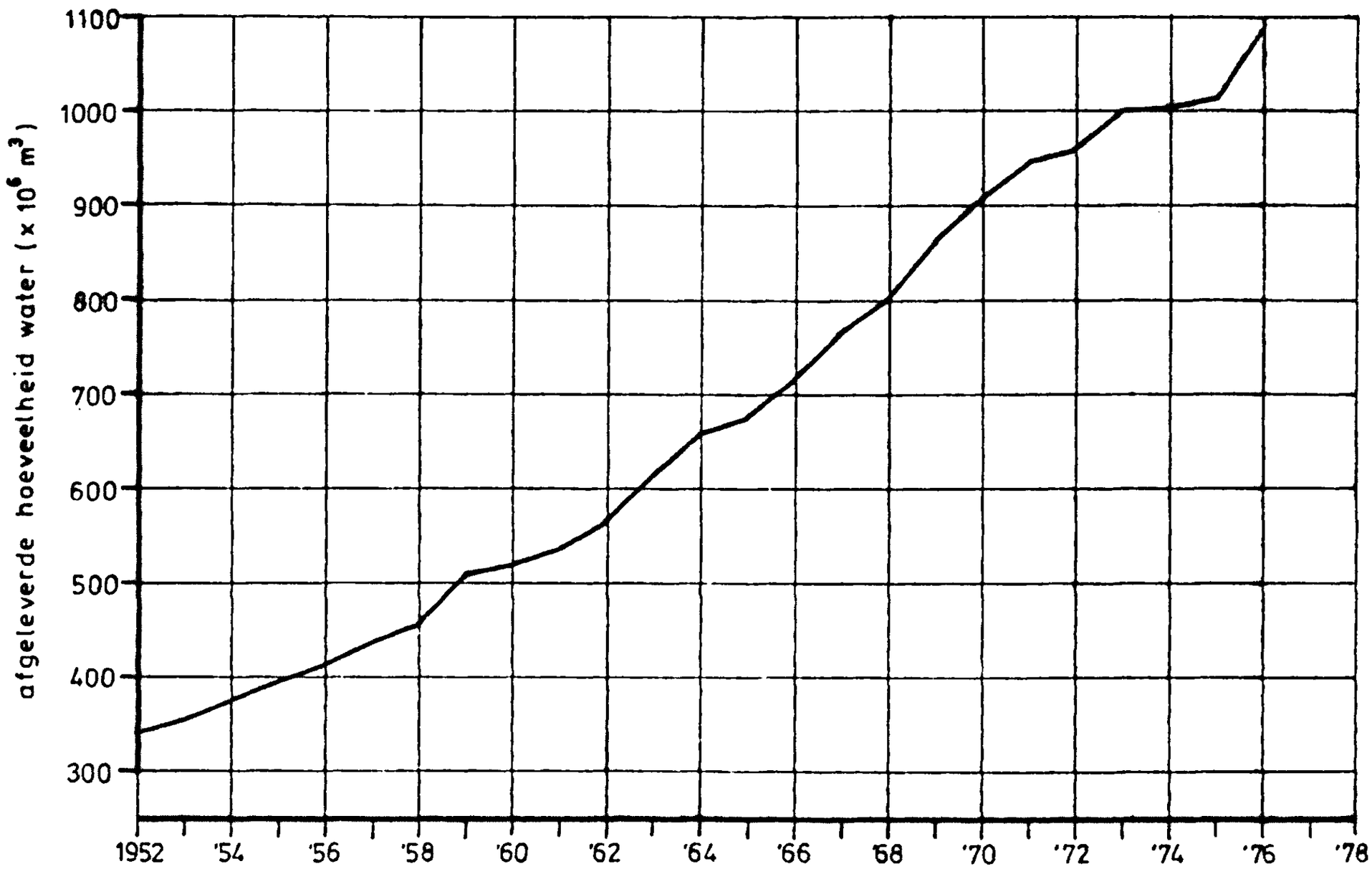
In het algemeen kan opgemerkt worden, dat een droogte als in 1976 is voorgekomen in de natuur tot gevolg heeft dat latente consequenties van eerdere ingrepen in het hydrologisch systeem juist dan merkbaar worden.

7.3. DE DRINKWATERVOORZIENING

De droogte van 1976 heeft ook voor de drinkwatervoorziening consequenties gehad. De vroeg ingezette droogteperiode en de hoge temperaturen hebben geleid tot ongekend grote verbruiken, die gedurende lange tijd aanhielden. Was de toename van de afgeleverde hoeveelheid water ten opzichte van het voorafgaande jaar in 1974 en 1975 zeer gering (resp. 0,2 en 1,2%) in 1976 bedroeg deze toename 7% (figuur 41).

Vooral in de provincie Brabant is de behoefte aan drinkwater in 1976 aanzienlijk toegenomen (tabel 40). Opmerkelijk is dat de verhoogde productie vooral tot stand kwam door uitbreiding van de grondwaterwinning.

Volgens de VEWIN-enquete hebben zich bij 40% van de bedrijven problemen voorgedaan (20). Zo traden er capaciteitstekorten op tijdens de opgetreden piekafnamen, hetgeen voornamelijk drukvermindering



Figuur 41: Afgeleverde hoeveelheid water in de voorzieningsgebieden van de drinkwaterbedrijven in Nederland (19).

provincie	afgeleverde hoeveelheid in m^3		toename in 1976 t.o.v. 1975 in %
	1975	1976	
Groningen	41.281.415	44.164.700	7,0
Friesland	38.954.396	40.114.571	3,0
Drenthe	26.583.545	28.464.523	7,1
Overijssel	71.153.957	76.658.988	7,7
Gelderland	97.526.777	107.233.987	10,0
Utrecht	63.730.577	68.992.960	8,3
Noord-Holland	188.398.905	197.944.737	5,1
Zuid-Holland	234.885.341	244.856.145	4,2
Zeeland	42.396.262	45.317.715	6,9
Noord-Brabant	135.104.338	152.028.190	12,5
Limburg	69.924.021	73.791.682	5,5
Zuidelijke IJsselmeerpolders	3.783.078	4.932.895	30,4
Nederland	$1.013.723 \times 10^3$	$1.084.501 \times 10^3$	7,0
waarvan oppervlaktewater	354.062×10^3	366.324×10^3	3,5
grondwater	659.661×10^3	718.177×10^3	8,9

Tabel 40: Specificatie van de in 1975 en 1976 afgeleverde hoeveelheden water in het eigen voorzieningsgebied van de drinkwaterbedrijven per provincie (19).

op de uiteinden van het waterleidingnet tot gevolg had. Daarnaast was er bij een aantal bedrijven sprake van kwaliteitsverslechtering ten gevolge van toename van chloridegehalten. Vooral ten gevolge van de verminderde kwaliteit van het oppervlaktewater in 1976 ondervond een aantal drinkwaterbedrijven, met name de bedrijven , die duin- of oeverinfiltratie gebruikten in 1977 nog hinder van de droogte. Daar echter door de lange verblijftijden in de ondergrond hier een zekere afvlakking plaatsvindt, zijn de kwaliteitsproblemen ten gevolge van de droogte in 1977 beperkt gebleven. Vele drinkwaterbedrijven hebben maatregelen moeten nemen om aan de verhoogde vraag te kunnen voldoen. Bij een aantal bedrijven met grondwaterwinning moesten ten gevolge van de lage grondwaterstanden en het hoge verbruik in de zomer de onderwaterpompen lager in de putten worden gehangen. Bij sommige putten ontstond door de grondwaterstandsdaling een vermindering van de opbrengst.

Tot slot kan opgemerkt worden dat bij de oppervlaktewaterverwerkende bedrijven de grote waarde van voorraadbekkens in 1976 duidelijk is gebleken.

7.4. DE SCHEEPVAART

In 1976 heeft ook de scheepvaart hinder ondervonden van de droogte. Door de geringe aanvoer van water was het niet altijd mogelijk de minimum vaardiepten te garanderen. Bovendien moesten mede uit oogpunt van waterverdeling, in een aantal gevallen beperkingen aan het schutbedrijf worden opgelegd.

Vooral in het Maasbekken was de aanvoer van water gedurende lange tijd te gering om overal de vaarwegen op peil te houden. De hierdoor veroorzaakte scheepvaartbelemmeringen hebben op een enkel traject tot begin 1977 geduurd.

Ook op de internationale scheepvaartroute Rotterdam-Ruhr werd in 1976 hinder van de droogte ondervonden. De vaardiepte van de schepen op het Nederlands gedeelte van dit traject wordt bepaald door de minst gepeilde diepte in de vaargeul van het riviervak Spijk-Loevestein, terwijl voor het vaartraject Spijk-Ruhr de peilschaalstand te Ruhrort bepalend is. In 1976 was tot half juni de vaardiepte stroomopwaarts van Tiel vrijwel steeds maatgevend voor de internationale vaart. Gedurende de tweede helft van 1976 werd de situatie ter hoogte van Tiel tengevolge van de waterinlaat voor het Amsterdam-Rijnka-

naal merbaar beïnvloed. Deze verslechtering trad echter op in de periode dat de vaarroute te Ruhrort juist maatgevend was voor het traject Rotterdam-Ruhr.

Ook op de Drentse vaarwegen heeft de scheepvaart grote hinder van de droogte ondervonden. Om de watertoevoer naar de hoge delen van dit gebied te kunnen verzorgen, waren stremmingen voor de scheepvaart noodzakelijk. In het lage deel van Nederland was vooral de dreigende verzilting in een aantal gebieden reden om de scheepvaart beperkingen op te leggen. Deze vonden voornamelijk plaats in de vorm van schutbeperkingen, zoals het schutten met volle kolken, het aanpassen van de openingstijden en in een enkel geval het staken van het schutbedrijf.

7.5. DE KOELWATERVOORZIENING

Bij het gebruik maken van oppervlaktewater voor koeling speelt naast de temperatuur van het water met name bij warmtelozingen op stromende wateren de beschikbare hoeveelheid water een belangrijke rol. De geringe afvoeren van de Maas en de Rijn enerzijds en de tengevolge van de klimatologische omstandigheden hoge watertemperatuur anderzijds veroorzaakten in 1976 een beperking van de koelcapaciteit van de voor koeling gebruikte oppervlaktewateren. De geringe afvoeren verhoogden bovendien voor centrales, gevestigd aan kanalen en rivieren, de kans op recirculatie van het koelwater en daarmee tevens de kans op hogere inlaat- en uitlaattemperaturen.

Volgens de huidige vergunningseisen die ingevolge de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren gesteld moeten worden aan koelwaterlozingen van elektriciteitscentrales dienen warmtelozingen aan een aantal voorwaarden te voldoen. Dit betreft de maximale temperatuur in het koelcircuit (30° C), het temperatuursverschil tussen ingenomen en geloosd water (max. 7°C in de zomer en 15°C in de winter) en de opwarming van een rivier (gemiddeld niet meer dan 3°C boven de natuurlijke temperatuur).

Ondanks een aantal bijzondere maatregelen die getroffen moesten worden, waaronder het plaatselijk verminderen van de elektriciteitsproductie, werden op verschillende plaatsen lozingstemperaturen hoger dan 30°C waargenomen (tot maximaal 37°C).

8. WAT HEEFT DE DROOGTE VAN 1976 ONS GELEERD ?

Het buitengewoon droge jaar 1976 heeft in Nederland een combinatie van zeldzame gebeurtenissen te zien gegeven. De neerslaghoeveelheden waren gedurende vele maanden aanzienlijk beneden normaal. Daarbij was de verdamping in de zomer, mede als gevolg van de relatief hoge temperaturen, groter dan normaal. Daar deze meteorologisch uitzonderlijke toestand zich uitstrekte over een groot deel van het stroomgebied van de Rijn en over nagenoeg het hele stroomgebied van de Maas, waren de afvoeren van deze rivieren zeer gering. Met name de Maasafvoer was gedurende vele maanden lager dan de maandminima, die sinds 1911 zijn waargenomen. Het jaar 1976 heeft al met al bewezen, dat er ook in ons land in de waterhuishouding rekening dient te worden gehouden met uitzonderlijke droogteperioden. Ook in onze humide omgeving speelt de beschikbaarheid van water en de verdeling ervan een belangrijke rol.

Het is van belang te onderzoeken wat de oorzaak van deze zeldzame situatie was en tevens na te gaan wat de kans is, dat een dergelijke, of een nog extremere situatie opnieuw optreedt. Daarbij dient opgemerkt te worden, dat de meteorologische situatie, zoals deze in 1976 in Nederland voorkwam, niet overal in het land even uitzonderlijk was. De oorzaak van de droogte hing nauw samen met de, van normaal afwijkende, luchtcirculatietoestand. Een dergelijk circulatiepatroon heeft echter niet altijd een droogteperiode tot gevolg. Bovendien kunnen andere luchtcirculatietypen ook droogte veroorzaken. De vraag naar de oorzaken van het ontstaan van dergelijke uitzonderlijke circulatiepatronen is nog niet afdoende beantwoord. Mogelijk is er een verband met de totale circulatietoestand op het noordelijk halfrond of met de bovenluchtcirculatie in hogere lagen van de atmosfeer. Opvallend was de verschuiving in 1976 van de met de zeewatertemperatuur samenhangende ijsgrens in noordelijke richting.

De studie van de relatie tussen het optreden van droogteperioden en luchtcirculatiepatronen en de hiermee samenhangende verschijnselen verdient sterk de aandacht, onder meer in verband met verbetering van de voorspellingsmogelijkheden.

De extreme situatie in 1976 is aanleiding geweest tot het opnieuw bezien van verschillende hydrologische problemen. Zo was een belangrijk aspect van de droogte de opgetreden verdamping.

Behalve door de meteorologische factoren wordt bij begroeide oppervlakten het verdampingsproces beïnvloed door factoren, die betrekking hebben op de ontwikkeling van het gewas en de fysische eigenschappen van de bodem. Wat dit laatste betreft is de beschikbaarheid van water in de grond een belangrijke factor.

Een deterministische benadering van de werkelijke verdamping is thans nog niet zover ontwikkeld, dat op eenvoudige wijze een regionaal beeld van deze verdamping kan worden gegeven. Ook andere methoden voor het bepalen van de werkelijke verdamping zijn tot nu toe niet zodanig toepasbaar, dat voor extreme jaren een betrouwbare indruk van de regionale, werkelijke verdamping kan worden verkregen. Vooral het voorkomen van regionale verschillen is daarbij belangrijker gebleken, dan werd verondersteld.

Om toch de verdamping van verschillende gebieden met elkaar te kunnen vergelijken, is voor 1976 door het K.N.M.I. uitgegaan van een benadering door de potentiële verdamping. Dat er in het beschouwde jaar belangrijke verschillen zijn opgetreden tussen de werkelijke verdamping en de potentiële verdamping, is vooral veroorzaakt doordat er niet overal voldoende water aanwezig was om optimale verdampingscondities te verzekeren. Daar in dergelijke droge jaren de waterbehoefte groot is, moet er, met het oog op de waterverdeling, grote waarde worden gehecht aan een nauwkeurige bepaling van de werkelijke verdamping in verschillende gebieden.

Het verdient aanbeveling studies op lokale en regionale schaal van de werkelijke verdamping te bevorderen, die daarbij vooral gericht zijn op de bepaling van de beschikbaarheid van water in de grond, mede in relatie tot de grondwaterstand.

De neerslag en verdamping spelen ook een belangrijke rol bij de aanvulling van het grondwater. Het verloop van de aanvulling in de tijd wordt daarnaast mede bepaald door de bergingseigenschappen van de onverzadigde zone. In enkele onderzochte gevallen is gebleken, dat het verband tussen de diverse componenten moeilijk statistisch of de-

terministisch is te kwantificeren. Dit hangt voor een deel samen met de nauwkeurigheid van de verdampingsgegevens en de kennis van de infiltratie-karakteristiek van de onverzadigde zone.

De gevolgen van de droogte in 1976 voor het grondwater zijn niet eenvoudig te evalueren. De resultaten van enige lokale onderzoeken hebben slechts een indicatieve waarde voor grotere gebieden met een min of meer overeenkomstig geohydrologisch karakter. Een totaalbeeld van de grondwaterstandsdalingen, zoals die in 1976 zijn opgetreden, kan slechts worden verkregen door de uitvoering van een gedetailleerd landelijk onderzoek. Een dergelijk onderzoek moet inspelen op een meer dynamisch gebruik van grondwater, waarbij onder meer aandacht zal moeten worden besteed aan de consequenties van fluctuaties in de grondwaterstand voor door grondwater gevoede waterlopen en het effect van stuwbeheer en waterinlaat op de grondwaterstand. In het algemeen is er in kwantitatieve zin nog te weinig bekend over de toevoer van water vanuit het grondwater naar de waterlopen en de mogelijkheid van voeding in omgekeerde richting. Dit geldt zowel voor het verloop ervan in de tijd als de mate waarin de aanvulling in de lengte-richting van de waterloop plaatsvindt.

Het verdient aanbeveling nadere studies te verrichten naar de relatie tussen grondwater en relevante natuurlijke processen, zoals neerslag, verdamping en infiltratie via het landoppervlak en naar de onderlinge relatie tussen grondwater- en oppervlaktewatersystemen.

Bij aanwezigheid van voldoende gegevens is een statistische analyse van het waarnemingsmateriaal mogelijk. Een belangrijk aspect hierbij is de bepaling van de kansverdeling van een bepaald hydrologisch gebeuren, zowel ten aanzien van de grootte van de kenmerkende variabelen als van de duur van een bepaald fenomeen. Veelal zal de watergebruiker echter vooral geïnteresseerd zijn in de kansverdeling van de combinatie van de voor hem belangrijke aspecten van het hydrologisch systeem en in de voorspelling van hydrologische gebeurtenissen. Ook het vergelijken van statistische en niet statistische grootheden (bijvoorbeeld aanbod en vraag bij de waterverdeling) is in dit kader van belang.

Aan de statistische bewerking van diverse variabelen en aan combinaties hiervan moet dan ook de nodige aandacht worden geschonken, me-

de met het oog op het voorspellen van hydrologische gebeurtenissen.

Vrijwel alle waterschappen hadden in 1976 te kampen met een te geringe beschikbaarheid van oppervlaktewater. Dit was niet beperkt tot de gebieden, die geen mogelijkheden tot het inlaten van oppervlaktewater bezaten.

In vele gebieden, die wel over inlaatmogelijkheden beschikten, was namelijk ook sprake van een dergelijk tekort. Dit leidde ondermeer tot onderschrijding van streefpeilen, het instellen van verordeningen voor het gebruik van oppervlaktewater voor beregenings- en bevloeiingsdoeleinden en tot een vermindering van de waterkwaliteit als gevolg van noodzakelijk geworden beperkingen in doorspoeling. In dit licht gezien is het gewenst, dat voor vele gebieden studies verricht worden naar de mogelijkheden tot verruiming van de inlaatmogelijkheden en van de interne transportmogelijkheden. Verder is de behoefte aan dergelijke studies mede beïnvloed door de recent opgetreden uitbreiding van het bestand aan beregenings- en bevloeiingsinstallaties en door de toegenomen grondwateronttrekkingen.

Het is gewenst om studies te verrichten naar de mogelijkheden tot uitbreiding en capaciteitsvergroting van het bestaande wateraanvoersysteem.

Door de grote waterbehoefte en het relatief geringe wateraanbod heeft de waterverdeling in 1976 veel aandacht gevraagd. Voor een juiste distributie van het beschikbare water dient men naast een adequate infrastructuur te beschikken over recente kwantitatieve gegevens betreffende waterstanden, afvoeren in het hele waterhuishoudkundige systeem en informatie omtrent kwaliteit van het beschikbare water.

Daarnaast is ook de informatie over de kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van de waterbehoefte noodzakelijk. Tevens is voor een juiste waterverdeling het beschikbaar zijn van een "afwegingsprocedure" een essentiële voorwaarde.

In 1976 is gebleken, dat vooral ten aanzien van het secundaire en tertiaire waterlopenstelsel, het aanwezige meetnet nog onvoldoende gegevens verschaft. Dezelfde leemte is meermalen geconstateerd bij hydrologische onderzoeken in diverse delen van Nederland.

Uitbreiding van vooral de regionale verzameling en systematische verwerking van gegevens, zowel ten aanzien van de waterkwantiteit als waterkwaliteit moet sterk worden bevorderd.

De uitbreiding van de meetnetten dient mede gezien te worden in het licht van de toegenomen vraag naar gegevens ten behoeve van de hydrologische modellen. Meestal hebben namelijk nieuwe geavanceerde rekentechnieken eerder behoefte aan meer dan aan minder gegevens. Hoewel het in de meeste gevallen dus aanbeveling verdient bestaande meetnetten uit te breiden of nieuwe in te richten zullen soms echter met behulp van bepaalde rekenmodellen gegevens kunnen worden gegenereerd en is intensivering van de metingen minder noodzakelijk.

Bij de waterverdeling spelen zowel de vraag naar water als de beschikbaarheid ervan een rol. Veel aandacht is steeds besteed aan de watervoorziening. Echter ook de waterbehoefte dient in droge perioden kritisch bekeken te worden.

Met betrekking tot de waterbehoefte dient de aandacht onder meer gericht te zijn op het bepalen van de gevoeligheid voor droogte bij de verschillende watergebruikers en verbruikers, mede in relatie tot de verminderde beschikbaarheid van water.

9. SAMENVATTING

In Nederland en omliggende landen is 1976 bekend geworden als een droog en warm jaar. Gedurende vele maanden zijn de neerslaghoeveelheden beneden normaal gebleven. De kans, dat er in de periode maart tot en met augustus even weinig of minder neerslag kon worden verwacht als in dezelfde periode in 1976 is gevallen, bedraagt ca. 0,3%.

De in 1976 geregistreerde neerslaghoeveelheden waren niet in alle delen van het land even uitzonderlijk. In Beek (Limburg) is de kans op een herhaling van de situatie, zoals die in 1976 is opgetreden, aanmerkelijk groter dan in de kuststrook.

In de zomermaanden van 1976 waren de gemiddelde maandtemperaturen hoger dan normaal. Mede hierdoor was de potentiële gewasverdamping groot, vooral in de zuidelijke provincies. De potentiële gewasverdamping bereikte hier waarden, die ca. 20% hoger dan normaal waren. Het verschil tussen de potentiële gewasverdamping en de neerslag, het zogenaamde potentieel netto-neerslagtekort, was vooral in Zuid-Holland, Zeeland, Noord-Brabant en Gelderland aanzienlijk. In Zeeland bereikte dit tekort een maximum : 444 mm. De werkelijk opgetreden gewasverdamping wordt vooral in de jaren met extreme klimaatomstandigheden, slechts ten dele door de potentiële verdamping benaderd. In 1976 heeft de plaatselijke geringe, voor verdamping beschikbare hoeveelheid water een beperkende invloed gehad op de grootte van de opgetreden verdamping.

Door de uitzonderlijke meteorologische situatie was de behoefte aan zoet water in 1976 groter dan normaal. De belangrijkste bron om in deze vraag naar water te voorzien, werd naast de neerslag gevormd door de afvoeren van de grensoverschrijdende rivieren, de Rijn en de Maas. Doordat ook grote delen van de stroomgebieden van deze rivieren door de droogte werden getroffen, waren de afvoeren van Rijn en Maas bijzonder laag. Gedurende bijna heel 1976 bleef de Maasafvoer beneden de 10% onderschrijdingsfrequentie. In de maanden april tot en met september werden hier zelfs de laagste maandwaarden sinds 1911 waargenomen. Ook de Rijn had in 1976 zeer lage afvoeren, vooral in de maanden mei, juni en juli. De waargenomen afvoeren hadden een kans van optreden van respectievelijk 2,5 en 0,5%.

Begin augustus was er een kleine afvoertop, waarna de afvoer weer daalde beneden de 10% onderschrijdingslijn. Pas begin december bereikte de afvoer weer normale waarden. In feite was er bij de Rijn sprake van een in oktober 1975 aangevangen droogtepersistentie. Deze duurde tot en met januari 1977.

Voor de waterhuishouding is vooral de kans op een combinatie van geringe neerslaghoeveelheden in Nederland en lage Bovenrijn-afvoeren, zoals deze in 1976 zijn waargenomen, van belang. De kans op een herhaling van een dergelijke gebeurtenis is mogelijk minder dan 1%.

De uitzonderlijke meteorologische omstandigheden in 1976 hebben ook op het grondwater grote invloed gehad. In vrijwel alle gebieden werden ten gevolge van de droogte zeer lage grondwaterstanden geregistreerd.

Afhankelijk van de diepte van het grondwatervlak werden daarbij naijlingen bespeurd, die tot meer dan een jaar konden oplopen.

In de lage delen van Nederland was de grondwaterstand veelal lager dan de eerder geregistreerde laagste stand. Echter ondanks de matige neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar 1976-1977 hebben hier de grondwaterstanden in de op de droogte volgende winter, weer normale niveaus bereikt.

In de hogere delen van Nederland met een ondiepe waterstand zijn de zomerpeilen van het grondwater eveneens zeer laag geweest, deels ten gevolge van de reeds lage voorjaarsstanden, deels door de droogte in de zomer. Ook de in deze gebieden opgetreden grondwaterstanden waren veelal lager dan de in voorafgaande jaren geregistreerde minima. Mede door het uitblijven van meer dan normale neerslag in het winterseizoen 1976-1977 zijn de grondwaterstanden hier in de zomer van 1977 nog niet tot een normaal niveau teruggekeerd.

In hogere gebieden met een diepe grondwaterstand, met name op de Veluwe, is de grondwaterstand met een onderbreking in 1975, sinds 1970 ten gevolge van voorgaande droge winters nog steeds dalende. Deze tendens is in 1977 voortgezet.

Voor een optimale verdeling van het beschikbare zoete water is kennis van de waterbehoefte naar tijd en plaats van belang. In een aantal sectoren was de waterbehoefte in 1976, met name in de zomermaanden, groter dan normaal. Vooral de landbouw kende

een grote vraag naar water. Daarnaast diende bij de verdeling van het schaarse water ook rekening gehouden te worden met andere belangen, zoals drink- en industriewatervoorziening, natuurbeheer, scheepvaart, koelwatervoorziening en recreatie.

De voor de waterverdeling benutte infrastructuur kan worden verdeeld in het waterhuishoudkundige hoofdsysteem en regionale deelsystemen. Het hoofdsysteem bestaat uit de grote rivieren, het Amsterdam-Rijnkanaal, het Noordzeekanaal, het IJssel- en Markermeer en de benedenrivieren, waaronder het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg.

Door de geringe wateraanvoer van de Rijn en de Maas zijn in 1976 in dit hoofdsysteem gevolgen van de droogte merkbaar geweest.

De scheepvaart ondervond hinder van lage waterstanden op de Bovenrijn, de Waal en de IJssel en van vaarbeperkingen op de Maas, er waren grote peilvariaties op het IJssel- en Markermeer en meerdere malen dreigde de Hollandsche IJssel te verzilten.

Bij beschouwingen over de regionale waterhuishouding kan onderscheid gemaakt worden tussen de hoge en lage delen van Nederland. Vele gebieden in het hoge deel hebben weinig of geen mogelijkheden voor wateraanvoer. Hier traden in 1976 belangrijke kwantitatieve watertekorten op. Vooral de landbouw ondervond hiervan de gevolgen. In de laaggelegen gebieden waren er in 1976 vooral kwalitatieve problemen. Door gebrek aan doorspoelwater trad er op grote schaal verzilting van de waterlopen op.

Zowel in de hoge als de lage delen van het land werd in een deel van de waterbehoefte van de gewassen voorzien door op uitgebreide schaal gebruik te maken van beregeningsinstallaties. In gebieden met wateraanvoer werd daarbij voornamelijk oppervlaktewater aangewend. In gebieden zonder wateraanvoer werden voor de beregening aanzienlijke hoeveelheden grondwater onttrokken.

Door de hoge temperaturen van het oppervlaktewater en de geringe mogelijkheden tot vergroting van de wateraanvoer ondervond plaatselijk de koelwatervoorziening hinder van de droogte. Ook voor de natuur had de droogte consequenties. Veel jonge bosaanplant ging verloren en door de te grote daling van de grondwaterstand verdwenen enkele zeldzame en kwetsbare organismen en levensgemeenschappen.

10. LITERATUURVERWIJZINGEN

1. British National Committee on Hydrological Sciences (1977) : Scientific aspects of the 1975-'76 drought in England and Wales; verslag bijeenkomst 28 oktober 1977.
2. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut : Maandelijks overzicht der weersgesteldheid, jaargang 1974-1977.
3. Koninklijk Meteorologisch Instituut (1976): De droogte van 1976; publikatie no. 154.
4. R.M. Morris and R.A.S. Rattcliffe (1976): Under the weather; Nature, vol. 264, 4 nov. 1976, p 4-5.
5. Central Water Planning Unit (1976): The 1975-1976 drought on hydrological review; Techn. note 17, Reading U.K.
6. J.W. Tops (1961): Het regime van de Rijn; versl. Med. CHO-TNO Den Haag, No. 6, p 9-32.
7. P.J. Wemelsfelder (1961): Lage Rijnafvoeren en het optreden van persistenties; versl. Med. CHO-TNO, Den Haag, no. 6, p 33-62.
8. Rijkswaterstaat (1977): De waterhuishouding van Nederland in de droge periode van 1976; nota W.H. 77-11, RWS, dir. W. en W. Hoofdafdeling Waterhuishouding.
9. Rijkswaterstaat (1977): Droogte 1976 en Bovenrivieren; nota RWS, dir. Bovenrivieren, hoofdafd. Waterwegen en Waterbeheer.
10. Rijkswaterstaat (1977): De Maas in de droge zomer van 1976; nota 77-5, RWS dir. W. en W. Afd. Maas, district Zuidoost.
11. Rijkswaterstaat (1971): Karakteristieken van onverdeelde Maasafvoeren te Monsin en te Lith; nota 71-5 RWS, dir. Limburg voorm. afd. Studiedienst Maas.
12. Th. G. Martijn (1967-1): Afvoer- en chloridekarakteristieken van de Rijn in verband met voorraadvorming; Water 51 (1967) (4), p 76-85.
13. Th. G. Martijn (1967-2): Afvoerkarakteristieken van de Maas in verband met voorraadvorming, Water 51 (1967) (22), p 409-414.
    Water 51 (1967) (23), p 423-431.
14. F. Walter (1977): De grondwaterstanden in de droge zomer van 1976, H_2O (10) nr. 8, p 180-184.
15. P.K.M. van der Heijde (1977): De grondwaterstanden na de droogte van 1976; jaarverslag Dienst Grondwaterverkenning TNO.

16. G.K. Brouwer (1977): Een analyse van de (nuttige) neerslag en de grondwaterstand van de Gelderse Vallei en Veluwe over de periode 1956-1976; nota Dienst Grondwaterverkenning TNO (nog niet gepubliceerd).
17. P.J.M. van Boheemen (1977): De voorjaars- en zomergrondwaterstanden in enkele oostelijke en zuidelijke zandgebieden in het droge jaar 1976; nota 1011, ICW, Wageningen.
18. Centrale Commissie Drinkwatervoorziening (1965): De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland; Staatsuitgeverij, Den Haag.
19. VEWIN: Waterleidingstatistiek 1968-1976.
20. VEWIN (1977): Interimnota inzake de problemen van de openbare watervoorziening tijdens de droge periode 1976.
21. H. van Dam en R.C. van Apeldoorn (1978): De droogte van 1976 en de natuur in Nederland, H_2O (11) nr. 13, p 278-281.
22. Rijkswaterstaat (1968): De waterhuishouding van Nederland; nota RWS, Staatsuitgeverij, Den Haag.
23. Beraadsgroep Watervoorziening 1971, Provinciale Waterstaat Zuid-Holland: Jaarverslag 1976, deelrapport 5, Hoogheemraadschap van Delfland.
24. Idem, deelrapport 4 : Hoogheemraadschap van Rijnland.
25. Idem, deelrapport 1 : Rijkswaterstaat, dir. Zuid-Holland.
26. H. Ton (1977): Waterbehoefte en watervoorziening; concept hoofdstuk 4, rapport Werkgroep Watervoorziening, Cultuurtechnische Dienst.
27. J. Wesseling (1976): Gevolgen van drinkwateronttrekking voor de landbouw; H_2O Jaargang no. 14, p 267-271.
28. ICW, Jaarverslag 1976.
29. P.J.M. van Boheemen (1977): Het watergebruik binnen de land- en tuinbouwgebieden in de droge zomer van 1976; ICW, Wageningen, nota nr. 975.
30. M. ten Cate-van Elsland (1977): Massale beukensterfte; Rijksinstituut voor Onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen.

11. OVERZICHT VAN DE TOT MEI 1978 VERSCHENEN PUBLIKATIES OVER DE DROOGTE VAN 1976

- Beraadsgroep Watervoorziening 1971 (1977): Jaarverslag 1976. Hoofdrapport en deelrapporten, secr. Prov. Waterstaat Zuid-Holland, Den Haag.
  Deelrapport 1 : RWS, dir. Zuid-Holland.
  2 : RWS, dir. Utrecht : De waterhuishoudkundige toestand in 1976 van het Amsterdam-Rijnkanaal en de Vaartse Rijnboezem; nota 77-01 U/AN.
  3 : RWS, dir. Noord-Holland.
  4 : Hoogheemraadschap van Rijnland.
  5 : Hoogheemraadschap van Delfland.
  6 : Hoogheemraadschap van Schieland.
  7 : Grootwaterschap van Woerden.
  8 : Hoogheemraadschap van de Krimpenerwaard.
  9 : Waterschap Lopikerwaard.
  10 : Provinciale Waterstaat Noord-Holland.

- P.J.M. van Boheemen (1977) : Het waterverbruik binnen de land- en tuinbouwgebieden in de droge zomer van 1976, ICW, Wageningen, nota nr. 975.

- P.J.M. van Boheemen (1977) : De voorjaars- en zomergrondwaterstanden in enkele oostelijke en zuidelijke zandgebieden in het droge jaar 1976; ICW, Wageningen, nota 1011.

- British National Committee on Hydrological Sciences (1977): Scientific aspects of the 1975-'76 drought in England and Wales; verslag bijeenkomst 28 oktober 1977.

- G.K. Brouwer (1977): Een analyse van de (nuttige) neerslag en de grondwaterstand van de Gelderse Vallei en Veluwe over de periode 1956-1976; nota Dienst Grondwaterverkenning TNO (nog niet gepubliceerd).

- H.A.R. de Bruin en W. Kohsiek (1977): De verdamping uit gras op kleigrond in de zomer van 1976, vergeleken met de Penman-formule; KNMI, De Bilt, Wetensch. rapport W.R. 77-10.

- M. ten Cate-van Elsland (1977): Massale beukensterfte; Rijksinstituut voor Onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen.

- Central Water Planning Unit (1976): The 1975-1976 drought on hydrological review; Techn. note 17, Reading U.K.

- H. van Dam en R.C. van Apeldoorn (1978): De droogte van 1976 en de natuur in Nederland; H_2O (11)13, p 278-281.

- J. Haasnoot (1977): Een oppervlaktewaterbedrijf in de droge zomer van 1976; H_2O (10) 8, p 192-194.

- P.K.M. van der Heijde (1977): De grondwaterstanden na de droogte van 1976; jaarverslag Dienst Grondwaterverkenning TNO.

- Hoogheemraadschap Uitwaterende sluizen Kennemerland en West-Friesland (1976): Informatie met betrekking tot de watervoorziening van de boezems van het Hoogheemraadschap in de droge zomerperiode van 21 juni tot 12 augustus 1976; rapport no. 91440/AD2.

- Institute of Water Engineers and Scientists and Institute of Civil Engineers (1977): One day seminar on the operational aspects of the drought of 1975-'76; repr. of papers, IWES, London.

- H. ten Kate (1976): De droogte van 1976; Landbouwkundig Tijdschrift/PT, (88) 12, p 375-377.

- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: Maandelijks overzicht der weersgesteldheid.

- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (1976): De droogte van 1976; publicatie no. 154.

- W. v.d. Linden (1978): De invloed van de droogte in 1976 op het onttrokken Rijnwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening; afstudeeronderzoek in opdracht van de Rijncommissie Waterleidingbedrijven (RIWA), TH Delft, afd. Civiele Techniek.

- R.M. Morris and Rattcliffe (1976): Under the weather; Nature vol. 264, 4 nov. 1976, p 4-5.

- Provinciale Waterstaat in Drenthe (1976): Droogte in Drenthe; rapportage 1976.

- Provinciale Waterstaat in Groningen (1977): Verslag over de oppervlaktewatervoorziening in de provincie gedurende de droge zomer van 1976; P.W. Groningen, Afd. Land- en Waterhuishouding, nota 77-01.

- G.H. Reinds en A.K. van Hemert (1978): Beregening en bevloeiing in relatie tot de bedrijfsstructuur; ICW, Wageningen, nota no. 1035.

- Rijkswaterstaat (1977): De waterhuishouding van Nederland in de droge perioden van 1976, nota W.H. 77-11, RWS, dir. W en W, Hoofdafdeling Waterhuishouding.

- Rijkswaterstaat: Waterverdeelplannen voor de droogteperiode 1976; RWS, dir. W. en W., distr. Zuid-west, rapport nr. 11-006-01.

- Rijkswaterstaat: Waterverdeling droge periode, toetsing berekenings-resultaten vermeld in nota 11-006-01; RWS, dir. W en W, distr. Zuid-west, rapp. nr. 11-006-02.

- Rijkswaterstaat (1977): Droogte 1976 en Bovenrivieren; nota RWS dir. Bovenrivieren, hoofdafd. Waterwegen en Waterbeheer.

- Rijkswaterstaat (1977): Droogterapport Benedenrivierengebied; RWS, dir. Benedenrivieren, afd. AXB.

- Rijkswaterstaat (1977): De lage afvoeren van de Bovenrijn en Maas in 1976; RWS, dir. W en W, hoofdafd. Waterhuishouding, nota nr. WH 77-09.

- Rijkswaterstaat (1977): De Maas in de droge zomer van 1976; nota nr. 77-5, RWS, dir. W en W, afd. Maas, district Zuid-oost.

- Rijkswaterstaat Friesland (1977): Verslag droge zomer 1976, RWS, dir. Friesland, Afd. Planst. en onderz. ANP rapp. ANP 77-02.

- Rijkswaterstaat Overijssel (1977): Rapportage over droogte 1976 in Overijssel, RWS, dir. Overijssel, Afd. Planst. en Waterhuish., nota 1977-4.

- Rijkswaterstaat Gelderland (1977): Droogterapport over de zomer van 1976; RWS, dir. Gelderland.

- Rijkswaterstaat Utrecht (1977): Rapportage over de droogte in 1976; RWS, dir. Utrecht, nota 77-03 U/AN.

- Rijkswaterstaat Noord-Holland (1977): Rapportage droogte 1976; RWS dir. Noord-Holland, rapp. SDIJ 77-05.

- Rijkswaterstaat Zeeland (1977): Rapportage droogte 1976; RWS, dir. Zeeland, arr. Terneuzen, Goes en Vlissingen.

- Rijkswaterstaat Noord-Brabant (1978): Nota inzake de droogte van 1976 in de provincie Noord-Brabant, RWS, dir. Noord-Brabant, regionale overleggroep droogteproblemen.

- D. van Rijsbergen (1977): Een grondwaterleidingbedrijf in de droge zomer van 1976; H_2O (10) 8, p 186-188.

- W.P. Slijkhuis (1977): Een waterschap in de droge zomer van 1976; H_2O (10) 8, p 189-192.

- C.J.E. Schuurmans (1977): Meteorologische aspecten van de droge zomer van 1976; H_2O (10) 8, p 178-180.

- Tweede Kamer der Staten Generaal (1976): De droogtesituatie in de landbouw; 2e kamerzitting 1975-'76, 14057 nr. 1, p 1-18.

- Unie van Waterschappen (1977): Enquête watervoorziening waterschappen 1976; rapp. Uniecomm. Waterbeheersing en Techn. Adv.Bureau Unie van Waterschappen.

- VEWIN (1977): Interimnota inzake de problemen van de openbare watervoorziening tijdens de droge periode 1976.

- F. Walter (1977): De grondwaterstanden in de droge zomer van 1976; H_2O (10) 8, p 180-184.

- Waterschap De Dommel (1976): Noodwatervoorziening zomer 1976; nota Techn. Dienst, afd. Hydrologie.

- J. Wesseling (1977): De landbouw in de droge zomer van 1976; H_2O (10) 8, p 185.

- J.G.S. de Wilde (1978): Toename, watergift, gemeenterelaties, bedrijfstype en -grootte van de beregenings/bevloeiing in Nederland in 1976; ICW, Wageningen, nota 1039.

- J.G.S. de Wilde en Th.J. Linthorst (1978): Beregening en bevloeiing in Nederland in het zeer droge jaar 1976; Landbouwkundig Tijdschrift/PT (90) 3, p 60-68, en ICW, Wageningen, nota 973.

RAPPORTEN EN NOTA's VAN DE COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO

1. Tweede rapport en aanbevelingen
van de Contactgroep Archivering en Automatische verwerking
van hydrologische gegevens TNO.
Januari 1977.

2. Verslag en aanbevelingen
van de TNO ad-hoc groep Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur.
Juli 1978.

3. De droogte in 1976.
Een samenvatting en overzicht van de over de droogte van 1976
verschenen literatuur. (Ir. P.K.M. van der Heijde).
Augustus 1978.