COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN No. 6

VERSLAG VAN DE TECHNISCHE BIJEENKOMST 15

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK T.N.O.

VERSLAGEN EN MEDEDELINGEN NO. 6

VERSLAG VAN DE TECHNISCHE BIJEENKOMST 15

NEDERLANDSE CENTRALE ORGANISATIE
VOOR TOEGEPAST NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK

VERSL. MEDED. COMM. HYDROL. ONDERZ. T.N.O. No. 6 - 'S-GRAVENHAGE - 1961

COMMITTEE FOR HYDROLOGICAL RESEARCH T.N.O.

PROCEEDINGS AND INFORMATIONS NO. 6

PROCEEDING OF THE TECHNICAL MEETING 15

WITH SUMMARIES IN ENGLISH

CENTRAL ORGANIZATION FOR APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH IN THE NETHERLANDS T.N.O.

SECTION T.N.O. DES RECHERCHES HYDROLOGIQUES

COMPTES-RENDUS ET COMMUNICATIONS NO. 6

COMPTE-RENDU DE LA SESSION TECHNIQUE 15

AVEC DES RÉSUMÉS EN FRANÇAIS

ORGANISATION CENTRALE T.N.O. POUR LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE APPLIQUÉE AUX PAYS-BAS

FUNCTIES VAN DE INLEIDERS TEN TIJDE VAN DE TECHNISCHE BIJEENKOMST

Ir. J. W. Tops	Hoofd afd. Studiedienst van de Directie Bovenrivieren, Rijkswaterstaat, Arnhem.
Ir. P. J. Wemelsfelder	Hoofdingenieur-A bij de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage.
Ir. C. H. de Jong	Hoofd afd. Waterloopkundige dienst van de Dienst der Zuiderzeewerken, 's-Gravenhage.
Ir. K. F. Valken	Hoofd afd. Waterhuishouding van de Deltadienst, Rijkswaterstaat. 's-Gravenhage.

INHOUD

Woord vooraf 7

I. Het regime van de Rijn, J. W. Tops 9
Summary 9
Résumé 10
1. Inleiding 12
2. Het stroomgebied 14
a. Zwitsers stroomgebied 15
b. Duits stroomgebied 17
c. Neerslag in het stroomgebied 18
3. Wijzigingen in het regime 19
4. Het regime van de Nederlandse Rijn 20
5. Rijnkanalisatie en stuwplan 23
6. De kwaliteit van het water 27
Samenvatting 29
Literatuur 31
Discussie 32

II. Lage Rijnafvoeren en het optreden van persistenties, P. J. Wemelsfelder . 33
Summary 33
Résumé 33
1. Inleiding 34
2. Enige denkbare voorspellingsmethoden 34
3. Karakteristieke waarden voor elke kalendermaand 36
4. De te verwachten afvoeren gezien als afwijking van een gemiddelde . . 38
5. De wisselvalligheid van de afvoer 40
6. Het toevalskarakter in de neerslag 42
7. De Rijnafvoer, gezien als afwisseling van hoog en laag 45
8. De opeenvolging van hoog en laag bij de afvoer 46
9. De persistenties in het afvoerbeeld 48
10. Enige bijzonderheden omtrent de persistenties 50
11. Oorzaken der persistenties 52
12. De persistentie als medebepalende factor van de komende afvoeren . . 55
13. Toetsing van de besproken voorspellingsmogelijkheid 58
14. Enige andere hydrologische gezichtspunten 60
Samenvatting 61
Literatuur 61
Discussie 62

III. Het onderzoek ten behoeve van de waterhuishouding van het IJsselmeer, C. H. DE JONG 63
Summary 63
Résumé 65
1. Inleiding 67
2. Huidige waterhuishouding 68
3. Waterrekening Klein IJsselmeer 74
a. Historisch overzicht 74
b. Waterbezwaar Groot IJsselmeer 76
c. Waterbezwaar Klein IJsselmeer 78
d. Berekening van toekomstige toestanden 79
e. Betekenis van de afvoervoorspelling van de Rijn 80
4. Zoutrekening Klein IJsselmeer 81
a. Algemeen 81
b. Zoutbezwaar Groot IJsselmeer 82
c. Zoutbezwaar Klein IJsselmeer 85
5. Besluit 86
Literatuur 87
Discussie 87
Notatie 89

IV. Het onderzoek ten behoeve van het Zeeuwse Meer, K. F. VALKEN . . . 91
Summary 91
Résumé 92
1. Inleiding 94
2. Onderzoek van de waterloopkundige randvoorwaarden 94
3. Onderzoek van de waterkwaliteit 101
4. Peilregeling en inrichting 108
Discussie 111

WOORD VOORAF

De hierna gebundelde bijdragen zijn opgesteld als voordrachten voor de 15e Technische Bijeenkomst van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O., gehouden op 6 november 1959 te Utrecht. De betreffende bijeenkomst was geheel gewijd aan de onderzoekingen ten behoeve van een verantwoord beheer van de Rijn, IJsselmeer en Zeeuwse Meer.

Aan de beheersing van de waterhuishouding in ons land worden steeds hogere eisen gesteld, zowel kwalitatief als kwantitatief. Mede in verband hiermee kunnen de hier weergegeven onderzoekingen nog geenszins als afgesloten worden beschouwd. Grote belangstelling bestaat echter reeds voor de tot nu toe behaalde resultaten inzake afvoermetingen, afvoervoorspellingen, gebruik van water voor suppletiedoeleinden, kwaliteitsonderzoek e.d.

Het is verheugend dat deze belangstelling weerspiegeld wordt in de voordrachten en discussies van de 15e Technische Bijeenkomst. Zeer zeker zal de publikatie ervan bijdragen tot beantwoording van de vraag, hoeveel water — en van welke kwaliteit — er in Nederland in de toekomst nodig zal zijn. Ook op internationaal niveau is een wetenschappelijk gefundeerd antwoord op deze zo belangrijke vraag van bijzondere betekenis.

Voorts draagt de publikatie bij tot kennisneming van de problemen inzake de methoden van onderzoek, die in de hydrologische vakgebieden toepassing vinden.

De Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. spreekt dan ook gaarne de hoop uit, dat dit Verslag een verdere stimulans zal betekenen voor het verkrijgen van meer kennis omtrent het waterregime in ons land.

De Voorzitter,
F. HELLINGA.

I. HET REGIME VAN DE RIJN

J. W. TOPS
Directie Bovenrivieren Rijkswaterstaat

SUMMARY

THE REGIMEN OF THE RHINE

In connection with the task of the river Rhine: discharge of precipitation of the catchment area, navigable waterway, supply of clean water and of energy, transportation of waste water, its regimen is of a very great importance.

The presence of lakes and glaciers as well as the situation and the nature of the soil act a part (fig. 1). The regimen can be influenced by human interference (construction of artificial lakes, disforestation etc.).

The regimen of the Rhine in Switserland is for a greater part determined by the lakes. The maximum discharges take place during summer (fig. 2). The swiss part of the total discharge of the Rhine, on an average being 50% varies from about 70% to 25%. The great swiss lakes smooth — by their accumulating action — the extremities in the curve of daily discharges. The relation between the minimum discharge and the maximum discharge of the Rhine, when entering the Lake Constance amounts to 1 : 65; when leaving the Lake Constance only 1 : 10. At Basle this relation is 1 : 15.

The precipitation in the catchment area of the Rhine varies between 2500 and 500 mm/year. The average is 900 mm/year.

In Germany the regimen changes, due to the tributaries which are fed for the greater part by rain and which are nearly all canalised. The summer floods decrease in importance, the maximum discharges take place in winter time (fig. 3). At the Dutch frontier the relation between the minimum discharge and the maximum discharge is 1 : 21.

Regularly the discharges on the branches of the Rhine in the Netherlands are determined by measurements; from these results discharge curves are composed (fig. 4). Discharge duration curves are constructed by means of waterlevel frequency curves (fig. 5).

The discharge of the Upper Rhine at Lobith varies from 630 m^3/sec. (1947) up to 13.500 m^3/sec. (1926). The lowest known discharges on the branches of the Rhine are: IJssel 50 m^3/sec.; Lower Rhine 90 m^3/sec.; Waal 490 m^3/sec.

Prolonged droughts, as in the years 1947, 1949 and 1959 (fig. 6), are a great inconvenience to the water management and to the navigation. Especially the IJssel and Lower Rhine have then a far too small discharge to be able to provide for the wants. These problems can be solved by canalisation of the IJssel or of the Lower Rhine-Lek. In view of the supply of fresh water to the northern part of the country the last solution has been chosen.

During periods of low discharges of the Upper Rhine the IJssel and with her the IJsselmeer will receive considerably more water; the Lower Rhine on the contrary less. The difficulties attached to the last mentioned decrease can be met, as far as the Lek is concerned, by the supply of water of the Waal via the Amsterdam-Rhine canal; the problems for the western part of the country will be solved in connection with the Delta-works.

The manner of distribution of the discharge between the Lower Rhine and the IJssel at the various discharges of the Upper Rhine is indicated in so-called programs of damming up (fig. 7). The limits between which these programs are situated are determined at the one hand by the required minimum discharge of the Lower Rhine and at the other hand by the altitude of the forelands and the equilibrium of the river bottom.

The quality of the water of the Rhine in the Netherlands, which covers 60% of the need of fresh water, causes great troubles. Particularly the content of chlorine is alarming. Since 1945 it is yearly increasing with 5% (fig. 8). The average discharge of chlorine at Lobith was more than 260 kg/sec in the year 1958. During periods of low discharges the content of chlorine is more than 250 mg/l at Lobith (fig. 9).

RÉSUMÉ

RÉGIME DU RHIN EN HOLLANDE

Le régime du Rhin est de très grande importance en liaison avec sa tâche: débit de précipitation tombée dans le bassin, voie navigable, approvisionnement d'eaux douces et d'énergie, le débit d'eaux résiduaires.

La présence de lacs et de glaciers jouent une rôle dans le bassin (fig. 1) ainsi que la situation et la nature du sol. Le régime peut être influencé par intervention humaine (aménagement de lacs artificiels, déforestation etc.).

Le régime du Rhin en Suisse est déterminé pour une grande part par les lacs. Les débits maximums ont lieu pendant les mois d'été (fig. 2). L'apport suisse du débit total du Rhin, en moyenne 50%, varie de ± 70% à ± 25%.

Les grands lacs suisses égalisent par leur action accumulante les extrèmes dans la courbe des débits quotidiens. La relation entre débit minimum et débit maximum du Rhin en entrant le lac de Constance est 1 : 65; en quittant le lac de Constance seulement 1 : 10. A Bâle cette relation est 1 : 15.

La précipitation dans le bassin du Rhin varie entre 2500 et 500 mm par an. La moyenne est 900 mm par an.

Par suite de l'apport des affluants, le régime change en Allemagne. Ces affluants sont alimentés, pour la plus grande part par pluie, et ils sont presque tous canalisés. Les crues d'été diminuent d'importance; les débits maximums se passent pendant les mois d'hiver (fig. 3). A la frontière néerlandaise la relation entre débit minimum et débit maximum est 1 : 21.

Les débits sur les bras du Rhin en Hollande sont mesurés régulièrement; a l'aide des résultats les courbes de débits sont composées (fig. 4). Au moyen de lignes de fréquence des niveaux de l'eau des courbes de durée du débit sont construites (fig. 5).

Le débit du Rhin à Lobith varie de 630 m³/sec. (1947) à 13.500 m³/sec. (1926). Les débits les plus bas connus sur les bras du Rhin sont: IJssel 50 m³/sec., Nederrijn 90 m³/sec., Waal 490 m³/sec. Des périodes sèches de longue durée, comme en 1947, 1949 et 1959 (fig. 6) sont un grand inconvénient pour l'aménagement des eaux et pour la navigation. Ce sont surtout l'IJssel et le Nederrijn qui ont un débit trop petit pour satisfaire les besoins. Ces inconvénients pourraient être évités par canalisation de l'IJssel ou du Nederrijn-Lek. C'est pour la prévision en eaux douces du Nord du pays qu'on a choisi la dernière solution.

Pendant des périodes de débits minimums du Rhin, l'IJssel et en conséquence l'IJsselmeer recevront considérablement plus d'eau, le Nederrijn d'autre part beaucoup plus moins. Les difficultés de la réduction dernièrement mentionnée, peuvent- en ce qui concerne la Lek - être évitées par alimentation en eaux du Waal via le canal Amsterdam-Rhin; les difficultés pour l'Ouest du pays peuvent être résolues dans le cadre des travaux du Delta.

La façon de distribution du débit entre Nederrijn et IJssel pendant des débits différents du Rhin, est indiquée dans les „programmes de retenue" (fig. 7). Les limites entre lesquelles ces „programmes de retenue" se trouvent, sont déterminées d'une part par le débit minimum nécessaire pour le Nederrijn, d'autre part par l'altitude des laisses et l'équilibre du fond de la fleuve.

La qualité de l'eau du Rhin en Hollande — satisfaisante pour 60% les besoins en eaux douces — est alarmante. Spécialement la teneur de chlore est inquiétante. L'augmentation annuelle depuis 1945 de la chloruration est

5% (fig. 8). Le transport moyen de chlore par an à Lobith se montait en 1958 plus que 260 kg/sec. Pendant des périodes de débits minimums la teneur de chlore se monte à Lobith plus que 250 mg/l (fig. 9).

1. INLEIDING

Bij beschouwing van de primaire taak van een rivier blijkt dat deze ligt op het gebied van de afvoer naar zee van de in het stroomgebied gevallen neerslag, voorzover deze niet op andere wijze aan de dampkring is teruggevoerd.

Maar daarnaast worden in de door ons bewoonde streken nog vele andere taken aan een rivier opgelegd. Hij moet dienen als scheepvaartweg; hij moet de benodigde hoeveelheden water voor huishoudelijk gebruik en voor landbouw, veeteelt en industrie kunnen leveren; hij moet zo mogelijk een deel van zijn energie omzetten in elektriciteit en tenslotte moet hij een zeer grote hoeveelheid afvalstoffen kunnen vervoeren, die hij deels zelf onschadelijk maakt en deels naar zee transporteert. Het voldoen aan deze vele en soms in wezen aan elkaar tegengestelde functies levert vaak grote moeilijkheden op.

Ook de Rijn, wel eens de hoofdslagader maar soms ook het hoofdriool van West-Europa genoemd, moet zich van al deze taken kwijten.

Rivier	Stroomgebied in km^2	Totale lengte in km	Jaarlijkse afvoer in 10^9 m^3	Max. afv. in m^3/sec	Min. afv. in m^3/sec
Amazone	7.000.000	6.500	3.000	200.000	—
Congo	3.700.000	4.400	1.400	75.000	23.000
Yangtze-kiang	1.900.000	5.400	700	84.000	5.270
Mississippi / Missouri	3.200.000	6.400	600	75.000	3.500
Wolga	1.500.000	3.800	250	—	—
Donau	820.000	2.900	200	16.600	—
Nijl	2.870.000	6.400	90	14.000	—
Rijn	160.000	1.250	70	13.000	630

Teneinde de Rijn in de kring van grote rivieren van de wereld te kunnen onderbrengen, zijn in bovenstaande tabel enige gegevens over grote rivieren opgenomen. Hieruit valt te zien dat de Rijn temidden hiervan slechts een bescheiden plaats inneemt. De vermelde cijfers dienen als zeer globaal te worden beschouwd.

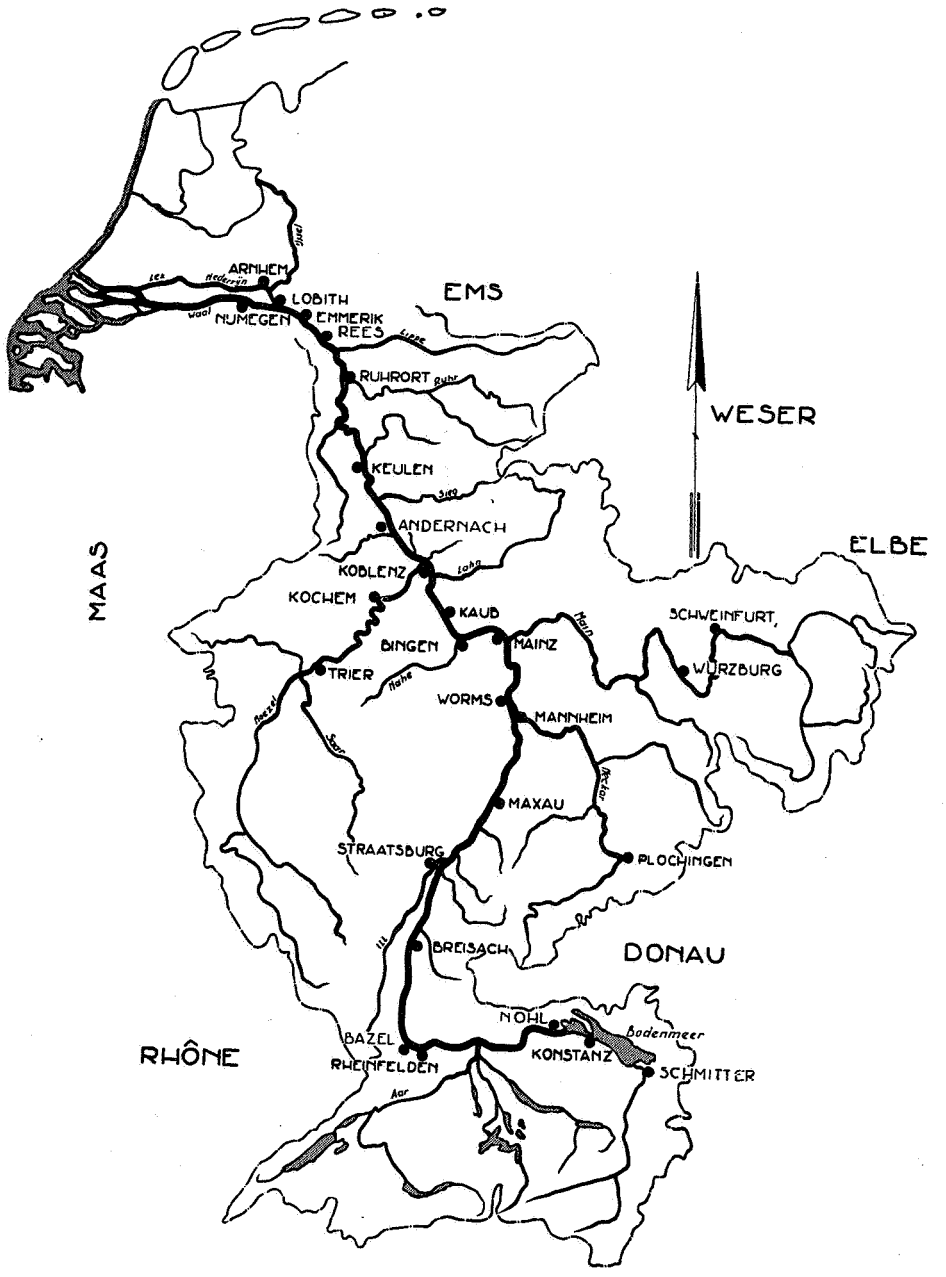


FIG. 1. Stroomgebied van de Rijn

FIG. 1. *Catchment area of the Rhine*

FIG. 1. *Le bassin du Rhin*

2. Het stroomgebied

Bij beschouwingen omtrent het regime van de Rijn dient eerst enige aandacht aan zijn stroomgebied te worden besteed.

Vanuit het gletschergebied van de St. Gotthard stroomt de Rijn — in eerste instantie gevoed door vele kleinere bergbeken — noordwaarts naar het Bodenmeer. Hier verandert de bergrivier (de Alpenrhein) van karakter. Na het verlaten van het Bodenmeer stroomt hij nl. als sterk gekanaliseerde rivier (de Hochrhein) in westelijke richting tussen de Zwitserse Jura en het Zwarte Woud naar Bazel. Onderweg verenigt hij zich met de Aar, die de Rijnafvoer meer dan verdubbelt.

Vanuit Bazel stroomt hij als Oberrhein door de Bovenrijnse laagvlakte, waarbij hij de Neckar en de Main in zich opneemt. Bij Bingen breekt hij door het Duitse Middelgebergte (Binger Loch), waarna hij als Mittelrhein bij Koblenz de Moezel in zich opneemt. Bij Keulen stroomt hij uit het Middelgebergte het vlakke land in en stroomt als Niederrhein tot de Nederlandse grens, waar zijn naam weer eens verandert in Bovenrijn.

Het stroomgebied van de Rijn dat rond 160.000 km² omvat, is voor 30% met bossen bedekt. Het resterende deel is — afgezien van de rotsen in het hooggebergte — grotendeels met akkers, weiden en wijngaarden bedekt.

Bij beschouwing van de loop van de Rijn met zijn zijrivieren en zijarmen, is het opvallend dat met de Zwitsers-Duitse en de Duits-Nederlandse grens ook ingrijpende wijzigingen in het karakter van de rivier samenvallen. In Zwitserland wordt het karakter in grote mate bepaald door de gletschers en de meren; in Duitsland, waar de Rijn zich door het opnemen van belangrijke zijrivieren nagenoeg verdubbelt, overweegt de invloed van voeding in de vorm van regen; in Nederland is nagenoeg geen sprake meer van het tot zich nemen van water, integendeel, de rivier verdeelt zich in verschillende takken en staat aan iedere tak een deel van zijn water af.

Een indruk van het stroomgebied van de Rijn geeft figuur 1. De stroomgebieden van Rhône en Donau knijpen a.h.w. het Zwitserse deel ter hoogte van Bazel af. Het Zwitserse deel omvat 36.000 km² van het totaal van 160.000 km², hetgeen neerkomt op 22 à 23%. Kenmerkend voor dit gebied is de grote variatie in hoogteligging. Het hoogste punt is de Finsteraarhorn (4274 m), terwijl het hoogste punt stroomafwaarts van Bazel (de Feldberg) slechts 1493 m hoog is. Het Bodenmeer ligt op 396 m, terwijl het peil van Bazel 244 m bedraagt.

a. Zwitsers stroomgebied

Figuur 2 geeft enige gegevens omtrent het afvoerkarakter van de Zwitserse Rijn (lit. 1).

In de periode 1936-1955 bedroeg de gemiddelde afvoer te Rheinfelden (20 km ten oosten van Bazel) 1025 m³/sec, hetgeen met in aanmerking neming van het stroomgebied neerkomt op 28,4 l/sec km². Bij de Nederlands-Duitse grens waren deze waarden resp. 2200 m³/sec en 13,7 l/sec km². Bijna de helft van de totale Rijnafvoer komt dus gemiddeld uit het Zwitserse stroomgebied, niettegenstaande het feit, dat dit slechts ca. 1/4 deel van het totale stroom-

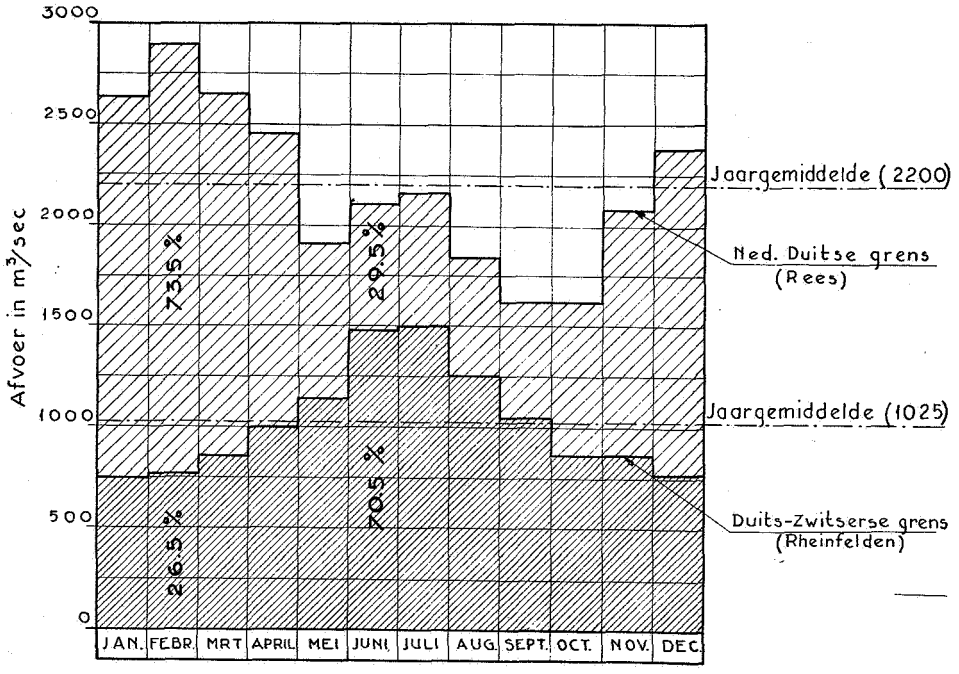


FIG. 2. Afvoerverloop (gemiddeld per maand) voor enkele stations langs de Rijn (1936—1955)

FIG. 2. *Discharges (monthly average) for some gauges along the Rine (1936—1955)*

FIG. 2. *Débits (moyenne mensuelle) pour certaines stations le long du Rhin (1936—1955)*

afvoer in m³/sec	*discharge in m³/sec.*	*débit en m³/sec.*
jaargemiddelde (2200)	*annual average (2200 m³/sec.)*	*moyenne annuelle (2200 m³/sec.)*
Ned.-Duitse grens (Rees)	*Dutch-German border (Rees)*	*frontière hollando-allemande (Rees)*
Duits-Zwitserse grens (Rheinfelden)	*German-Swiss border (Rheinfelden)*	*frontière germano-suisse (Rheinfelden)*

gebied omvat. Hierin speelt uiteraard het verschil in neerslag over het stroomgebied de grootste rol.

Uit deze figuur volgt ook een belangrijk feit op het gebied van het optreden van de hoge en lage waters. Het maandelijkse maximum treedt in Bazel op in de maand juni, het maandelijkse minimum in de maand januari. Aan de Nederlands-Duitse grens daarentegen treedt het maandelijkse maximum op in februari, het minimum in oktober, terwijl zich in juni-juli nog een tweede hoogwater, het zg. zomerhoogwater aandient.

Het Zwitserse aandeel in de Rijnafvoer in Nederland varieert van 70% in juni tot 26,5% in februari. De uit deze gegevens volgende verhoudingsgetallen tussen maximaal en minimaal maandgemiddelde bedragen voor Rheinfelden 2,00, voor de Nederlands-Duitse grens 1,80, terwijl dit bedrag uitsluitend bepaald voor het aandeel stroomafwaarts van Rheinfelden 3,75 bedraagt. Hieruit volgt, dat het Zwitserse aandeel in de Rijnafvoer regelmatiger wordt toegevoerd dan het Duitse aandeel.

Deze nivellering in de Zwitserse afvoer is te danken aan het grote aantal *meren,* dat in de loop van de Rijn en de Aar, met hun zijrivieren, is opgenomen. Gedurende de maanden maart tot juni slaan deze meren een deel van het water dat hen passeert op, om het gedurende de maanden juli tot februari weer af te staan. Volgens Zwitserse berekeningen zou de gemiddelde afvoer in de maand juni te Bazel, indien er geen meren waren, ca. 10% groter zijn.

Als het sterkst sprekende voorbeeld van de afvlakkende invloed van de meren dient die van het Bodenmeer genoemd te worden. Bij beschouwing van een voldoend lange periode verhouden de maximale en minimale gemiddelde maandafvoeren zich bovenstrooms van het Bodenmeer (Schmitter) als 520 m^3/sec (juni): 72,4 m^3/sec (februari) = 7,2 terwijl deze verhouding benedenstrooms (Nohl) 635 m^3/sec (juli): 205 m^3/sec (februari) = 3,1 bedraagt.

De verhouding van de hoogst bekende en de laagst bekende afvoer bedraagt 65 bovenstrooms en 10 benedenstrooms van het meer. Tijdens het hoogwater in september 1927 bedroeg de afvoer bij de ingang van het meer, bij een stroomgebied van 6122 km^2, 2300 m^3/sec; bij de uitgang van het meer, waar het stroomgebied bijna verdubbeld was, bedroeg de afvoer nog slechts 900 m^3/sec.

Onvruchtbaar, maar interessant is de vraag hoe de Rijn zich benedenstrooms van het Bodenmeer zou gedragen, indien zulk een nivelleringsbekken niet aanwezig zou zijn en de hoogwaters in hun oorspronkelijke afmetingen zouden afvloeien. Hierbij zou tevens rekening gehouden moeten worden met het transport van rond 3,5 miljoen m^3 vast materiaal dat nu jaarlijks in het meer wordt gedeponeerd.

Zoals de Rijn het 545 km² grote Bodenmeer doorstroomt, ondervinden ook de Aar, Reuss en Limat de afvlakkende afwerking van meren met een totale oppervlakte van 620 km² (waaronder het meer van Neuchâtel met 217 km², het Vierwoudstedenmeer met 114 km² en het meer van Zürich van 90 km²). Tengevolge van hun liging hogerop in het stroomgebied is hun invloed echter geringer dan die van het Bodenmeer.

b. Duits stroomgebied

Zoals reeds eerder naar voren kwam, wordt het regime niet alleen bepaald door de totale hoeveelheid water welke naar zee afstroomt, maar in belangrijker mate door de verdeling over de verschillende seizoenen en door de uiterste waarden die de afvoer kan bereiken. Wanneer n.l. het grootste deel van de totale jaarafvoer in enkele dagen tot afstroming zou moeten komen, waar-

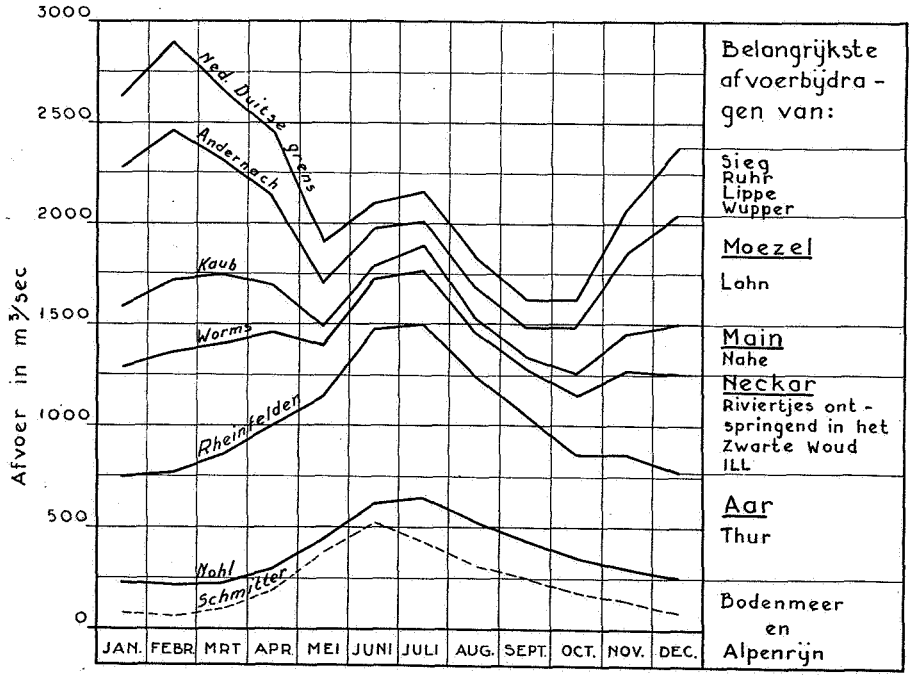


FIG. 3. Belangrijkste afvoerbijdragen van riviertjes ontspringend in het Zwarte Woud

FIG. 3. *Important discharge contributions of rivers rising from the Black Forest*

FIG. 3. *Contributions de débit importantes de rivières naissant dans la Forêt Noire*

Bodenmeer	*Lake Constance*	*Lac de Constance*
Alpenrijn	*Alp-Rhine*	*Rhin Alpes*

bij de scheepvaart onmogelijk zou zijn, en wanneer gedurende de rest van het jaar slechts kleine waterhoeveelheden afvloeien, zou de rivier voor de in de aanvang gestelde taak volkomen onbruikbaar zijn.

We hebben gezien, dat de Zwitserse Rijn — dankzij zijn meren — een relatief gelijkmatige afvoer verzorgt. Boven het Bodenmeer was het verhoudingsgetal tussen hoogste en laagste afvoer nog 65, beneden het Bodenmeer slechts 10.

Hoe is het nu gesteld met de Duitse zijrivieren, die niet door gletschers, doch voornamelijk door regen worden gevoed (lit. 2). De voornoemde verhoudingsgetallen zijn voor Neckar 192, Main 69, Nahe 510, Lahn 165, Moezel 164, Lippe 132.

Ondanks deze hoge cijfers voor de zijrivieren ligt de verhouding bij Lobith, mede dankzij het Zwitserse aandeel, slechts op 21.

Een goed beeld van de samenwerking tussen de Zwitserse en Duitse waterleveranciers verkrijgt men bij de beschouwing van de gemiddelde wateraf-voeren per maand voor verschillende waarnemingsstations.

In figuur 3 zijn deze gegevens voor de periode 1936-1955 verzameld voor de stations Schmitter, Nohl, Rheinfelden, Worms, Kaub, Andernach en Rees (Nederlands-Duitse grens). Gaandeweg neemt het zomerhoogwater van Rheinfelden in betekenis af en ontwikkelt zich het winterhoogwater in sterke mate. Slechts de droge periode van september-oktober blijft als schoonheidsfout over.

c. Neerslag in het stroomgebied

Er werden hiervoor enige afvoercoëfficiënten genoemd ter verklaring van het feit, dat het Zwitserse stroomgebied ondanks zijn betrekkelijk klein oppervlak toch een groot aandeel in de totale afvoer levert.

Zonder verder op alle mogelijke afvoercoëfficiënten van de verschillende delen in te gaan, moeten ten aanzien van de neerslag enige cijfers worden gegeven. De mate van neerslag over het stroomgebied is nl. zeer gedifferentiëerd. In het Zwitserse hooggebergte (Atlantische depressies; Middellandse zee cyclonen) bedraagt de jaarlijkse neerslaghoogte 2000-2500 mm; rondom de Zwitserse meren bedraagt deze 900-1000 mm. De Vogezen en het Zwarte Woud hebben 2000-2300 mm. De tussen deze gebergten gelegen Bovenrijnse laagvlakte heeft slechts 500-700 mm.

In het stroomgebied van de Neckar komt de neerslag in grote delen niet hoger dan 700 mm; in dat van de Main niet hoger dan 600 mm. In de Nederrijnse laagvlakte bedraagt de neerslag rond 700 mm.

De gemiddelde neerslag over het gehele stroomgebied bedraagt 900 mm. Wat de verdeling over het jaar betreft: in de Z., Z.O. en O. delen overwegen zomerregens, in de W. en N.W. delen (Vogezen, Hunsrück, Ardennen, Eifel, Nederrijnse laagvlakte) de winterregens. In het Zwarte Woud is de regenval vrij regelmatig over zomer en winter verdeeld.

3. Wijzigingen in het regime

In de laatste jaren komt regelmatig de vraag naar voren of het regime van de Rijn zich als gevolg van bepaalde oorzaken in deze eeuw dusdanig zou wijzigen, dat de lage afvoeren lager en de hoge afvoeren hoger zouden worden. Met name in de jaren als 1947, 1949 en 1959 is deze vraag weer naar voren gekomen.

De hierbij betrokken oorzaken zijn:

1e. de gletschers in de Alpen nemen in omvang af (van 663 km² omstreeks 1900 tot 548 km² nu);

2e. omvangrijke landbouwgebieden worden gedraineerd;

3e. het wegennet en de steden met hun ontwateringssysteem nemen in omvang toe;

4e. het beboste oppervlak in het Rijngebied is teruggelopen.

Al deze feiten zouden inderdaad de bovengenoemde tendentie tot gevolg moeten hebben: de neerslag vloeit sneller af en verhoogt daardoor de hoge afvoeren. De waterreserve in de gletschers wordt geringer, de bodem heeft weinig tijd en gelegenheid om de neerslag als grondwater op te nemen om daarmede in droge tijden de waterlopen te voeden.

Onderzoekingen op dit gebied, die zowel voor het gebied van Kaub (onveranderlijke bodem) als voor Bazel zijn en worden verricht, kunnen op dit punt nog geen uitsluitsel geven, omdat de eventuele wijzigingen in orde van grootte volkomen in het niet vallen bij de periodieke wisselingen in het regime als gevolg van de meteorologische invloeden. Maar in ieder geval is wel gebleken, dat de wijzigingen niet van die orde van grootte zijn als de oorzaken zouden doen vermoeden. Niettemin dient alle aandacht erop gericht te blijven, dat tijdens perioden van grote neerslag zo weinig mogelijk water langs de oppervlakte afstroomt en zoveel mogelijk wordt opgeslagen. In dit kader vervullen dan ook de vele Duitse stuwmeren in het Rijngebied met een gezamenlijke inhoud van ruim 700 miljoen m³ een belangrijke taak.

4. Het regime van de Nederlandse Rijn

Teneinde een zo volledig mogelijk beeld te verkrijgen van het regime op de Bovenrijn in Nederland, alsmede op zijn takken, worden sinds vele jaren rondom de beide splitsingspunten afvoermetingen verricht. Aan de hand van deze metingen worden afvoerkrommen, die onderling vereffend zijn, voor de verschillende takken samengesteld. Een exemplaar van de krommen voor de periode 1953-1956 is opgenomen in figuur 4.

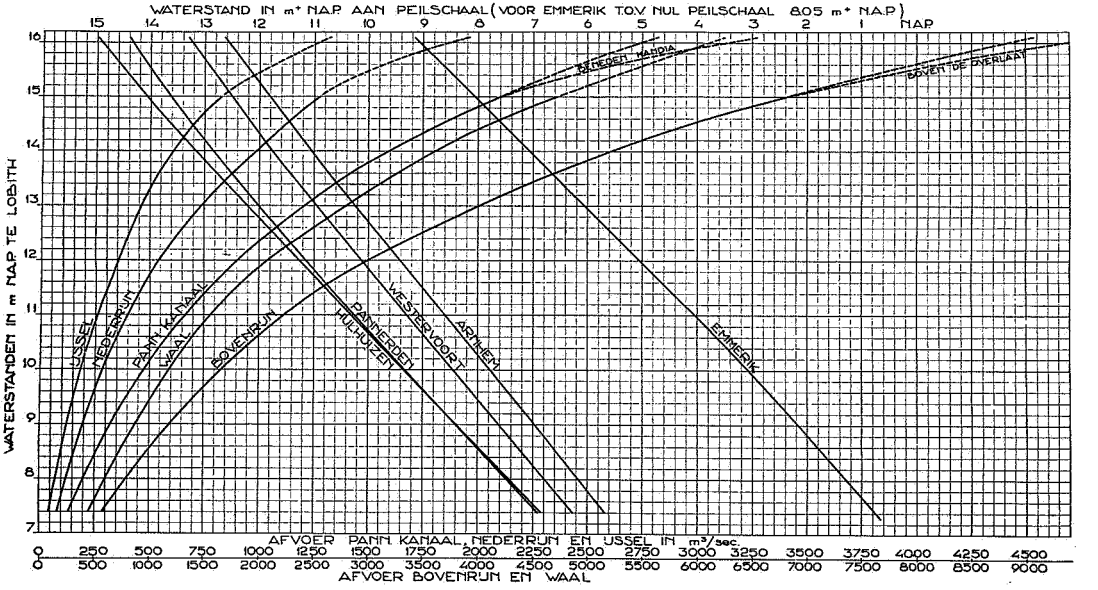


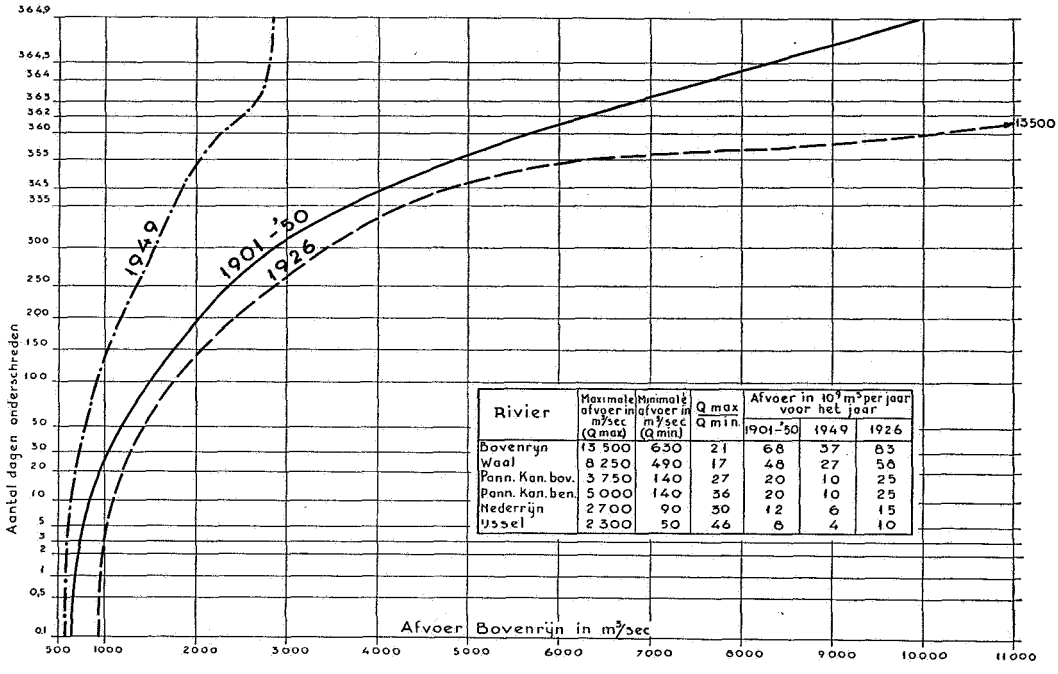
Fig. 4. Afvoerkrommen van de Bovenrijn en zijtakken (1948—1951)

Fig. 4. *Discharge curves of the Upper Rhine and its branches (1948—1951)*

Fig. 4. *Courbes de débit du Rhin et ses bras (1948—1951)*

waterstand in m + N.A.P. aan peilschaal (voor Emmerik nul peilschaal = 8,05 m + N.A.P.) waterstanden in m + N.A.P. te Lobith	*water level in m + N.A.P. at the gauge (for Emmerik zero gauge = 8.05 m + N.A.P.) water levels in m + N.A.P. at Lobith*	*niveau d'eau en mètres + N.A.P. à l'échelle d'eau (pour Emmerik échelle zero = 8.05 m + N.A.P.) niveaux d'eau en mètres + N.A.P. à Lobith*

Hierin staan tevens de betrekkingslijnen tussen de voor de takken maatgevende peilschalen aangegeven. Met behulp van afvoerkrommen en waterstandsfrequentie-lijnen kunnen afvoerfrequentie- en afvoerduurlijnen worden bepaald, waarvan figuur 5 een beeld geeft.



Rivier	Maximale afvoer in m³/sec (Q max)	Minimale afvoer in m³/sec (Q min)	Q max / Q min	Afvoer in 10^9 m³ per jaar voor het jaar 1901–'50	1949	1926
Bovenrijn	13 500	630	21	68	37	83
Waal	8 250	490	17	48	27	58
Pann. Kan. bov.	3 750	140	27	20	10	25
Pann. Kan. ben.	5 000	140	36	20	10	25
Nederrijn	2 700	90	30	12	6	15
IJssel	2 300	50	46	8	4	10

FIG. 5. Afvoerduurlijnen van de Bovenrijn (1901—1950, 1926 en 1949)

FIG. 5. *Discharge duration curves of the Upper Rhine (1901—1950, 1926 and 1949)*

FIG. 5. *Courbes de durée des débits du Rhin (1901—1950, 1926 et 1949)*

aantal dagen onderschreden	*number of days during which discharge is not reached*	*nombre des jours que le niveau d'eau est en-dessous les valeurs déterminées*
afvoer Bovenrijn in m³/sec	*discharge Upper Rhine in m³/sec.*	*débit du Rhin en m³/sec.*
maximale afvoer in m³/sec (Q max.)	*maximum discharge in m³/sec. (Q max.)*	*débit maximum en m³/sec. (Q max.)*
minimale afvoer in m³/sec (Q min.)	*minimum discharge in m³/sec. (Q min.)*	*débit minimum en m³/sec. (Q min.)*
afvoer in 10^9 m³ per jaar voor het jaar:	*discharge in 10^9 m³ a year for the year:*	*débit en 10^9 m³ par an pour l'année:*

In deze figuur zijn de duurlijnen voor een zeer nat, een zeer droog en een gemiddeld jaar aangegeven. Het verschil is frappant; dit volgt ook duidelijk uit de in de bijbehorende tabel aangegeven totale jaarlijkse afvoeren over de Bovenrijn en zijn takken.

Misschien minder exact maar suggestiever is een beschouwing van de waterstandverlooplijnen voor de genoemde jaartypen (fig. 6).

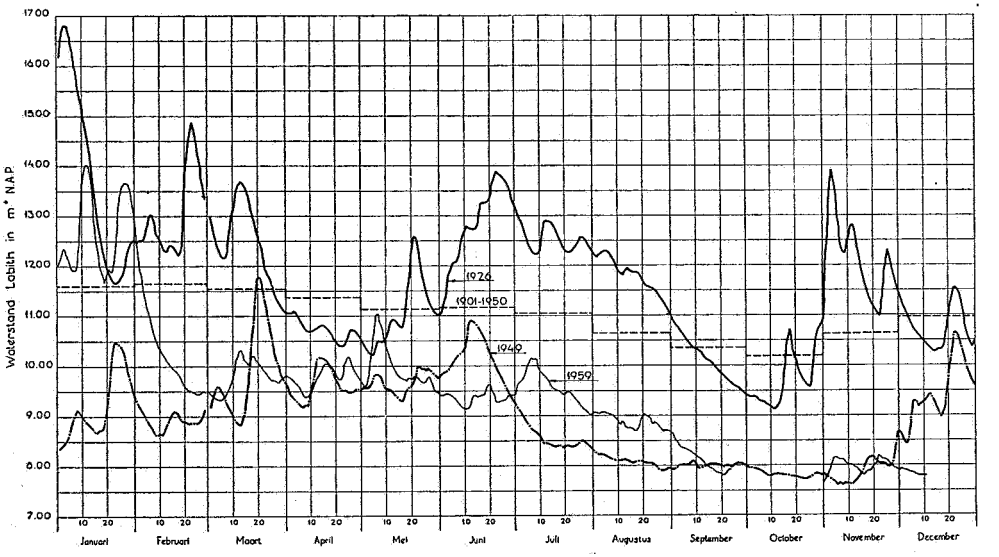


FIG. 6. Waterstandsverlooptijden voor de jaren 1901—1950, 1926, 1949 en 1959 (gemiddeld per maand) te Lobith

FIG. 6. *Water levels at Lobith for the years 1901—1950, 1926, 1949 and 1959 (monthly average)*

FIG. 6. *Niveaux d'eau à Lobith pour les périodes 1901—1950, 1926, 1949 et 1959 (moyenne par mois)*

Hoewel 1947 tot nu toe het jaar met de laagst bekende afvoeren is geweest (in 1959 was de waterstand in Lobith slechts enige cm's, de afvoer echter aanzienlijk hoger), is het jaar 1949 qua regime het droogst geweest, voorzover dit althans uit de beschikbare gegevens blijkt.

Tengevolge van de configuratie van de beddingen der verschillende takken wijzigt zich de verhouding tussen de maximale en minimale afvoeren op deze takken. De bekende verhouding 9 delen Bovenrijnwater geven 6 delen op de Waal en 3 op het Pannerdenskanaal (en wel 2 op de Nederrijn en 1 op de IJssel) gaat in zijn algemeenheid slechts bij gemiddelde afvoeren op.

De verhoudingsgetallen tussen maxima en minima zijn voor de verschillende takken: Bovenrijn = 21, Waal = 17, Pannerdenskanaal = 27 of 36 (al naar gelang dit boven of beneden de monding van de Oude Rijn is bepaald), Nederrijn = 30 en IJssel = 46.

Krijgt de IJssel dus bij gemiddelde afvoeren 1 deel van alle 9 Bovenrijndelen, bij hoogwater krijgt hij er 1 op alle 6 en bij laag water slechts 1 op alle 13.

De IJssel en in mindere mate ook de Nederrijn verkeren in perioden van grote droogte zowel op het punt van scheepvaartmogelijkheden als op dat

van watervoorziening in zeer ongunstige omstandigheden. Dit laatste knelt voor de IJssel des te meer, omdat hierachter het zoetwaterbassin van het IJsselmeer is gelegen.

5. Rijnkanalisatie en stuwplan

Op grond van overwegingen betreffende de scheepvaart en de zoetwatervoorziening werd dan ook overgegaan tot *kanalisatie* van Nederrijn en Lek (lit. 3). De bezwaren voor de scheepvaart bij lage afvoeren zijn van ouder datum dan die op het gebied van de waterhuishouding. Het is dan ook belangwekkend na te gaan, hoe de plannen zich in de loop der jaren hebben gewijzigd.

In eerste instantie werd gedacht aan een kanaal ongeveer evenwijdig aan de IJssel, van Almen aan de Twentekanalen naar de Bovenrijn. Hiermede werd uitsluitend een oplossing gevonden voor de scheepvaart naar Twente via de slecht bevaarbare Boven-IJssel. Vervolgens werden plannen ontwikkeld tot kanalisatie van de IJssel. Tengevolge hiervan zou de bevaarbaarheid zowel op de IJssel als op de Nederrijn worden verbeterd, terwijl voorts langs Nederrijn en Lek in droge tijden meer water voor de zoutbestrijding in de Nieuwe Maas zou stromen.

In verband echter met de problemen betreffende de zoetwatervoorziening van het noorden en noordwesten des lands kwam het plan tot kanalisatie van Nederrijn en Lek tot uitvoering.

Er worden thans stuwen gebouwd bij Hagestein (boven Vreeswijk), bij Amerongen (boven Wijk bij Duurstede) en bij Driel (beneden Arnhem).

De bovenste stuw heeft tot taak de afvoerverdeling bij de IJsselkop op de gewenste wijze in te stellen. Met de middelste stuw wordt het waterpeil in het pand tussen Driel en Amerongen op de voor de scheepvaart gewenste hoogte gehouden. Met de benedenste stuw wordt dusdanig gemanipuleerd, dat bij handhaving van de voor de scheepvaart gewenste diepte het peil in de rivierkruising bij Wijk bij Duurstede en daarmede aan de binnenzijde van sluis Tiel zodanig is, dat eventueel waterdoorvoer door het Betuwepand van Tiel naar Wijk bij Duurstede mogelijk is.

De opzet van het gehele plan is erop gericht, dat de invloed van het stuwen aan de Pannerdense kop zo min mogelijk merkbaar is. Hiertoe zullen de bodemliggingen op Pannerdenskanaal, IJssel en Nederrijn moeten worden aangepast en tevens zullen op de IJssel twee bochtafsnijdingen moeten worden uitgevoerd.

Het *stuwplan* is nu als volgt gedacht. Uitgaande van een zeer lage Bovenrijn-afvoer wordt de stuw bij Driel dusdanig ingesteld, dat een bepaalde geringe afvoer x door de Nederrijn stroomt. Het overige deel van de afvoer van het Pannerdenskanaal gaat dan door de IJssel. Bij toenemende Bovenrijn-afvoer wordt de afvoer op de Nederrijn constant gehouden tot het moment, waarop de IJsselafvoer een bedrag y heeft bereikt. Vervolgens wordt deze afvoer y op de IJssel constant gehouden, zodat dus bij toenemende Bovenrijn-afvoer de Nederrijn-afvoer zal toenemen. Op het moment dat de verdeling bij de Pannerdense kop gelijk geworden is aan die bij open rivier is de stuw te Driel volledig getrokken.

Welke zijn nu die bedragen x en y?

Voor x is die afvoer gesteld, die op Nederrijn en Lek nodig is om in geen geval gevaar voor vervuiling van het water te lopen. x bedraagt 50 m³/sec.

Het bedrag y is door twee maten begrensd. Aan de ene kant moet y zo groot zijn dat voldoende vaardiepte (2,70 m) op de IJssel aanwezig is; aan de andere kant mag y niet zo groot zijn dat hierdoor wateroverlast voor de betrokken gebieden zou ontstaan, of dat hierdoor de zandhuishouding van de IJssel in de war zou raken. De grenzen die op dit moment voor y zijn gevonden zijn 250 en 350 m³/sec. Overigens zijn op dit punt nog berekeningen en modelonderzoekingen gaande.

Het principe van deze stuwprogramma's is in grote lijnen weergegeven in figuur 7. Hier zijn voor een gemiddeld jaar (1901-1950) de afvoerduurlijn voor de Bovenrijn en de bij een bepaalde afvoer optredende verdeling over de takken gegeven.

De donker gekleurde band geeft het aandeel van de IJssel onder huidige omstandigheden weer, terwijl de zwaar gearceerde band het aandeel van de IJssel na Rijnkanalisatie bij een stuwprogramma „350" voorstelt. Ook het stuwprogramma „250" is af te lezen. Uit een beschouwing van het stuwprogramma „350" volgt, dat de Nederrijn vanaf de laagste Bovenrijn-afvoeren 120 dagen op een afvoer van 50 m³/sec gehandhaafd blijft. In die periode neemt de IJsselafvoer toe met 350 m³/sec. Op dat moment neemt de Nederrijn-afvoer toe bij gelijkblijvende IJsselafvoer (350 m³/sec) tot het moment waarop de situatie „open rivier" ontstaat. Dit heeft plaats bij een onderschrijdingsduur van 275 dagen. Het resterende deel van het gemiddeld jaar wordt de afvoerverdeling niet meer door stuwen beïnvloed.

Uiteraard is deze wijze van beschouwing veel te simplistisch wat betreft het regelmatige afvoerverloop. Bovendien zal in de praktijk noch geheel volgens het ene, noch volgens het andere programma worden gestuwd. De behoefte aan water op een bepaald moment op verschillende plaatsen, het

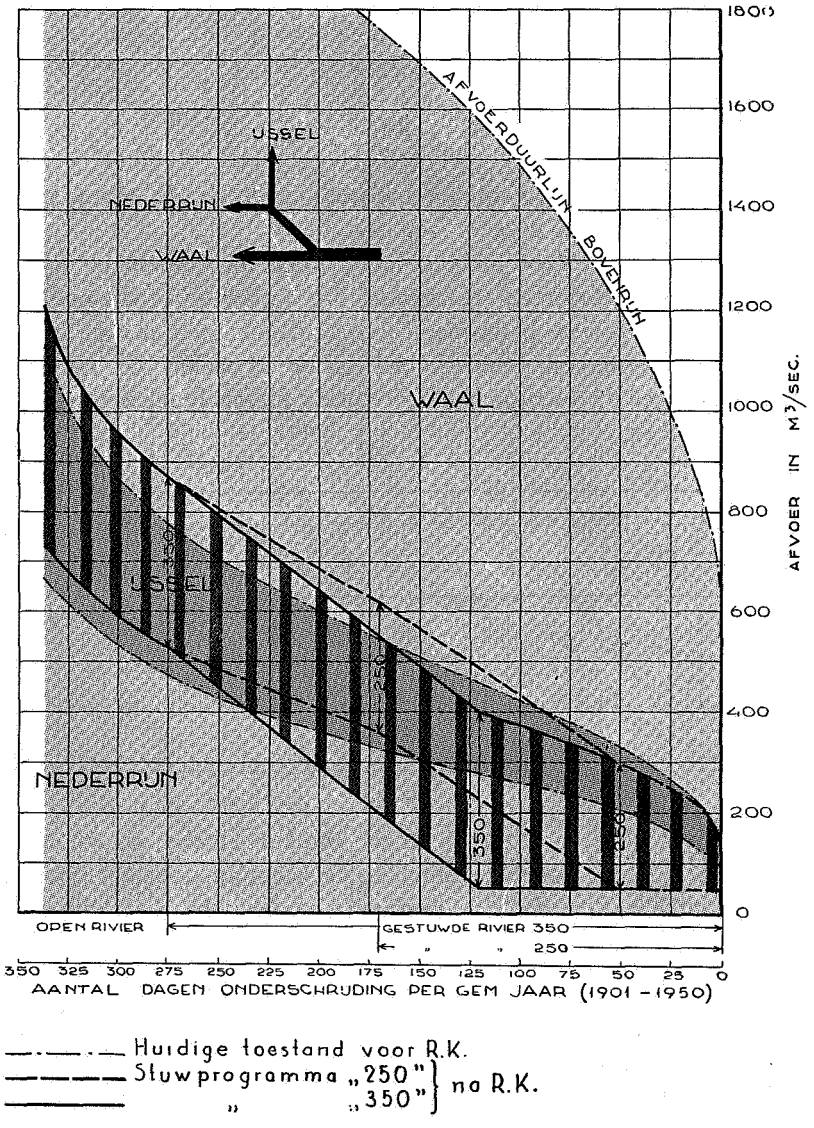


FIG. 7. Waterverdeling over de Rijntakken voor en na Rijnkanalisatie

FIG. 7. *Distribution of discharges before and after canalisation of the Lower Rhine*

FIG. 7. *Répartition des débits avant et après la canalisation du Nederrijn*

open rivier	*open river*	*fleuve ouvert*
gestuwde rivier „350"	*river dammed up according to program „350"*	*fleuve régularisé d'après le programme „350"*
aantal dagen onderschrijding per gem. jaar (1901—1950)	*number of days during which discharge in mean year (1901—1950) is not reached*	*nombre des jours que le niveau d'eau reste en-dessous des valeurs déterminées dans le cours de l'année moyenne (1901—1950)*
huidige toestand voor R.K	*present situation before canalisation of the Lower Rhine*	*situation actuelle avant la canalisation du Nederrijn*
stuwprogramma na R.K.	*program of damming up after canalisation of the Lower Rhine*	*programme de régularisation après la canalisation du Nederrijn*
afvoerduurlijn Bovenrijn	*discharge duration curve Upper Rhine*	*courbe de durée des débits du Rhin*

bodemevenwicht rondom de splitsingspunten, alsmede de scheepvaartbelangen zullen de gedragslijn moeten bepalen.

Het is duidelijk, dat door de geschetste gang van zaken de toevoer van water naar het IJsselmeer zal toenemen. Op welke wijze de peilbeheersing op het uiteindelijk kleine IJsselmeer geregeld zal worden om hiervan een optimaal profijt te trekken, is een hoofdstuk op zichzelf.

Enige cijfers over de wijziging van de totale IJsselafvoer zijn in de volgende tabel opgenomen.

Jaartype	Afvoer in 10^9 m^3			Winst in %	
	huidige toestand	„250"	„350"	„250" t.o.v. nu	„350" t.o.v. nu
1901—1950	7,7	9,8	11,1	27	44
1959 jan.-okt.	5,0	7,0	8,5	40	70
1959 mei-okt.	2,2	2,2	4.4	65	100

Tegenover de grote voordelen van de Rijnkanalisatie op waterhuishoudkundig gebied, zijn ook enkele nadelen te verwachten, speciaal voor het westen van het land. Immers door de geringere afvoer van Nederrijn en Lek zal zowel de strijd tegen het opdringende zout langs de Nieuwe Maas als de levering van water aan de wateronttrekkers in het gedrang kunnen komen.

Wat de strijd tegen het zout betreft leveren de Deltawerken echter mogelijkheden, die het betreffende nadeel volkomen opheffen. Door afsluiting van Haringvliet en Volkerak zal nl. een belangrijk deel van het Waalwater via de Noord naar de Nieuwe Maas kunnen stromen om via de Nieuwe Waterweg naar zee af te vloeien. Deze hoeveelheden zullen de zoutgrens weer kunnen terug dringen. Blijft echter nog de moeilijkheid voor waterinlaat langs Nederrijn en Lek. Voor het pand beneden Vreeswijk lijkt dit bezwaar door zijn verbinding met de Noord niet zo groot. Voor de overige delen echter zal boven de genoemde 50 m^3/sec, die nodig is om vervuiling tegen te gaan, extra water moeten worden toegevoerd. Hiertoe bestaat voor het stuwpand Amerongen-Vreeswijk de mogelijkheid in de vorm van het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal. Zolang tussen Tiel en Wijk bij Duurstede een verval aanwezig is, kunnen door de riolen in de sluis Tiel aanzienlijke hoeveelheden water worden getransporteerd. Enige ondergeschikte voorzieningen zijn hiertoe nodig. Uiteraard mag hierdoor de bevaarbaarheid van de Waal niet in het gedrang komen.

Over het geheel genomen moet de Rijnkanalisatie middel blijven en geen doel worden. Een goed verantwoorde waterverdeling zal voorop moeten blijven staan. De 50 m^3/sec is geen magisch getal en zal zo nodig aangepast moeten worden.

6. De kwaliteit van het water

Bij voorgaande beschouwingen is wel de kwantiteit maar nog niet de kwaliteit van het water ter sprake gekomen. Minstens van evengroot belang en aanmerkelijk moeilijker is de strijd om uiteindelijk bruikbaar water en geen rioolvocht over geheel Nederland te verspreiden.

Immers van de hoeveelheden zoet water, die door de grote en kleinere rivieren en door de neerslag aan Nederland worden beschikbaar gesteld, levert de Rijn ca. 65%, zodat de waterhuishouding voor een belangrijk deel door het regime van deze rivier en door de kwaliteit van zijn water wordt bepaald.

Nu bestaat er groot gevaar om in een fatale kringloop van het water terecht te komen. Aan de ene zijde staat de toename van de behoefte aan zoet water tengevolge van de toenemende bevolking, de toenemende waterbeschaving, de intensieve industrialisatie en de hogere eisen bij land- en tuinbouw; aan de andere zijde staat de toenemende watervervuiling tengevolge van het grotere aantal rioleringen, het toegenomen afvalwater der industrieën, de verbeteringen op agrarisch gebied (vermindering van waterbeging en verhoging van zoute kwel) en de vervuiling door de scheepvaart (stookolie).

Met voorbijgaan van de overige verontreinigende stoffen moet nog even dieper op de chloorverontreiniging worden ingegaan (lit. 4).

In figuur 8 is het verloop sedert 1875 van het chloorgehalte op de Bovenrijn weergegeven. De in de jaren na 1945 ontwikkelde tendentie zet zich onverminderd voort (jaarlijkse toename van ca. 5%).

Wanneer men bedenkt, dat voor drinkwater 250 mg Cl/l en voor tuinbouw in verwarmde kassen 150 mg Cl/l als uiterste waarde moet worden beschouwd, is het veelzeggend, dat in de maand september 1959 het chloorgehalte in de Lek bij Bergambacht bij de inlaat van de Haagse Drinkwaterleiding gemiddeld 216 mg/l en maximaal 258 mg/l bedroeg. Uitgaande van bovengenoemde eis zouden in deze maand gedurende 6 dagen te hoge chloorgehalten voor drinkwater zijn voorgekomen.

Dat het weinig zin heeft om water van een betere kwaliteit meer hogerop de Nederlandse Rijn te zoeken, moge blijken uit figuur 9 (pag. 30).

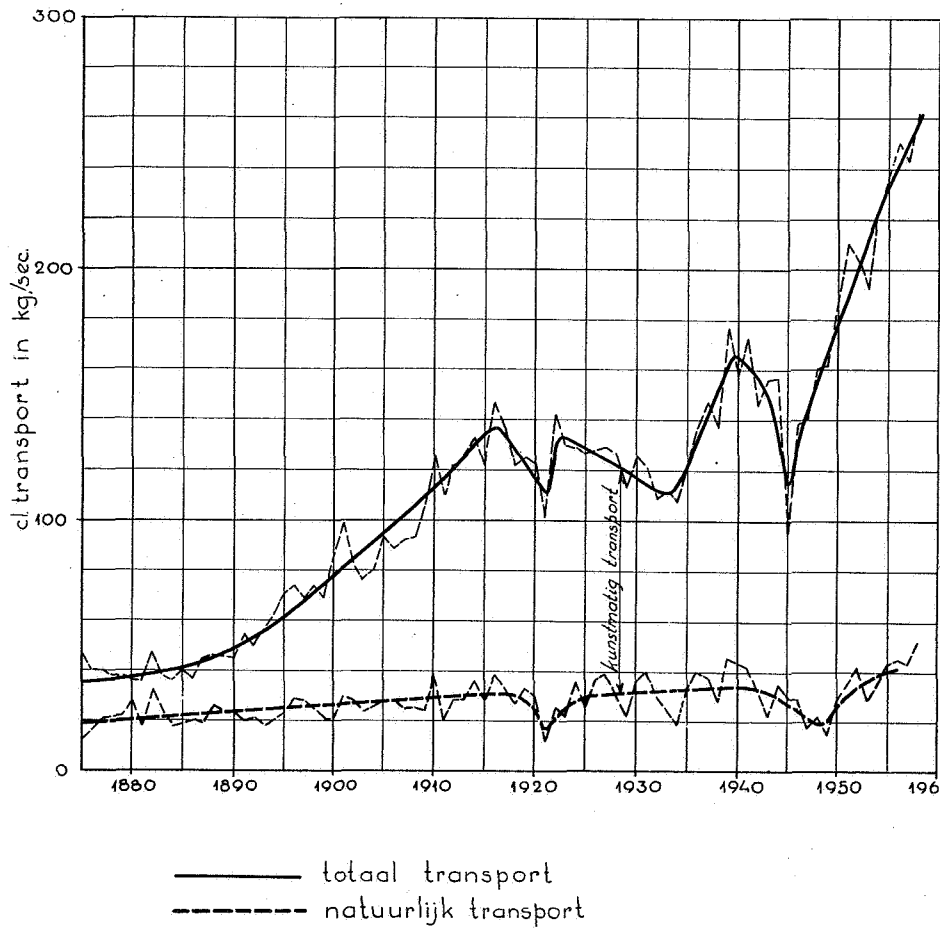


FIG. 8. Chloortransport van de Rijn bij Lobith (1875—1958)

FIG. 8. *Chlorine transport of the Rhine at Lobith (1875—1958)*

FIG. 8. *Transport de chlorure du Rhin à Lobith (1875—1958)*

totaal transport	*total transport*	*transport total*
natuurlijk transport	*natural transport*	*transport naturel*

Hierop staat een chloorgehaltekromme voor de Bovenrijn uit de jaren 1958 -1959 aangegeven. Ook daar werd het bedrag van 250 mg/l overschreden. Het sterk toenemende chloorgehalte bij afnemende afvoer komt hierbij duidelijk naar voren.

Volgens de deskundigen van de Internationale Commissie ter bescherming van de Rijn tegen vervuiling heeft het zoutgehalte bij Lobith de grens van

het ontoelaatbare bereikt. Normen die voor drinkwater in de V.S. en Duitsland zijn gesteld, worden reeds gedurende een aantal dagen overschreden.

Als hoogst toelaatbare waarde voor het jaargemiddelde van de totale chloorafvoer is door de Nederlandse vertegenwoordigers in die Commissie voorgesteld een afvoer van 225 kg/sec (dit zou overigens overeenkomen met ca. 12.000.000 ton zout per jaar). In 1957 en 1958 bedroegen deze jaargemiddelden al 244 en 262 kg/sec, hetgeen neerkomt op overschrijding van 8 en 16%.

Het valt te wensen, dat wanneer met de hiervoren geschetste middelen de waterhuishouding in Nederland zal zijn verbeterd, ook de strijd tegen de verontreiniging de zo hoog nodige successen zal hebben geboekt.

Samenvatting

In samenhang met de taak van de Rijn: afvoer van in het stroomgebied gevallen neerslag, scheepvaartweg, levering van schoon water en energie, en transport van afvalwater, is zijn regime van zeer groot belang.

Bij het stroomgebied (fig. 1) spelen o.m. ligging, bodemgesteldheid, aanwezigheid van meren en gletschers een rol. Het regime kan door menselijk ingrijpen (aanleg van stuwmeren, ontbossing e.d.) beïnvloed worden.

Het regime van de Rijn in Zwitserland wordt voor een groot deel door de meren bepaald. De grootste afvoeren treden in de zomermaanden op (fig. 2). Het Zwitserse aandeel in de totale Rijnafvoer, dat gemiddeld 50% bedraagt, varieert van ca. 70% tot ca. 25%. De grote Zwitserse meren vlakken door hun accumulerende werking de pieken en dalen in de afvoerverlooplijn af. De verhouding tussen minimale en maximale afvoer van de Rijn bij zijn intrede in het Bodenmeer bedraagt 1 : 65; bij de uittrede uit het Bodenmeer slechts 1 : 10. Bij Bazel is deze verhouding 1 : 15.

De neerslag in het stroomgebied van de Rijn varieert tussen 2500 en 500 mm per jaar. Gemiddeld bedraagt deze 900 mm per jaar.

In Duitsland verandert het regime tengevolge van het aandeel der zijrivieren, die voor het grootste deel door regen gevoed worden en vrijwel alle gekanaliseerd zijn. Het zomerhoogwater neemt in betekenis af, de grootste afvoeren komen in de wintermaanden voor (fig. 3). Aan de Nederlandse grens bedraagt de verhouding tussen minimale en maximale afvoer 1 : 21.

De afvoeren op de Nederlandse Rijntakken worden regelmatig door middel van metingen bepaald; aan de hand van de resultaten worden afvoerkrommen samengesteld (fig. 4). Met behulp van waterstandsfrequentielijnen worden afvoerduurlijnen geconstrueerd (fig. 5).

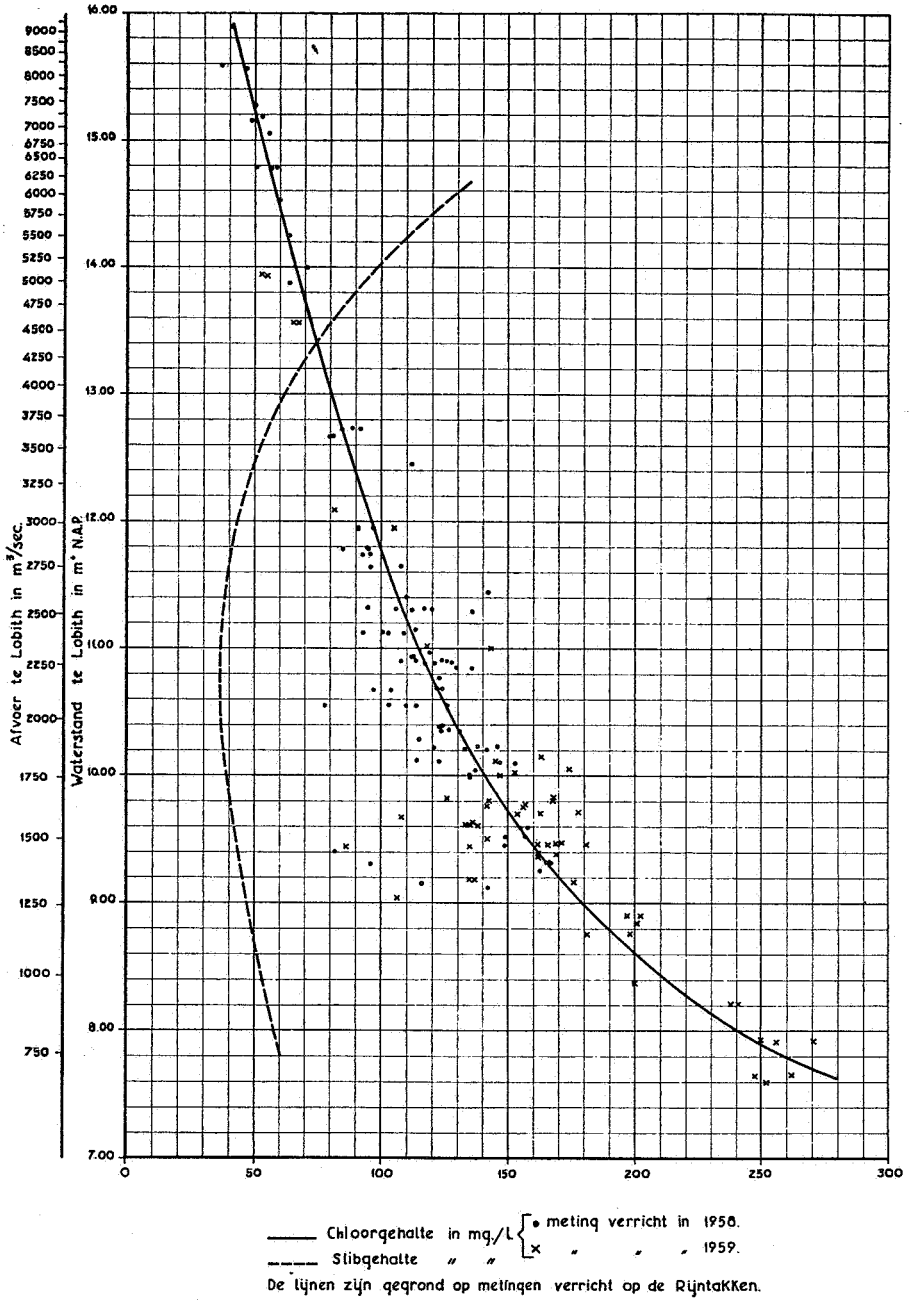


FIG. 9. Verband tussen chloor- respectievelijk slibgehalte (in mg/1) en de waterstand te Lobith

FIG. 9. *Relation between chlorine respectively silt content (in mg/l) and water level at Lobith*

FIG. 9. *Relation entre la teneur en chlorure respectivement limon (en mg/l) et le niveau d'eau à Lobith*

chloorgehalte in mg/1	*chlorine content in mg/l*	*teneur en chlorure en mg/l*
slibgehalte in mg/1	*silt content in mg/l*	*teneur en limon en mg/l*
meting verricht in 1958	*measurement done in 1958*	*mesurage effectué en 1958*
de lijnen zijn gegrond op metingen verricht op de Rijntakken	*the curves are based on measurements done on the Rhine-branches*	*les courbes sont basées sur des mesurages effectués dans les bras du Rhin*

De afvoer van de Bovenrijn bij Lobith varieert van ca. 630 m³/sec (1947) tot ca. 13.500 m³/sec (1926). De laagste bekende afvoeren op de Rijntakken bedragen: IJssel ca. 50 m³/sec, Nederrijn ca. 90 m³/sec, Waal ca. 490 m³/sec. Langdurige droge perioden, zoals in de jaren 1947, 1949 en 1959 (fig. 6), leveren zeer grote bezwaren op voor de waterhuishouding en de scheepvaart. Vooral IJssel en Nederrijn voeren dan veel te weinig water af om in de behoeften te voorzien. Aan deze bezwaren kan worden tegemoet gekomen door kanalisatie van IJssel, of van Nederrijn-Lek. Vooral met het oog op de zoetwatervoorziening van het noorden van het land werd de laatste oplossing gekozen.

In de perioden van lage Bovenrijn-afvoeren zullen de IJssel en daarmede het IJsselmeer aanmerkelijk meer, de Nederrijn daarentegen minder water ontvangen. De bezwaren verbonden aan laatstgenoemde vermindering zullen voor wat de Lek betreft, kunnen worden opgevangen door aanvoer van water uit de Waal via het Amsterdam-Rijnkanaal; de nadelen voor het westen van het land zullen in het kader van de Deltawerken worden opgeheven.

De wijze van verdeling van afvoer over Nederrijn en IJssel bij verschillende Bovenrijn-afvoeren wordt in zg. stuwprogramma's aangegeven (fig. 7). De grenzen waartussen deze stuwprogramma's liggen worden enerzijds bepaald door de vereiste minimum-afvoer van de Nederrijn, anderzijds door de hoogteligging van de uiterwaarden en het evenwicht van de rivierbodem.

De kwaliteit van het Rijnwater in Nederland, dat 60% van de behoeften aan zoetwater dekt, baart grote zorgen. Met name is het chloorgehalte onrustbarend. De jaarlijkse toeneming aan chloorbezwaar bedraagt sindt 1945 5% (fig. 8). De gemiddelde chloorafvoer bij Lobith bedroeg in 1958 meer dan 260 kg/sec. In perioden van lage afvoeren bedraagt het chloorgehalte bij Lobith meer dan 250 mg/l (fig. 9).

LITERATUUR

1. WALSER, E. — Le bassin du Rhin à l'amont de Bâle et l'influence des lacs sur le régime du fleuve. *La Houille Blanche* 2, 1959.
2. ESCHWEILER, W. — L'hydrologie du Rhin à l'aval de Bâle. *La Houille Blanche 2*, 1959.
3. SCHAANK, E. M. H. — Kanalisatie van Nederrijn en Lek. Algemeen overzicht. *De Ingenieur 37*, 1956.
4. VOLKER, A. — De waterhuishouding van Nederland-II. Technische problemen. *De Ingenieur 1*, 1959.

DISCUSSIE

Ir. P. STELLING: De inleider heeft met betrekking tot de betekenis van de afvoer van de IJssel in het zomerhalfjaar voor de waterhuishouding van het IJsselmeer medegedeeld, dat de afvoer in oktober van geen betekenis meer is. In dit verband dient te worden opgemerkt, dat in 1959 in Friesland en Groningen tot in oktober toe doorlopend water uit het IJsselmeer is ingelaten. Voor Groningen bedroeg deze hoeveelheid 1000 m³/min., die in 9 trappen en in steeds afnemende hoeveelheden werd opgepompt tot in het uiterste oosten van de provincie.
In oktober moest deze bemaling zelfs nog worden versterkt. Wordt in de toekomst ook de landbouw van water voorzien, dan zullen ook in oktober nog grote hoeveelheden water voor inlaat beschikbaar moeten zijn.

ANTWOORD: Dat de maand oktober in mijn beschouwingen werd opgenomen, is een gevolg van het feit, dat deze gegevens op dit moment voorhanden waren. Het is van groot belang te weten dat ook gedurende de maand oktober nog op zo grote schaal in het noorden van het land behoefte aan IJsselwater kan bestaan.

Dr. C. VAN DEN BERG: De afvoer van de Lek in droge perioden (50 m³/sec) schijnt een knelpunt bij de Rijnkanalisatie te zijn. Zal bij een tekort aan water in de Lek aanvoer uit de Waal mogelijk zijn en hoeveel?
Beïnvloedt deze lage afvoer ook de toestand in de Hollandse IJssel (waar Gouda een belangrijk inlaatpunt is)? Hoewel vele belangen gediend moeten worden, kan een vermindering van de mogelijkheden van doorspoeling in de tuinbouwgebieden in westelijk Nederland tot buitengewone bezwaren leiden. Men is in deze gebieden vanouds ingesteld op verversingsmogelijkheden; zonder deze zou de verzilting de tuinbouw zeer benadelen of zelfs onmogelijk maken.

ANTWOORD: Er wordt bij de Rijnkanalisatie uitgegaan van het principe van aanvulling van water via het Betuwepand. Doorvoer van water door het Betuwepand is onder alle omstandigheden mogelijk, daar bij de sluis te Tiel steeds een verval aanwezig moet zijn. Onder niet al te extreme omstandigheden wordt gedacht aan een doorvoer van 40 m³/sec. De toestand in de Hollandse IJssel wordt na Rijnkanalisatie aanmerkelijk gunstiger, omdat door de Noord veel meer Waalwater naar de Nieuwe Maas zal stromen dan in de huidige omstandigheden.

Ir. A. G. WIERSMA: Wat zijn de knelpunten bij het verontreinigingsgevaar voor de Nederrijn, wanneer de afvoer door deze rivier wordt beperkt tot 50 m³/sec?

ANTWOORD: Er is destijds, toen het probleem van het verontreinigingsgevaar van het water op de gekanaliseerde Nederrijn-Lek aan de orde kwam, niet gesteld: „welke minimale hoeveelheid is er vereist". Aan het R.I.Z.A. werd de vraag voorgelegd of de op andere gronden vastgestelde minimumafvoer van 50 m³/sec gevaar voor verontreiniging opleverde. Hierop werd door het R.I.Z.A. na een diepgaand onderzoek ontkennend geantwoord.
Volgens de huidige inzichten bestaat er dan ook, bij doorvoer van 50 m³/sec bij Doorwerth-Driel en suppletie van water via het Betuwepand, nergens langs Nederrijn en Lek gevaar voor ontoelaatbare verontreiniging. De lange verblijftijd en de goede beluchting in de stuwpanden zullen de kwaliteit van het water in het algemeen verbeteren.

II. LAGE RIJNAFVOEREN EN HET OPTREDEN VAN PERSISTENTIES

P. J. WEMELSFELDER

Directie Waterhuishouding en Waterbeweging Rijkswaterstaat

SUMMARY

LOW DISCHARGES OF THE RHINE AND THE PERIODS OF PERSISTENCY

The fluctuation of precipitation from month to month is found to be subject to probability laws. Discharge however is another matter. The discharge of a river tends to persist in an once established deviation from a long term mean value. A river like the Rhine is found to be in such a regime of persistency during two thirds of the time. The periods of persistency occur entirely independently from the seasons. They begin or end at random throughout the year and they may extend over two or even three years.

The investigation shows, that all recorded periods of exceptionally low river discharge are associated with long periods of persistency. Knowledge of the present conditions of discharge is essential for the discharge in the coming months.

RÉSUMÉ

DÉBITS TRÈS PETITS ET LES PÉRIODES DE PERSISTANCE

Les variations mensuelles des précipitations se trouvent en accord avec la loi de la probabilité. En examinant les débits, l'on constate, que ces débits mensuels ne répondent plus du tout à la loi de la probabilité. Ils montrent une tendance prononcée à persister dans une déviation de la valeur moyenne d'une longe série d'années pour les différents mois. Un fleuve tel que le Rhin se trouve pour 2/3 du temps dans des conditions de persistance des débits. Il n'y a aucun rapport entre les périodes de persistance et les saisons. Ces periodes peuvent commencer ou finir à des moments indéterminés et s'étendre sur 2 ou 3 années consécutives.

L'étude a fait voir que toutes les périodes de débits très petits font partie de périodes de persistance d'une longue durée. La connaissance des conditions actuelles du débits est d'une grande importance pour l'évaluation des débits dans les mois à venir.

1. Inleiding

Nederland moet voor een belangrijk gedeelte water ontlenen aan de Rijn ter vervulling van zijn zoetwaterbehoeften voor drinkwater, landbouw en veeteelt, verversing van binnenwateren en terugdringen van zout. Gedurende een belangrijk gedeelte van de tijd is er evenwel onvoldoende afvoer in deze rivier. Zeker tweemaal in de tien jaren is dat het geval en niet zelden gedurende vele maanden achtereen.

Kunnen wij perioden van lage afvoeren tijdig voorzien, dan kan het verdelingsbeleid, waarbij uiteraard in niet geringe mate ook de scheepvaartbelangen betrokken zijn, tot het uiterste worden toegespitst op een optimaal gebruik van de oppotmogelijkheden in IJsselmeer en Zeeuwse Meer.

Meer en meer begint zich dus de wenselijkheid af te tekenen te komen tot voorspellingen op langere termijn. Daarbij is te denken aan een aantal weken tot enkele of zelfs verscheidene maanden. Uiteraard zullen voor de verdere toekomst de perioden van uitzonderlijk lage afvoeren verreweg de belangrijkste zijn. Aangezien echter de oppotmogelijkheden stringent beperkt worden door de eisen van een goede afwatering, waarbij weer rekening moet worden gehouden met grote neerslagen, zijn evengoed de normale afvoeren en vooral ook de grote en zeer grote afvoeren van belang.

In de thans volgende paragrafen zullen uitsluitend de „persistenties" worden behandeld (definitie in par. 9). De uiteenzetting begint met een korte beschouwing in par. 2 over mogelijke voorspellingsmethoden. Vervolgens worden in par. 3 karakteristieke waarden van de afvoer van maand tot maand behandeld. Daarna volgt in par. 4 een korte verhandeling over de betekenis van gemiddelden en de praktische onmogelijkheid toekomstige afvoeren in getalswaarden van zulk een nauwkeurigheid te geven, dat men verder komt dan met vrij grove gemiddelden. In par. 6 wordt gewezen op het toevalskarakter in de neerslagcijfers, waarbij opvalt dat de afvoervariaties dit toevalskarakter niet vertonen (par. 8). In de paragrafen 9 en 10 volgt dan een behandeling der persistenties, waarvan in par. 11 de oorzaken worden beschreven. De wijze waarop van de persistenties gebruik kan worden gemaakt voor het opstellen van verwachtingen wordt in par. 12 behandeld, met een toetsing in par. 13.

2. Enige denkbare voorspellingsmethoden

Het is nuttig eerst na te gaan op welke wijze men het vraagstuk van het voorspellen van toekomstige afvoeren ter hand zou kunnen nemen en wat reeds ter beschikking staat. Wij onderscheiden deze mogelijkheden dan naar 3 sectoren, die tezamen 8 systemen omvatten.

In A *(meteorologische sector)* zijn te noemen:

1e. de *synoptische meteorologie* of de weerdienst. Deze kan ons verwachtingen geven van neerslagen voor de allernaaste dagen. Zulks is van directe betekenis voor de nader onder punt 6 te noemen voorspellingswijze. Voor verwachtingen op lange termijn biedt de synoptische meteorologie echter geen materiaal.

2e. de *lange afstandsvoorspellingen.* Hieraan zijn de namen van prof. dr F. BAUR en prof. dr. S. W. VISSER verbonden. De hiervoor verrichte studies dragen evenwel of een zeer incidenteel, dan wel een overwegend speculatief karakter. Zij bieden geen enkel perspectief voor concrete hantering.

In B *(hydrologische sector)* zijn te noemen:

3e. het *sneeuwpakket.* Meer sneeuw in het hooggebergte geeft meer, minder sneeuw minder afvoer in voorjaar en zomer. Een onderzoek naar het sneeuwpakket en de latere afvoeren is ingesteld door de *Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau* van de *Eidgenossische Technische Hochschule* te Zürich (lit. 4). Ook worden door deze instantie sinds enige jaren proefvoorspellingen gegeven voor de zomerafvoeren van de Rijn te Rheinfelden. Het heeft aanvankelijk in de bedoeling gelegen van deze voorspellingen uit te gaan en er voor het traject Rheinfelden-Lobith nader te stellen afvoerbedragen aan toe te voegen. Bij het uitwerken van deze gedachte is evenwel veel twijfel gerezen aan de juistheid van de Zwitserse werkwijze. Onder andere werden voor het sneeuwloze traject beneden Basel uitkomsten gevonden, die vrijwel gelijkluidend waren aan de voor Zwitserland aan het sneeuwpakket toegeschreven uitkomsten. Vermoedelijk is ook de numerieke waarde van de sneeuwpakketvariatie voor de afvoervariatie van bijkomstige betekenis. Dit geldt reeds voor de afvoer te Rheinfelden en a fortiori dus voor Lobith.

4e. de *inhoud van de meren.* Uit onze studie is mede gebleken dat men ten aanzien van het optreden van tijden van lage afvoeren de betekenis van de Zwitserse meren als voorraadbekkens rustig kan vergeten (par. 11).

5e. de *grondwatervoorraad.* De gehele hier weergegeven studie en veel hier niet ter sprake gebracht materiaal hebben steeds sterker de overtuiging doen postvatten, dat de grondwatervoorraad een belangrijke, misschien zelfs verre overwegende rol speelt in het afvoerbeeld van de Rijn. Slechts één aspect daarvan, namelijk het optreden van persistenties, kan hier met voldoende bewijsmateriaal en voldoende gedetailleerd worden behandeld.

Een volgende stap in deze materie zal kunnen zijn het geven van een zodanige analyse van de afvoer, dat een splitsing kan worden gemaakt in acute afvoer en uitgestelde afvoer. Op grond daarvan zal een belangrijk beter inzicht worden verkregen in de afvoertoestand van de rivier.

6e. de *„hoogwatervoorspelling"*. Deze staat ter beschikking voor afvoervoorspellingen op korte termijn (lit. 3). Zij geeft op grond van reeds in de zijrivieren manifest geworden afvoeren en de weersverwachtingen de afvoeren te Lobith in de eerstvolgende dagen. Deze voorspellingswijze, meer speciaal ontwikkeld voor het tijdig zien aankomen van zeer hoge opperafvoeren, kan ook voor normale en lage afvoeren worden toegepast. Hierin is dus een geschikt instrument gegeven voor het bepalen van de afvoeren der eerstkomende dagen. Zulks zal voor het toekomstig waterbeheer uiteraard onmisbaar zijn.

In C *(statistische sector)* zijn te noemen:

7e. de *gemiddelden,* die men kan berekenen voor tijdstip en omstandigheden van het te voorspellen jaargedeelte. In par. 3 wordt hierop nader de aandacht gevestigd.

8e. de *periodiciteiten.* Wat de Rijnafvoeren betreft staat ons de studie van OESTERHAUS ter beschikking (lit. 1). Uit deze studie blijkt, dat er geen periodiciteiten zijn van zodanig geprononceerd karakter, dat zij een bijdrage van betekenis vormen voor het opstellen van verwachtingen. Veeleer zijn de gevonden periodiciteiten van zo geringe amplitude, dat het de vraag blijft in hoeverre de resultaten significant genoemd mogen worden.

Om te komen tot afvoerverwachtingen op lange termijn staat ons dus niets ter beschikking, dat reeds elders is ontwikkeld. Wat de methoden of terreinen betreft, zijn alleen doeltreffend de opgestelde gemiddelden (punt 7) en de grondwatervoorraad (punt 5). Voorts is het niet uitgesloten, dat na kritisch onderzoek ook nog aan het groter of kleiner zijn van het sneeuwpakket (punt 3) indicaties kunnen worden ontleend voor de toekomstige afvoeren.

3. KARAKTERISTIEKE WAARDEN VOOR ELKE KALENDERMAAND

Wie belangstelling heeft voor de afvoeren van de Rijn in komende weken of maanden, zorge ervoor een aantal basisgegevens in zijn zakboekje te hebben. Dat zijn allereerst de gegevens als vermeld in tabel 1.

Tabel 1. Afvoeren van de Rijn te Lobith in m³/sec, ontleend aan het 40-jarig tijdvak 1919 —1958

tijdvak	min.	gem.L	gem.	gem.H	max.
	1	2	3	4	5
januari	1254	1938	2760	4287	7352
februari	1037	1847	2698	3850	5792
maart	959	1746	2553	3361	4666
april	832	1793	2379	3171	3994
mei	985	1649	2080	2796	4188
juni	986	1703	2128	2513	3515
juli	1011	1605	2119	2539	3554
augustus	815	1412	1887	2412	3026
september	782	1260	1704	2246	3278
oktober	683	1208	1692	2345	3658
november	748	1325	2092	3130	5054
december	733	1462	2195	3295	5329
gem. mei t/m okt. (zomer)	877	1473	1935	2475	3536
gem. nov. t/m apr. (winter)	927	1685	2446	3516	5364
jaargemiddelde	902	1579	2191	2995	4450

De tabel geeft in kolom 3 de maandgemiddelden, geflankeerd door de laagste maandgemiddelden in kolom 1 en de hoogste in kolom 5. De werkelijke maandgemiddelden bewegen zich tussen de minima en de gemiddelden enerzijds en de gemiddelden en de maxima anderzijds. Van de eerste groep lage maandgemiddelden geeft kolom 2 het gemiddelde, aangeduid als „gemiddeld L", en van de hoge maandgemiddelden geeft kolom 4 het gemiddelde, aangeduid „gemiddeld H".

De tabel geeft alleen gemiddelden en ook verder in deze studie zal uitsluitend met maandgemiddelden worden gewerkt. Het heeft uiteraard zelden enige zin om, handelende over toekomstige afvoeren, de afvoer op een bepaalde dag in het oog te vatten. Denkbaar is nog, dat men in sommige gevallen mede zou zijn geïnteresseerd in dalwaarden of topwaarden. Deze worden hier echter niet naar voren gebracht, teneinde het te ontwikkelen beeld zo eenvoudig mogelijk te houden. Het voordeel van maandgemiddelden is voorts, dat de maand een goede lokalisering in het jaar geeft, terwijl ook uit rekentechnisch oogpunt de maand een aantrekkelijke eenheid is, omdat tal van nuttige gegevens in de diverse hydrologische en meteorologische boeken per maand ter beschikking staan.

Extreme waarden vallen uiteraard buiten het hier te behandelen onderwerp. De in tabel 1 vermelde minima en maxima zullen dus worden geaccepteerd als waarnemingsgegevens en de vraag, of de afvoer in exceptionele gevallen daar nog onder of boven zou kunnen vallen, wordt hier niet onder ogen gezien.

4. De te verwachten afvoeren, gezien als afwijking van een gemiddelde

Het is van belang aandacht te schenken enerzijds aan de seizoensinvloed, zoals die in tabel 1 tot uitdrukking komt, anderzijds aan de spreidingsbreedte waarbinnen de afvoeren zich elke maand gewoonlijk bewegen. De eerste is weer te geven door de verhouding 1 op 2, de laatste door 1 op 5. Tussen het minimum maandgemiddelde in oktober en het maximum in januari ligt een afstand van 1 op 10.

In tabel 1 is dus de marge of spreidingsbreedte, waarbinnen alle toekomstige afvoeren zich kunnen bewegen, reeds aangegeven. Men kan nu de vraag naar de nadere fixatie van de verwachting in twee etappen behandelen.

Allereerst is er de vraag: zal de afvoer hoger, dan wel lager gesteld moeten worden dan het algemeen gemiddelde volgens kolom 3. Eerst nadat men hierop een antwoord heeft kunnen geven, komt aan de orde de tweede vraag naar het bedrag van de vermoedelijke afwijking. Over de grootte van de afwijking te spreken, zolang er ten aanzien van de richting nog geen helder inzicht bestaat, zou uiteraard zinloos zijn.

Wanneer wij nu op grond van een nadere indicatie in staat zijn, tevoren omtrent het te hoog dan wel te laag zijn een vermoeden of verwachting te formuleren, is de totale marge van mogelijkheden gehalveerd. De te verwachten afvoer zal zich dan kunnen bevinden hetzij tussen de waarden van kolom 3 en 1, danwel tussen 3 en 5.

Wanneer geen verdere mogelijkheden ter beschikking komen om de verwachting te preciseren, is het aangewezen om als meest waarschijnlijke waarde voor die afvoer het gemiddelde van de gekozen helft te stellen. Dat is voor de lage waarden de in kolom 2 vermelde „gem. L" en voor de hoge waarden de „gem. H" van kolom 4.

Letten wij even, om de gedachten te bepalen, op het zomerhalfjaar mei t/m oktober, dan gelden daarvoor de in tabel 1 vermelde gemiddelden:

		onderling verschil
maandminima	877 m³/sec	596 m³/sec
lage helft	1473 m³/sec	
40-jarig gemiddelde	1935 m³/sec	462 m³/sec

Zouden wij, op grond van een betrouwbare indicatie, „laag" mogen verwachten, dan zou voor deze 6 zomermaanden het bedrag van de afvoer op 1473 m³/sec moeten worden gesteld. Het werkelijke bedrag zal daarvan naar beneden met 596 m³/sec kunnen afwijken en naar boven met 462 m³/sec.

Voor de hogere helft, dus die boven het algemeen gemiddelde, is de spreidingsbreedte wat groter. Doch de belangstelling voor dit gebied zal achterstaan bij de eerstgenoemde lagere helft. Wij zullen daarom met de gegeven getallen verder werken.

Het gemiddelde van de zojuist genoemde maximale afwijkingen is 530 m^3/sec. Bij een verdeling der afwijkingen volgens GAUSS heeft men 95% der afwijkingen binnen + en — tweemaal de standaarddeviatie. Ons geval eenvoudigheidshalve daarmede gelijkstellende, zou 530 m^3/sec gelijk zijn aan tweemaal de standaarddeviatie. Laatstgenoemde waarde is dus naar orde van grootte op 265 m^3/sec te stellen.

Tot hiertoe het effect van een uitsluitend *kwalitatieve* verwachting. Een verwachting dus, die alleen een uitspraak doet over het hoger of lager zijn van de verwachte afvoer dan het veeljarig gemiddelde.

Allicht zal men menen, dat nu de tweede etappe van het voorspellen aan de orde gesteld moet worden. Dat wil zeggen het aangeven van het bedrag van de afwijking van het gemiddelde. Wil men evenwel een nuttig effect hebben van deze nadere specificatie, dan zal de standaarddeviatie van het op te geven bedrag kleiner moeten zijn dan bovengenoemde 265 m^3/sec, b.v. 2 à 3 maal zo klein. *De standaarddeviatie van een numerieke voorspelling zal derhalve moeten liggen in de orde van grootte van 100 m^3/sec.* Dit bedrag is 5% van de normale afvoer en zelfs nog maar 15% van de allerlaagste afvoer. Het opgeven van afvoercijfers met deze precisie is reeds hachelijk, laat staan het voorspellingen doen maanden vooruit.

Wij zullen derhalve reeds gelukkig zijn met het kunnen voorspellen of toekomstige afvoeren „laag" zijn. Van een kwantitatieve voorspelling zullen wij moeten afzien. In dit verband zij vermeld, dat de reeds genoemde *Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau* te Zürich sinds enige jaren proefsgewijs voorspellingen opstelt voor de Rijnafvoeren te Rheinfelden. Deze voorspellingen betreffen numerieke waarden van verwachte afvoeren, echter met een standaarddeviatie van meer dan 150 m^3/sec te Rheinfelden. Dit komt overeen met 300 m^3/sec te Lobith. Het is evident, dat deze standaarddeviatie te ver uitgaat boven het hier genoemde maximum gewenste.

Ziet men op grond van het bovenstaande af van een numerieke fixatie van de voorspelling, dan zal men een verdere begrenzing van de verwachting alleen nog kunnen bewerkstelligen door toevoeging van kwalitatieve aanduidingen als „flink laag" of „omstreeks de normale waarde". Ook kan worden gedacht aan een verdeling van het gehele bereik niet in tweeën, als boven gesteld, doch in drieën: een middenzone, een lage zone en een hoge zone. Men heeft dan wel het optimaal bereikbare gesteld.

Hoewel op zichzelf aantrekkelijk kan in deze studie aan zulk een indeling geen aandacht worden geschonken. Want eerst dient een onderzoek te worden ingesteld naar de persistenties. Deze kunnen alleen worden behandeld door het verdelen in slechts twee delen, namelijk hoge en lage afvoeren.

5. De wisselvalligheid van de afvoer

Beziet men een normale jaarkromme van de afvoer van de Rijn, als hier bij wijze van voorbeeld is gereproduceerd in figuur 1, dan valt daarin de wisselvalligheid van de afvoer op.

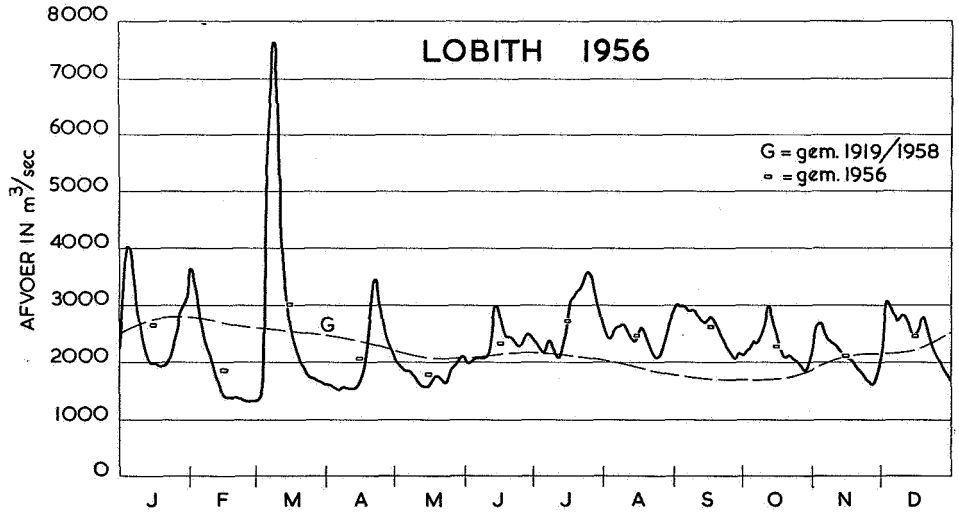


Fig. 1. Een sterke wisselvalligheid is het normale kenmerk van de Rijnafvoeren

Fig. 1. *As this graph shows, the discharge of the Rhine is strongly varying*

Fig. 1. *Le débit du Rhin est soumis à des variations considérables*

afvoer in m³/sec | *discharge in m³/sec.* | *débit en m³/sec.*

In deze figuur geeft G de grootte van het 40-jarig gemiddelde aan, overeenkomende met kolom 3 in tabel 1. Naar men ziet beweegt de dagkromme zich met grote amplituden van flink onder tot flink boven de lijn G.

Er is reeds op gewezen, dat wij ons bij het stellen van verwachtingen niet met dagwaarden kunnen bezighouden. De later optredende dagwaarden zullen echter schommelingen zijn rondom het voor die maand geldende gemiddelde. In figuur 1 zijn deze gemiddelden nader aangegeven, telkens gesteld op het midden van de betreffende maand.

Men realisere zich wel, dat zelfs een volmaakt raak voorspeld maandgemiddelde niet meer kan geven dan een betrekkelijk pover en vervlakt beeld van de wisselvallige werkelijkheid.

Voor de droge jaren met lage afvoeren ligt dit wel wat gunstiger. Ter informatie wordt in figuur 2 de kromme van het jaar 1959 afgebeeld. Ook

deze figuur geeft de lijn G en de maandgemiddelden. Men ziet, dat de maandgemiddelden hier veel meer representatief zijn voor het werkelijke verloop van dag tot dag dan in figuur 1.

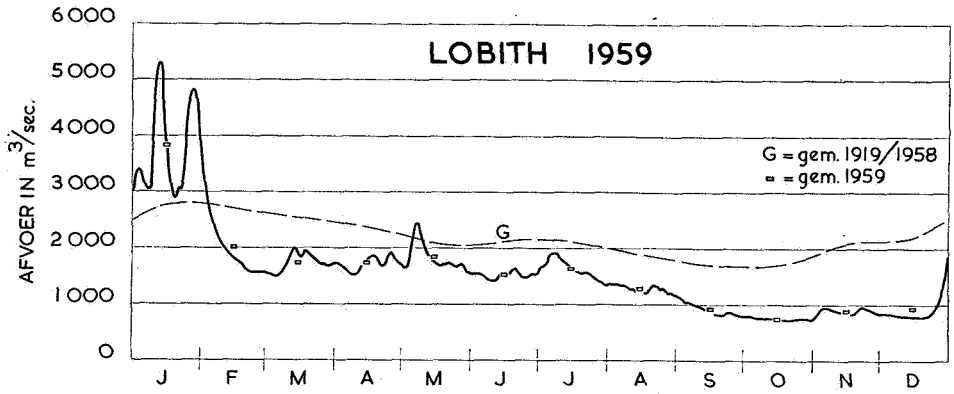


FIG. 2 De afvoerkromme van 1959 als voorbeeld van een weinig variërende afvoer

FIG. 2. *The discharge curve of 1959 is a very flat one*

FIG. 2. *Les débits de 1959 présentent un caractère rélativement stable*

Wij signaleren hiermede tevens een tweede vorm van wisselvalligheid van de Rijnafvoeren. Zij kunnen namelijk het beeld vertonen van figuur 1, maar ook dat van figuur 2. En er zijn onbeperkt veel overgangen en mengtypen. Wie zich bezint op mogelijkheden van voorspelling heeft dus te zoeken naar een bruikbare stylering. Bovendien moet degene, die van eventuele voorspellingen gebruik wil maken, deze op een adequate wijze weten te verstaan.

Nog een derde punt komt onder dit hoofd der wisselvalligheid. In vele jaren is deze wisselvalligheid zo groot, dat de afvoer wel 6, 8 of 10 flinke toppen en evenzovele dalen per jaar vertoont. Dat komt neer op 12 tot 20 flinke veranderingen in een jaar tijds. Een maand is dus een tijdspanne, groot genoeg om bijna twee volledige grote veranderingen te laten plaatsvinden. En ruimschoots groot genoeg voor één verandering, hoe groot ook.

De tijdsduur van één maand is dus groot genoeg om vanuit elke willekeurige afvoertoestand over te gaan in een afvoertoestand gelegen aan de andere zijde van het gemiddelde. Dus een overgang van L in H en van H in L. Wanneer dat niet gebeurt, dan kunnen wij dit opvatten als een indicatie, waarover verder uitvoerig wordt gehandeld. Een dergelijke overgang is niet ontstaan doordat wij onze tijdseenheid te klein zouden hebben gekozen,

zoals natuurlijk het geval zou zijn geweest met een dag en ook nog met een week als tijdseenheid.

6. Het toevalskarakter in de neerslag

De rivier voert de neerslag af, die in zijn stroomgebied valt; hetzij acuut in de vorm van de duidelijk geprononceerde afvoergolf, hetzij uitgesteld en afgevlakt als sneeuwsmelting en grondwater. Aangezien het voor de hand ligt om hoge rivierafvoeren toe te schrijven aan natte perioden en lage afvoeren aan droogteperioden, is het goed reeds tevoren aandacht te schenken aan een bepaalde wetmatigheid, die is vast te stellen in het optreden van zulke natte of droge perioden.

Gebruik kan worden gemaakt van de neerslagcijfers over 32 jaar te Lobith en van die over 20 jaar, welke representatief zijn voor het Zwitserse stroomgebied van de Rijn. Voor elke maand werd het gemiddelde bepaald van genoemde 32 of 20 jaar en de naar boven afwijkende maanden werden als N (nat) en de naar beneden afwijkende als D (droog) gekwalificeerd. De resultaten zijn hier overgelegd in de figuren 3 en 4.

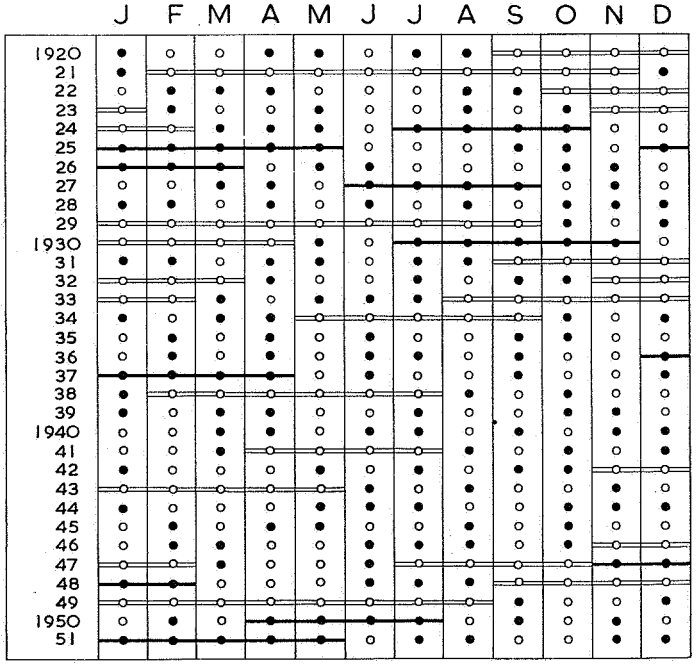


Fig. 3. De neerslag te Lobith
Fig. 3. *Precipitation at Lobith*
Fig. 3. *Les précipitations à Lobith*

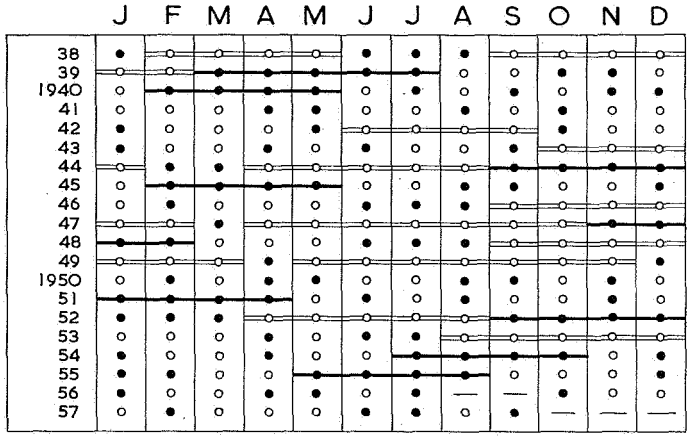


FIG. 4. De neerslag in het Zwitserse stroomgebied van de Rijn

FIG. 4. *Precipitation in the catchment area of the Rhine in Switzerland*

FIG. 4. *Les précipitations dans le bassin versant du Rhin en Suisse*

O droog (onder normaal)	*dry (sub normal)*	*sec (en dessous de la moyenne)*
● nat (boven normaal)	*wet (over normal)*	*humide (au dessus de la moyenne)*

Men ziet in beide figuren een wisselvallige opeenvolging van natte en droge maanden. Volgens een onderzoek van STEINHÄUSZER (lit. 2), verricht aan een viertal neerslagstations in het stroomgebied van de Donau (tezamen omvattende 327 waarnemingsjaren), volgen natte en droge jaren elkaar op volgens de wetten van het toeval. Ook SCHARRINGA en LEVERT wijzen in een recent artikel (lit. 5) erop, dat natte en droge jaren en speciaal ook droge zomers optreden naar een volkomen willekeurige verdeling.

Voor ons doel is een jaar een te grote tijdruimte. Wij moeten kunnen werken met maanden. Een analoog onderzoek is daarom ingesteld naar het opeenvolgen van natte en droge maanden. Onder nat (N) zijn daarbij weer verstaan maanden met een neerslag groter dan het gemiddelde van die maand, en onder droog (D) de maanden met een neerslag kleiner dan het betreffende maandgemiddelde. Wanneer in de figuren 3 en 4 vier of meer droge of natte maanden elkaar opvolgen, zijn zulke maanden onderling verbonden door een open dan wel gesloten lijn. In deze figuren geven de lijnen dus aan, wanneer in een aantal maanden achtereen een neerslagtekort, dan wel een neerslagsurplus is opgetreden.

Veronderstellen wij dat de neerslag in elke maand onafhankelijk is van die in voorgaande en volgende maanden, dan zal na elke maand, of die nu N of D was, de kans op N voor de volgende maand 50% zijn en op D ook 50%. De kans op a maanden met dezelfde letter is dan:

$$\tfrac{1}{2}^{a+1}$$

Op een tijdvak van J jaar zal men dus kunnen verwachten:

$$J.\ (\tfrac{1}{2})^{a+1}$$

groepen ter lengte van a maanden.

De resultaten van deze theoretische berekening, alsmede die van het uittellen in bovenstaande figuren, zijn vermeld in tabel 2.

Tabel 2. Aantal malen dat in groepen van a maanden achtereen de neerslag te hoog is of te laag, geteld in werkelijkheid en naar kansberekening

(a) aantal maanden achtereen D of N	Lobith (32 jaar)		Zwitserland (20 jaar)	
	in feite opgetreden	theoretisch volgens kansrekening	in feite opgetreden	theoretisch volgens kansrekening
1	2	3	4	5
1	103	96	47	59
2	47	48	26	29
3	18	24	13	15
4	13	12	11	7
5	6	6	4	4
6	1	3	2	2
7	2	1^5	3	1
8	.	0^6		0^5
9	1 } 6	0^4 } 6		
10	1	0^2		
11	.	0^1		
12	1			

Vergelijkt men aandachtig de kolommen 2 met 3 en 4 met 5, dan ziet men een bijzonder goede overeenstemming. De onderlinge verschillen zijn niet significant. Men zou er een zwakke aanwijzing in kunnen zien van het volgende: voor een duur van 1, 2 of 3 maanden zijn de in feite opgetreden aantallen een onbelangrijk bedrag kleiner dan de theoretische. Voor de duur van 4 maanden en langer zijn de werkelijke aantallen een weinig groter dan de theoretische. Hoewel niet significant zou men hierin een zwakke aanwijzing kunnen zien voor een neiging van de neerslag tot meer voorkeur aan de langere perioden dan de kanswet toestaat. Op zichzelf zou dit niet behoeven te verwonderen.

Opvallend is dat het voorkomen van groepen van *a* maanden in de neerslag *zo overwegend en zo uitgesproken voldoet aan de wet van het toeval* en aan de veronderstelling, dat *alle maanden onafhankelijk zijn van elkaar.* Een natuurlijke neiging tot bestendiging, als straks voor de rivierafvoer zal worden aangetoond, is dus in de neerslagen beslist niet aanwezig.

Wanneer hier wordt geconstateerd, dat het voorkomen van groepen van *a* maanden nat of droog praktisch geheel voldoet aan de wet van het toeval, dan wordt onder toeval verstaan de werking van een reeks oorzaken, die zich aan onze waarneming onttrekken. Geenszins dus dat de regens geen gevolg zouden zijn van meteorologische causaliteiten. Maar door wat wordt de opeenvolging bepaald? Wij kunnen de causaliteit daarin slechts in incidentele gevallen en nog maar over luttele dagen doorzien. Hoe het hiermede ook gesteld moge zijn, de constatering dat de neerslagen — maandsgewijs bekeken — zich houden aan de regels van het toeval, is niet bemoedigend voor de vooruitzichten op een fysisch verantwoorde verwachtingstechniek in de meteorologische sector.

7. De rijnafvoer, gezien als afwisseling van hoog en laag

Wij komen nu aan een nadere analyse van de onder de in par. 5 genoemde wisselvalligheid verborgen regelmaat in de afvoeren. Gebruik wordt gemaakt van de afvoercijfers over het reeds in par. 3 genoemde 40-jarige tijdvak, aangevuld met 1959. De maandgemiddelden zijn stuk voor stuk vergeleken met het 40-jarig gemiddelde voor die maand en aangeduid met H voor hoger en met L voor lager. Figuur 5 geeft het resultaat van deze klassificatie.

Op de in figuur 5 weergegeven 480 maanden worden gevonden: 213 H-maanden of 44% en 267 L-maanden of 56%. De H-maanden zijn dus in de minderheid tegenover de L-maanden. Zulks moet uiteraard worden toegeschreven aan het feit, dat hoogwaterperioden altijd spits zijn en laagwaterperioden vlak.

Een en ander vindt men terug in de cijfers van tabel 1. De juist genoemde 213 H-maanden wijken gemiddeld 804 m^3/sec naar boven af en de genoemde 267 L-maanden wijken 612 m^3/sec naar beneden af. $213 \times 804 = 267 \times 612$.

Deze verhouding vindt men overigens precies zo in de neerslagen. Voor de 32 jaren van de neerslag te Lobith vindt men 44,5% tegen 55,5% en voor de 20 jaren van Zwitserland vindt men 44% tegen 56%.

Telt men in elke maand het aantal L-maanden en H-maanden, dan blijkt, dat daarin *geen enkele seizoensinvloed* meer begrepen is (zie tabel 3).

Tabel 3. De verdeling van de H- en L-maanden over het jaar

	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	tot.	gem.	perc.
H	14	17	20	17	15	21	22	19	18	17	17	16	213	18	44
L	26	23	20	23	25	19	18	21	22	23	23	24	267	22	56

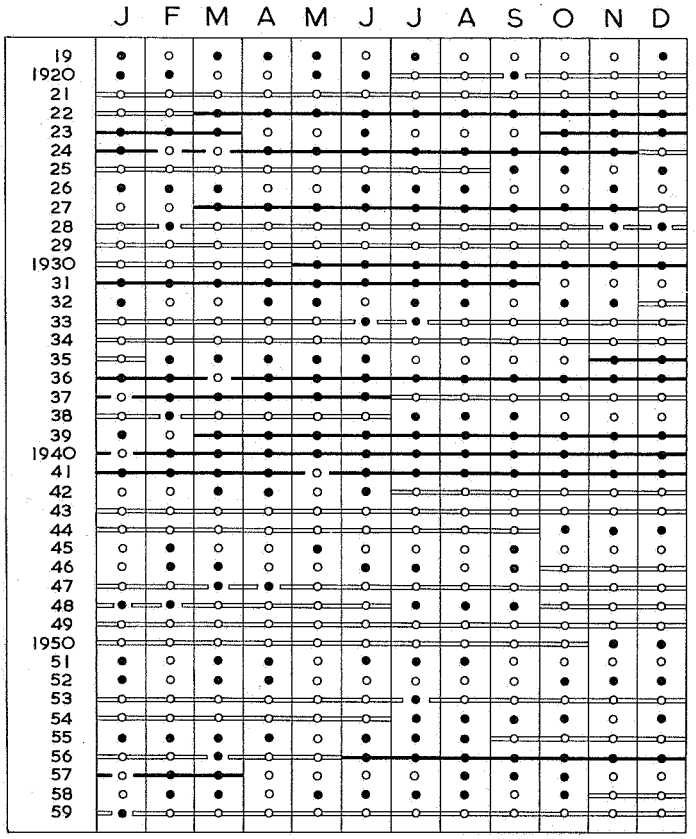


FIG. 5. De afvoeren van de Rijn te Lobith over het tijdvak 1919—1959

FIG. 5. *The monthly mean values of the discharge of the Rhine at Lobith from 1919 to 1959*

FIG. 5. *Les débits du Rhin à Lobith de 1919 à 1959*

● hoger dan het 40-jarig gemiddelde	*higher than the mean value*	*au dessus de la moyenne*
○ lager dan het 40-jarig gemiddelde	*lower thans the mean value*	*en dessous de la moyenne*

8. DE OPEENVOLGING VAN HOOG EN LAAG BIJ DE AFVOER

In par. 6 is aangetoond, dat bij de neerslag het voorkomen van *a* maanden droog of nat achter elkaar een kwestie is van toeval. Natuurlijk zou men verwachten, gezien de sterke en noodzakelijke relatie tussen neerslag en afvoer, dat de opeenvolging van hoge of lage afvoeren volgens dezelfde regels zou moeten geschieden. Een geheel ander resultaat wordt evenwel

Tabel 4. Aantal malen dat de afvoer over *b* achtereenvolgende maanden H of L is en — ter vergelijking — het theoretisch aantal, indien de toevalsverdeling zou gelden

(*b*) aantal maanden achtereen H of L	Lobith (1919—1958)			
	in feite voorgekomen		theoretisch volgens kansrekening	
1	2		3	
1	39		120	
2	29		60	
3	17	102	30	232
4	12		15	
5	5		7,5	
.....	.....		.....	
6	3		3,8	
7	3		1,9	
8	3		1,0	8
9	3		0,5	
10	1		0,2	
11	1		0,1	
12				
13	1			
14				
15	1			
16	1	22		
17	2			
18	1			
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25	1			
26				
27	1			

gevonden. Als wij voor de afvoer uittellen het aantal maanden *b* in successie H of L dan vindt men als resultaat hetgeen in tabel 4 vermeld is.

Vergelijking van kolom 2 (de getelde aantallen) en kolom 3 (de aantallen bij toevalsverdeling) doet zien, dat er thans van overeenstemming geen sprake is. Bij toevalsverdeling zouden er 120 solitaire maanden H en L moeten voorkomen. Geteld werden slechts 39 of één derde deel. Voor de groepen van 1 tot en met 5 maanden is telkens het getelde aantal, tezamen 102, uitgesproken kleiner dan het toevalsaantal, tezamen 232.

Vanaf $b = 7$ overheersen de getelde aantallen. Geteld werden vanaf $b = 6$ in totaal 22 perioden tegenover een berekend aantal van slechts 8. Bovendien zouden bij de toevalskansverdeling groepen van omstreeks 10 maanden achtereen H of L wel de langste zijn. In werkelijkheid werden in deze 40 jarige termijn 13 perioden van 10 maanden en hoger, zelfs tot 25 en 27 maanden toe, geteld.

In figuur 5 zijn telkens groepen van 6 maanden en meer van hetzelfde teken onderling verbonden. Deze groepen van 6 maanden en meer omvatten over genoemde 40 jaren in totaal 259 maanden of 54% van dit tijdvak. Gaan wij hetzelfde na voor de neerslag, dan vinden wij dat slechts 13% der maanden behoort tot groepen van 6 maanden.

De rivierafvoer vertoont dus een veranderlijkheidskarakter, dat zeer ingrijpend afwijkt van dat van de neerslagen. Wij zullen dat in de volgende paragrafen nader beschrijven.

9. De persistenties in het afvoerbeeld

De gegevens van figuur 5 zijn in figuur 6 op een doorlopende tijdas uitgezet. Naar boven uitgezet betekent, dat de betreffende maand een afvoer H had, dus hoger dan het algemeen gemiddelde voor die maand. Als ordinaat is uitgezet het aantal H-maanden in successie. De hoogte der blokken geeft dus een directe maat voor de duur in maanden, dat de maandgemiddelden boven normaal waren. Naar beneden zijn op analoge wijze de perioden met uitsluitend L-maanden uitgezet.

Er zijn begrenzingslijnen getekend op + 5 en — 5 maanden. Tussen deze twee lijnen blijven de groepen met een duur van 1, 2, 3, 4 en 5 maanden. Deze elkaar afwisselende groepjes geven aan de afvoertoestand het karakter van *onbestendigheid.*

Voor ons onderzoek van belang zijn de groepen met een duur van 6 en meer maanden. Zij steken buiten de begrenzingslijnen uit. Vanwege hun karakter worden zij verder aangeduid als *persistenties.* Opeenvolgingen van 2, 3, 4 of 5 maanden met dezelfde afwijking van het gemiddelde worden dus niet als zodanig aangeduid. Als een groep het niet verder brengt dan 5 maanden is er immers nog niet of nauwelijks van volharden sprake. Dat volharden in een ingetreden toestand komt eerst tot uiting, indien deze toestand lang tot uitzonderlijk lang gaat duren.

Onder persistenties worden dus verstaan tijden van ½ jaar en langer, waarin de maandgemiddelden steeds onder of boven het langjarig maandgemiddelde bleven.

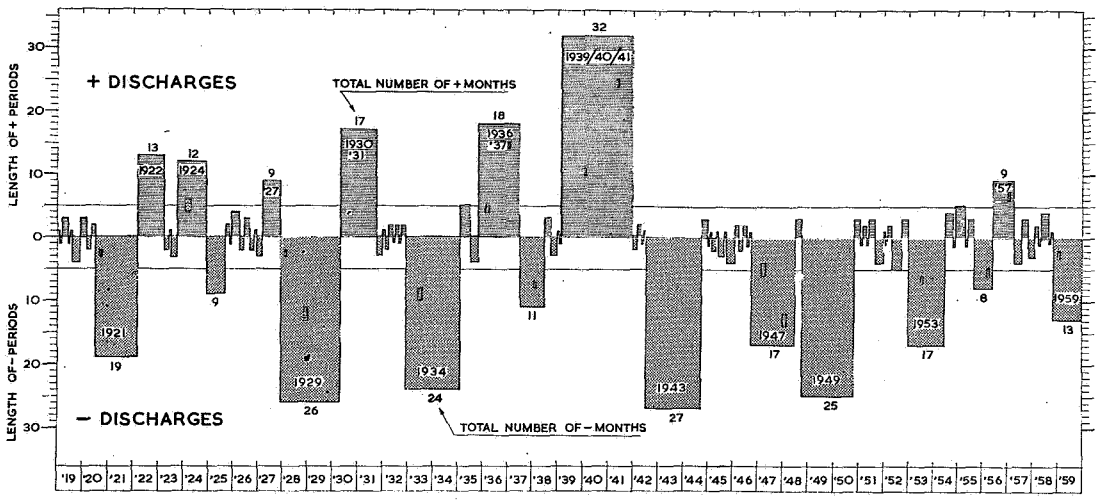


FIG. 6. Persistentiediagram voor Lobith (1919—1959). De bijgeplaatste getallen geven het aantal H- of L-maanden aan.

FIG. 6. *Diagram, showing the magnitude of the persistency at Lobith from 1919 up to 1959. The numbers give the durations in months.*

FIG. 6. *Diagramme, montrant les persistances des débits du Rhin à Lobith de 1919 jusqu'a 1959. La durée des persistances successives a été mentionnée.*

Het belangwekkende van het op deze wijze verkregen beeld is, dat de als zodanig bekend staande *zeer natte en zeer droge jaren bijzonder duidelijk uitkomen.* In de onderste helft de bekende droge jaren: 1921, 1929, 1934, 1943, 1947, 1949, 1953 en 1959. In de bovenste helft de natte jaren: 1922, 1924, 1927, 1930/1931, 1936/1937, 1939/1940/1941 en 1956/1957.

Aangezien de natte jaren minder zorgen baren dan de droge, zullen de laatstgenoemde jaartallen bij velen minder bekend zijn. Mogelijk zal men 1926 missen, het jaar waarin de Rijn de hoogste afvoer van deze eeuw had en uitgebreide overstromingen voorkwamen. Deze topafvoer, vallende in de eerste week van januari, behoort echter tot een groepje van slechts 3 H-maanden.

In figuur 6 vindt men onder de L-persistenties nog drie kleine, nl. die in 1925, 1937/38 en 1955/56. Deze jaren behoren al niet meer tot de reeks van bekende droge jaren. Aangezien alle grote droge tijdvakken persistenties tonen van 17 maanden en langer, kan waarschijnlijk gezegd worden, dat L-persistenties, korter dan 12 maanden, veelal nog geen aanleiding geven tot een „bekend droog jaar".

Bij nauwkeurige vergelijking van de figuren 5 en 6 zal men opmerken, dat enige malen een H-persistentie niet is onderbroken voor 1 of 2 L-maanden en dat L-persistenties soms niet zijn onderbroken voor 1 of 2 H-maanden. De volgende regel is hier toegepast: de kern van elke persistentie is een ononderbroken reeks van tenminste 6 maanden. Wordt zulk een kern voorafgegaan of gevolgd door 1, hoogstens 2 maanden van het andere teken waarvoor of waarna ten minste het dubbele aantal maanden van het goede teken, dan worden die laatste geacht te behoren tot de hoofdpersistentie. Aldus zijn 7 L-maanden opgesloten in H-persistenties en 14 H-maanden in L-persistenties. In verhouding tot het totaal aantal maanden (1 op 15) is dit dus van weinig betekenis.

De in figuur 6 bij de persistenties vermelde duur in maanden heeft intussen uitsluitend betrekking op de maanden van het goede teken. De langste L-persistenties, zijnde die van 27 en 25 maanden, zijn daarbij ononderbroken gebleven! De langste ononderbroken H-persistentie van 17 maanden, 1930/31, wordt overtroffen door 18 maanden voor 1936/37, gevormd door 4 + 9 + 5 H-maanden en door 32 maanden voor 1939/40/41, gevormd door 10 + 15 + 7 H-maanden.

Opmerkelijk is, dat het sprekende beeld van figuur 6 uitsluitend verkregen is door de kwalitatieve klassificatie der maanden en zonder enig acht te slaan op de getalswaarden der afvoeren. Deze klassificatie is streng doorgevoerd en maanden met slechts luttele m^3/sec. boven het gemiddelde werden als H, die slechts even onder het gemiddelde als L geklassificeerd.

Men zou in discussie kunnen brengen of deze strenge indeling niet met vrucht wat zou kunnen worden verzacht. Het is echter beter het verschijnsel der persistenties eerst te behandelen in deze strakke vorm. Het in de rekening betrekken van de numerieke waarde van de afvoeren roept trouwens problemen op, die bezwaarlijk hier tussendoor behandeld kunnen worden.

10. Enige bijzonderheden omtrent de persistenties

In tabel 5 zijn enige getalswaarden vermeld (1959 niet inbegrepen).

Tabel 5. Enige getalswaarden omtrent de persistenties (1919—1958)

aantal persistenties in 40 jaren	totaal aantal maanden	ingesloten van andere teken	gem. duur persistentie in mnd.	max. duur persistentie in mnd.	alle maanden L of H	percentage maanden in persistentie
H 7	110	7	16	32	213	52
L 10	183	13	18	27	267	69
	293				480	61

Uit tabel 5 blijkt, dat in 40 jaar 293 maanden tot persistenties behoren. Dat is 61% van het totaal aantal maanden. Het afvoerpatroon wordt dus door de persistenties beheerst. *Rond tweederde gedeelte van de tijd is de rivier in een toestand van persistentie.* Dit houdt in, dat de afvoer van de rivier, behalve door de acute neerslag, de temperatuur en de tijd in het seizoen, in hoge mate wordt beheerst door zijn *voorgeschiedenis.*

Voor de L-maanden geldt zelfs, dat 69% daarvan behoort tot persistenties, tegenover 52% voor de H-maanden. De neiging om te volharden in lage afvoertoestand is dus merkbaar groter dan de neiging om in een hoge afvoertoestand te volharden. In overeenstemming hiermede is, dat het aantal H-persistenties (7) belangrijk kleiner is dan het aantal L-persistenties (10) en dat de gemidelde duur ervan met 16 maanden ook korter is dan de gemiddelde duur van de L-persistenties met 18 maanden.

In de vorm als hier gedefinieerd hebben de persistenties niets van doen met de gewone jaarcyclus. *Zij zetten hun bestaan onbelemmerd voort over alle seizoenen.* Zoals reeds met tabel 3 werd aangetoond, hebben ook alle kalendermaanden evenveel kans om tot een of andere persistentie te behoren.

Opmerkelijk is voorts, dat alle 10 persistenties plus 1959 hun aanvang hebben gehad in het tweede halfjaar. De directe seizoensinvloed, bestaande in lage afvoeren en lage grondwaterstanden, kan hier nauwelijks als verklaring dienen, omdat hiermede al volledig rekening is gehouden in de middenwaarden waarnaar het kriterium H of L is aangelegd. Ook blijft in het onzekere of de verklaring moet worden gezocht in zomer of najaar, dan wel in de daarop aansluitende winter. Het begin van de H-persistenties valt niet, als men nu zou kunnen verwachten, in het voorjaar, maar verspreid over het gehele jaar. Ook de einden van alle persistenties komen gelijkelijk voor in alle maanden. Men mag dus ook de mogelijkheid niet uitsluiten, dat alle L-persistenties hun aanvang hadden in het tweede halfjaar als gevolg van een steekproefeffect.

Figuur 6 toont een opmerkelijke onregelmatigheid in het voorkomen van H-persistenties en wel:
over de 20 jaar van 1922—1941: 6 persistenties omvattende 101 maanden
over de 18 jaar van 1942—1959: 1 persistentie omvattende 9 maanden
Dit illustreert overduidelijk de grilligheid, waarmede persistenties wel of ook niet optreden. Gelijktijdig vertonen de L-persistenties een vrij regelmatige verdeling. Het is gemakkelijk na te gaan, dat er zowel bij de H- als bij de L-persistenties *geen schijn is van periodiciteit.*

Dit geldt ook voor de zonnevlekkencyclus van ongeveer 11 jaar. Hoewel sommige auteurs als OESTERHAUS (lit. 1) hebben gewezen op de samenhang

der afvoeren met de zonnevlekken, moet deze samenhang toch — zoal aanwezig — van ondergeschikte betekenis worden geacht voor het optreden van persistenties.

Men merke ook op, dat er geen sprake van is, dat H-persistenties worden opgevolgd door L-persistenties of omgekeerd. Noemen wij de elkaar afwisselende groepjes van 1 tot 5 maanden „onbestendig" of O dan worden voor het tijdvak 1919 t/m 1943 de navolgende opvolgingen geconstateerd:

van H	van L	van O
naar L 3 ×	naar H 2 ×	naar H 4 ×
naar O 3 ×	naar O 3 ×	naar L 3 ×

Het tijdvak 1944-1959 is buiten beschouwing gelaten, omdat het afwezig zijn van H-persistenties dit overzicht vertroebelt. Uit het staatje blijkt duidelijk, dat hier alle combinaties gelijkelijk voorkomen. D.w.z. hier heerst het toeval.

In tabel 5 werd vermeld, dat 293 maanden toevielen aan de persistenties. De overige 187 maanden of 39% van de tijd valt in perioden van *onbestendigheid.* In het tijdvak 1919-1958 zijn er 12 zulke perioden gekarakteriseerd door de volgende waarden:

aantal in 40 jaar	12
totaal aantal maanden	187
gemiddelde duur per periode in maanden	16
minimum aantal maanden per periode	3
maximum aantal maanden onbestendigheid achtereen (1951/1952)	26

Vergelijken wij deze waarden met die der persistenties, dan blijkt dat deze dicht bij elkaar liggen. Van nature is daar uiteraard geen reden voor. Het is slechts het toevallige resultaat van het aanleggen van een grens van 6 maanden voor de persistenties.

11. Oorzaken der persistenties

Wij moeten hier onderscheid maken tussen de structurele oorzaken en de aanleidende oorzaken.

Inzake de *structurele* oorzaken is in het voorgaande al aangetoond, dat deze niet zijn gelegen in de neerslagen maar in de rivier zelf.

Bekend is, dat slechts een fractie van de neerslag tot afstroming komt; een grote fractie in de winter, een kleine in de zomer. De temperatuur heeft een overwegende invloed op de grootte van deze fractie.

De fractie, die tot afstroming komt, valt uiteen in twee delen: één deel formeert de direct zichtbare afvoergolf, hier verder *acute afvoer* genoemd, en een ander deel, dat via het grondwater, berging in meren of in sneeuw-

pakket tot vertraagde afstroming komt. Dit deel van de afvoer wordt aangeduid met het begrip *uitgestelde afvoer.* Een scherpe scheiding tussen acute afvoer en uitgestelde afvoer behoeft thans niet gegeven te worden.

Wat betreft de tijd waarin een bepaald kwantum neerslag, dat aan het grondwater, meren, sneeuwpakket wordt toegevoerd, tot uitgestelde afstroming komt, gaat het waarschijnlijk eerder om halfjaren dan om maanden. Wat betreft de grootte van de uitgestelde afvoer in verhouding tot de acute, deze is in geen geval klein. Eerder half om half en vaak groter, zij het sterk wisselend met de afvoertoestand zelf.

De werkelijke afvoer op een gegeven moment bestaat dus uit de uit actuele neerslag, temperatuur en jaargetij resulterende acute afvoergolf plus de uitgestelde afvoer vanuit het grondwater, de meren en het sneeuwpakket.

Aangezien er uiteraard een sterke correlatie bestaan moet tussen de acute afvoer en de uitgestelde afvoer, moet er ook een correlatie verwacht worden tussen de vroegere afvoer van een rivier en de huidige; autocorrelatie dus. Inderdaad is deze duidelijk en kwantitatief aantoonbaar. Het is niet de bedoeling om thans reeds nader hierop in te gaan. Wel is het duidelijk, dat hiermede een grondoorzaak van de persistenties is aangegeven.

Is er in de voorafgaande maanden een afvoerplus geweest met een daarbij behorende opvulling van grondwatervoorraad en meren, dan geeft dit overvulde *grondwater* nog maanden nadien extra afvoer. Bij overigens gelijke omstandigheden wordt de momentele afvoer uit dien hoofde dus ook bovennormaal. Het omgekeerde geldt voor afvoertekorten in voorafgaande maanden. Daar komt nog bij, dat een reeds lage afvoer impliceert, dat een groter deel van de nieuwe neerslagen blijft hangen en tot verdamping kan komen. De rivier blijft maar zakken, ook als de regenmeters reeds niet onaanzienlijke neerslagen aangeven. De grondwatervoorraad wordt dus gaandeweg verder uitgeput en zelfs bovennormale neerslagen zijn niet in staat om dit tekort snel op te heffen. De L-persistentie zet zich dus door, al komen er ook maanden met bovennormale neerslagen tussendoor.

De persistentie brengt het feit tot uitdrukking, dat een over zekere tijd geïntegreerd neerslagtekort of neerslagsurplus en de temperatuur een zodanige invloed hebben op de berging in het grondwater, dat de rivier-afvoer daardoor vele maanden soms zelfs jaren lang hetzij boven, hetzij beneden normaal blijft.

Aangezien de kans op bovennormale neerslagen kleiner is dan 50%, is de kans op voortzetting van een persistentie altijd groter dan 50%, hetgeen in par. 12 nader met cijfers zal worden toegelicht. Toch krijgt de persistentie daardoor niet een eeuwigdurend bestaan. Naarmate namelijk de tijd voortschrijdt komen er met zekerheid individuele maanden of groepen van opeen-

volgende maanden met een zodanig overschot of tekort, dat aan de persistentie een einde wordt gemaakt. Dat tijdstip is echter, naar de hier ontwikkelde beschouwingswijze, een kwestie van louter toeval.

Onder de structurele oorzaken van de persistenties komt ook het *sneeuwpakket* voor. Uiteraard is dit niet de op de Duitse gebergten gevallen sneeuw. Deze komt steeds onmiddellijk aan het einde van de winter volledig tot afsmelten. De sneeuw van het Zwitserse hooggebergte echter heeft voor het afsmelten een aanzienlijk langere tijd nodig. Tot op zekere hoogte komt de neerslag van de wintermaanden dus tot vertraagde afstroming en in dat opzicht is er grote overeenstemming tussen grondwater en sneeuwpakket.

Een kenmerkend verschil tussen sneeuwvoorraad en grondwater is, dat de sneeuwvoorraad op volstrekt uniforme wijze fluctueert over de jaarcyclus. Steeds opnieuw is er formering in de winter, sterke afsmelting in de lente en vertraagde afsmelting van de restanten in de zomer. Een pluswaarde ligt op precies dezelfde wijze vast in de jaarcyclus als een minwaarde. De variaties in de grondwatervoorraad hebben een principieel ander karakter. Pluswaarden en minwaarden manifesteren zich volkomen onafhankelijk van het jaargetijde. Men kan evengoed een relatief droge winter hebben als een relatief natte zomer.

Indien men nu de hoofdoorzaak van lage zomer- en najaarsafvoeren zou moeten zoeken in een klein sneeuwpakket en hoge zomer- en najaarsafvoeren in een groot sneeuwpakket, dan zou men in figuur 5 duidelijk moeten zien, dat zowel H- als L-persistenties overwegend hun beginpunt vinden in winter of voorjaar en hun einde steeds in het najaar. Men kan echter in figuur 5 niet de minste aanwijzing daarvoor vinden. Als al eerder opgemerkt, ligt het beginpunt van de H-persistenties gelijkmatig verdeeld over het jaar, evenals het einde van zowel H- als L-persistenties. De L-persistenties begonnen in het tijdvak 1919-1958 alle in het tweede halfjaar. Ook al zou men hier een steekproefeffect in moeten zien, dan toch is het juist tegengesteld aan het effect, dat zou moeten optreden, indien de L-persistenties hun oorzaak zouden vinden in geringe sneeuwval.

Ook het feit, dat alle maanden gelijkelijk deelhebben aan de persistenties en dat de duur van de persistenties een uitgesproken karakter van wisselvalligheid vertoont en er zelfs duren van twee tot drie jaren voorkomen, wijst er onmiskenbaar op, dat de sneeuwpakketten beslist geen overwegende invloed hebben op het verschijnsel der persistenties. Veeleer is deze invloed uitgesproken bijkomstig of zelfs afwezig.

Wij zullen dus de aanwezigheid van een dik sneeuwpakket aan het begin van de lente moeten zien als een oorzaak van wat grotere voorjaars- en

zomerafvoeren, in het niet zinkend ten opzichte van de geïntegreerde variaties in neerslagen en temperaturen.

Ook ten aanzien van de betekenis van de *meren* mag men zich geen overdreven voorstelling maken. Volgens tabel 1 geven de L-maanden over het zomerhalfjaar een afvoer van gemiddeld 1473 m^3/sec tegenover een normaalwaarde van 1935 m^3/sec. De L-maanden hebben dus een afvoertekort van gemideld 462 m^3/sec. Volgens par. 9 treden „bekende droge jaren" eerst op als de L-persistentie reeds 9 à 12 maanden duurt. Over 10 maanden tijd is dan het afvoertekort reeds opgelopen tot:

$$462 \text{ m}^3/\text{sec} \times 86400 \text{ sec/d} \times 30 \text{ d/mnd} \times 10 \text{ mnd} = 1{,}2.10^{10} \text{ m}^3.$$

De oppervlakte der meren, opgenomen in de loop van de Rijn, is 1219 km^2. Een schijf water van 1 m, zijnde het gewogen gemiddelde van de jaarlijkse normale niveau amplitude, geeft $1{,}2.10^9$ m^3. Deze hoeveelheid zou dus het afvoertekort kunnen compenseren voor slechts 10% of 1 maand. Uit deze cijfers moge blijken dat de bergingscapaciteit der Zwitserse meren voor de persistenties slechts bijkomstige betekenis heeft. Men kan vrijwel evengoed rekenen dat die meren er niet zijn.

Er blijft dus als enig overblijvende structurele oorzaak der persistenties de bergingscapaciteit van de grond, dus de vereffenende, integrerende en vertragende werking van het grondwater.

Wat betreft de *aanleidende* oorzaak tot het optreden van persistenties kunnen worden aangegeven:

1e. toevallig optredende groepen N- of D-maanden;
2e. een over langere tijd geïntegreerd ondernormale of bovennormale neerslag;
3e. een over langere tijd geïntegreerde ondernormale of bovennormale verdamping.

Het is nog niet gelukt om in de weersgegevens een kriterium te vinden, waaruit het optreden van persistenties a priori zou kunnen worden afgeleid. Wel blijkt omgekeerd, dat de persistenties een criterium kunnen leveren om het weer over vele maanden aaneen te beschrijven en vanuit een bepaalde gezichtshoek te bezien.

12. De persistentie als medebepalende factor van de komende afvoeren

Aangetoond werd, dat de persistenties uitdrukking geven aan de eigenschap van de rivier, in een eenmaal ingetreden afwijking ten opzichte van

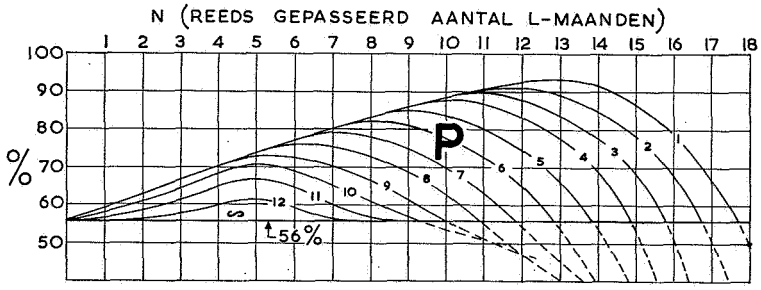


FIG. 7. Waarschijnlijkheid in %, dat de maand P na heden een maand van „lage" afvoeren zal zijn. Deze kans is afhankelijk van het aantal maanden N dat de afvoer reeds „laag" is.

FIG. 7. *Probability in %, that the month P after the present one will be of the type „low". This chance increases if the discharge was already low during some months (N).*

FIG. 7. *La probabilité en %, qu'un mois P à partir d'aujourd'hui sera en dessous de la moyenne. Cette chance augmente avec le nombre de mois secs écoulés (N).*

de gemiddelde afvoer te volharden. Is de afvoer thans hoger dan het gemiddelde, dan zullen ook de komende afvoeren waarschijnlijk hoger zijn dan normaal. Is de afvoer thans lager, dan zullen ook de komende afvoeren waarschijnlijk lager zijn dan normaal. Wij zullen nu nagaan, welke waarde deze regel voor de praktijk kan hebben.

Voor dat doel is statistisch de kans bepaald op het in de komende maanden voorkomen van lage afvoeren, indien de afvoer op dit moment laag is. Het resultaat is neergelegd in fig. 7. Er zijn twee veranderlijken ingevoerd, namelijk de grootheid N, aangevende het aantal maanden dat de maandgemiddelden reeds in de toestand L verkeren: horizontale as, en het rangnummer P, aangevende voor welke maand in de toekomst wij de kans op een L-maand willen bepalen.

Verticaal wordt de trefkans in % afgelezen. De horizontale lijn ter hoogte 56% markeert de blinde trefkans op een maand L uit hoofde van het feit, dat er 56% L-maanden zijn tegen 44% H-maanden. De bundel lijnen geeft voor $P = 1$ tot $P = 12$ de kansen op een L-maand, indien de afvoer reeds N maanden in de L-toestand verkeert. Naar men ziet, liggen de trefkansen aanzienlijk hoger dan de blinde 56%.

Alle lijnen hebben links hun beginpunt op de hoogte 56%. Zodra echter de afvoer zich als „laag" heeft getoond en 1 L-maand is gepasseerd, zijn voor alle waarden van P de trefkansen op L een weinig gestegen. Naarmate meer L-maanden zijn gepasseerd, nemen de kansen toe om ook voor de eerstvolgende en voor verderaf gelegen maanden in de toekomst een lage afvoer te treffen. Alleen voor zeer veraf gelegen maanden ($P = \infty$) blijft de trefkans constant 56%.

Alle krommen bereiken een maximum. Dit is gelegen bij lager waarden van N, naarmate P een hoger nummer heeft. Dat maximum is voor alle krommen $P = 1$ tot $P = 9$ gelegen bij $N = 14 - P$. Dat wil zeggen dat men een maximum trefkans vindt op een L-maand, indien deze de 14e is van de aanvang van de persistentie af.

Deze maximum trefkans is voor $P = 1$, dus voor de eerstvolgende maand, het zeer hoge bedrag 93%. Dat is al bijna zekerheid. Men kent dit terdege uit ervaring. Wanneer de rivier reeds maandenlang laag is en men reikhalzend uitziet naar meer water, is bijna altijd de nieuwe maand wederom laag. De „93%" doet zich geducht gelden. Naarmate P groter wordt genomen, neemt de tophoogte van de krommen af. Dit is ook logisch. De kansen op L in verder in de toekomst gelegen maanden kunnen niet anders dan lager zijn.

Alle lijnen buigen rechts van hun maximum waarde naar omlaag. Dit verdient nadere toelichting. Voor de lijn $P = 1$ bijvoorbeeld ligt de maximale trefkans van 93% bij $N = 13$, dus als de persistentie reeds 13 maanden oud is. Zou hij echter al 16 maanden oud zijn, dan is de kans op nog laag zijn van de eerstvolgende maand afgenomen tot 80%. En is de persistentie reeds 18 maanden oud, dan is die kans juist 50%, hetgeen wil zeggen dat dan de kans op afbreken van de persistentie even groot is als op voortzetting ervan. Dit klopt precies met tabel 5, waarin werd vermeld dat de gemiddelde duur der persistenties 18 maanden is.

Voorbij het punt 50% bij 18 maanden duikt de lijn $P = 1$ scherp omlaag, om bij $N = 25$ à 27 à 32 asymptotisch naar de 0% om te buigen. Dat wil zeggen, dat de kans op voortzetting van de persistentie tot voorbij de tot nu toe gemeten maxima zeer gering is en tot nul nadert.

Naarmate echter P groter is neemt de kans toe, dat na beëindiging van de persistentie de afvoer weer opnieuw in de lage toestand komt. De figuren 5 en 6 geven daar verschillende voorbeelden van te zien. Daardoor zullen de lijnen voor $P = 2$, 3, 4 enz. nog wel, althans aanvankelijk, scherp naar beneden duiken, maar naarmate P groter wordt neemt de kans toe op hernieuwd laag zijn van de afvoer. De lijn duikt dan niet meer geheel tot de nullijn.

Het beloop der lijnen beneden de horizontaal van 56% zal niet verder worden besproken, daar dit voor het hier gestelde doel niet nodig is. De structuur van de figuur is voldoende toegelicht om thans tot enige algemene gezichtspunten te kunnen besluiten. Dat zijn:

1e. Het momenteel laag zijn van de afvoer is een zeer bruikbare indicatie voor het opstellen van een verwachting. Het voorschrift kan eenvoudig luiden: Staat geen enkele andere indicatie ter beschikking dan doet men

het beste met voor de eerstvolgende maanden te rekenen op de afvoertoestand die men nu heeft.

2e. Met 1 of 2 maanden is de indicatie nog zeer zwak, met drie al beter en met 4 of 5 heeft men een goede grondslag. Men kan dan scores bereiken van 75% of meer, zodat men op 4 voorspellingen er 3 goed heeft.

3e. De beste resultaten zullen optreden bij de eerste en tweede maand. Men kan echter tot wel de 6e of 8e maand na dato in het vizier nemen met trefkansen boven 75%. De gunstigste toestand doet zich ongeveer voor indien men 1/2 jaar terug kan zien en 1/2 jaar vooruit wil zien.

4e. Men moet in geen geval verder willen zien dan tot de 18e maand na het begin van een persistentie. Voorbij de 18e maand wordt de kans op beeindiging groter dan op voortzetting.

13. Toetsing van de besproken voorspellingsmogelijkheid

Indien de hier ontwikkelde inzichten ter beschikking hadden gestaan, dan zouden pogingen om tijdig perioden van lage afvoeren aan te kondigen voor het tijdvak 1919-1959 een resultaat hebben opgeleverd als beschreven in tabel 6. Als beslissingscriterium voor het aankondigen van een persistentie is genomen het gepasseerd zijn van 5 L-maanden. De aankondiging wordt gegeven op 1 februari of zo spoedig mogelijk daarna. De verwachting wordt geacht van toepassing te zijn op de maanden juli, augustus, september, oktober en november daaropvolgend. Het gaat hier om de bekende 8 droge jaren.

Tabel 6. Verwachtingen, opgesteld voor 8 droge jaren op grond van 5 L-maanden

jaar	verwachting gesteld op	persist. duurt reeds	verwachting	voorgekomen afvoertoestand juli	aug.	sept.	okt.	nov.	verkeerd	goed	gemist
1	2		4	5	6	7	8	9	10	11	12
1921	1 mrt	5 mnd L	L	L	L	L	L	L		5	
1929	1 mei	14 mnd L	L	L	L	L	L	L		5	
1934	1 febr.	12 mnd L	L	L	L	L	L	L		5	
1943	1 febr.	7 mnd L	L	L	L	L	L	L		5	
1947	1 mrt	5 mnd L	(L)*	L	L	L	L	L			5
1949	1 mrt	5 mnd L	L	L	L	L	L	L		5	
1953	1 juni	5 mnd L	L	H	L	L	L	L	1	4	
1959	1 juli	5 mnd L	L	L	L	L	L	L		5	
									1	34	5

* 1 april ingetrokken

Kolom 2 geeft aan wanneer de verwachting kon worden uitgegeven en de volgende kolom geeft de duur van de persistentie op het moment van de voorspelling. In kolom 4 is de verwachting vermeld en de kolommen 5 t/m 9 geven de uitkomsten ontleend aan figuur 5. Men ziet, dat de overeenstemming tussen verwachting en uitkomst bijzonder goed is. Een overzicht van het resultaat is vermeld in de kolommen 10, 11 en 12. In kolom 11 het aantal goed voorspelde maanden, in totaal 34, in kolom 10 de verkeerd voorspelde namelijk 1, en in de kolom 12 de gemiste, zijnde 5.

Gemist is alleen het lage najaar van 1947. Verondersteld is namelijk, dat de H-maanden van maart en april van dat jaar aanleiding zouden hebben gegeven de aanvankelijke L-verwachting van 1 februari in te trekken. In 1947 was daar misschien anders over geoordeeld en zou het in rekening brengen van verdere criteria aanleiding hebben kunnen geven de verwachting van 1 februari te handhaven.

Ook aan het tot een einde komen der persistenties dient enige aandacht te worden besteed. Volgens par. 10 is de gemiddelde duur van de L-persistentie 18 maanden. Zou dus op de te voorspellen datum een reeds lopende persistentie deze gemiddelde waarde al bijna hebben bereikt of overschreden, dan is beëindiging meer waarschijnlijk dan voortzetting. In het tijdvak 1919-1958 komen wij 6 maal zo'n geval tegen (tabel 7).

Tabel 7. Verwachtingen, opgesteld voor 6 jaren ten aanzien van de beëindiging van de lopende persistentie

jaar	verwachting gesteld op	persistentie zou op 1 juli oud zijn	einde van de persistentie gekomen op
1	2	3	4
1922	1 febr.	23 mnd L	1 mrt
1930	1 febr.	28 mnd L	1 mei
1935	1 febr.	29 mnd L	1 febr.
1944	1 febr.	24 mnd L	1 okt.
1948	1 febr.	17 mnd L	1 juli
1950	1 febr.	22 mnd L	1 nov.

De verwachting moet in deze gevallen luiden „einde". De uitkomsten zijn in kolom 4 gegeven, waaruit blijkt, dat het einde van de op 1 februari nog lopende persistentie in 4 gevallen is gekomen vóór of op 1 juli en in 2 gevallen vóór het einde van de 5 maanden (juli-november), waarop onze aandacht is gericht.

In verband met dit praktijkvoorbeeld kan het goed zijn nog even terug te komen op de trefkansen volgens figuur 7. De trefkansen op een L-maand hadden in deze figuur steeds betrekking op de individuele maand. Bij een trefkans van 80% kan men dus verwachten, dat er op 5 voorspelde maanden 4 goed en 1 fout zijn maar ook 4 in zijn geheel goed en 1 in zijn geheel fout. Voor de 13 jaren, waarin men in de periode 1919-1958 verwachtingen zou hebben gesteld voor L, blijken er tenslotte 50 L- en 15 H-maanden te zijn opgetreden. Dit is een rendement van $\frac{50}{50 + 15} = 77\%$, hetgeen in overeenstemming is met de volgens figuur 7 te verwachten trefkansen.

14. Enige andere hydrologische gezichtspunten

Doordat in de paragrafen 12 en 13 uitvoerig aandacht is geschonken aan het voorspellingsaspect, zou de indruk kunnen postvatten, dat de betekenis van de persistenties in dit aspect zou culmineren. Dit is nu bepaald niet het geval. De persistenties hebben stellig een meer algemene en fundamentele betekenis.

Wanneer men correlatieberekeningen opzet tussen afvoer en neerslag of tussen afvoer, temperatuur en neerslag en vooral correlatieberekeningen tussen huidige afvoeren en vroegere neerslagen, afvoeren of temperaturen, en men houdt daarbij geen rekening met het feit, dat toevallige meteorologische tijdsvakken van droogte of natheid over luttele maanden door de rivier worden uitgedijd tot persistenties over vele maanden, dan worden zeer sterke correlaties gevonden. Al deze correlaties hebben de schijn van bewijs de gezochte relatie op te leveren, maar het gevaar is niet denkbeeldig, dat de berekening in wezen geen bewijs oplevert maar autocorrelaties.

Zo werden bijvoorbeeld in een poging om de Rijnafvoer te Rheinfelden te correleren met metingen omtrent het sneeuwpakket sterke correlaties gevonden. Schijnbaar was de gezochte relatie reëel aanwezig. Hieraan zou men het vertrouwen kunnen ontlenen aan het uitgeven van verwachtingen op grond van sneeuwpakket in het hooggebergte. Veel sneeuw: hoge afvoeren, weinig sneeuw: lage afvoeren.

Toen echter dezelfde afvoeren te Rheinfelden werden gecorreleerd met de afvoeren, die optraden in de maanden dat de neerslagen werden gemeten, werden precies dezelfde correlaties gevonden. Hiermede verloor de sneeuwhypothese reeds aan zekerheid.

Een volgende stap was het correleren van de afvoer te Lobith met de afvoeren te Lobith van 6, 5, 4, 3, 2, 1 maand tevoren. Wederom werden corre-

laties gevonden, nauwkeurig gelijk aan die der eerstgenoemde berekeningen.

Een laatste stap was het correleren van de toename van de Rijnafvoer tussen Rheinfelden en Lobith van nu met die van 6, 5, 4, 3, 2, 1 maand tevoren. Hoewel hier de gehele Zwitserse afvoer geen rol meer speelde, werden wederom dezelfde correlaties gevonden. Hiermede werd het bewijs geleverd, dat men ook zonder sneeuw een samenhang kan aantonen, welker bestaan éérst als karakteristiek voor de betekenis van een sneeuwpakket werd gezien. In de eerder genoemde gevallen vindt men steeds weer de autocorrelatie van de persistenties.

De persistenties te kennen zal dus ertoe kunnen bijdragen het gehele samenspel in een ander licht te bezien en men zal goed doen eerst een onderzoek naar persistenties in te stellen alvorens over correlaties te spreken.

SAMENVATTING

In deze studie wordt aangetoond, dat de rivierafvoer de neiging heeft tot bestendiging van hetzij hoge afvoertoestanden, hetzij lage. Daardoor ontstaan „persistenties" die vele maanden, soms tot enkele jaren toe, kunnen aanhouden. Deze persistenties zijn een belangrijk aspect van het verloop van de afvoer over langere tijd en bieden een mogelijkheid, vaak vele maanden tevoren, een verhoogde kans op lage afvoeren aan te kondigen.

LITERATUUR

1. OESTERHAUS, M. Mehrjährige periodische Schwankungen des Abfluszmengen des Rheins bei Basel, 1946.

2. STEINHÄUSZER, H. Über Serien trockener und nasser Jahre. *Wetter und Leben, Zeitschrift für Praktische Bioklimatologie,* oktober 1948.

3. WEMELSFELDER, P. J. Daily stage-forecastings of the Rhine. XVIIIth International Navigation Congres, S.I-Q 1c, Rome 1953.

4. KÄLIN, A. Application de tests statistiques à la prévision d'apports globaux à l'aide de regressions - Assemblée Générale de Toronto sept. 1957 tome III, Eaux de surface prévision évaporation.

5. SCHARRINGA, M. en LEVERT, C. Over beweerde wetmatigheden in het optreden van warme of droge zomers en een beschouwing over de voorspelling van Baur. *Hemel en Dampkring, 12,* 1957.

DISCUSSIE

Dr. L. J. L. DEY: Spreker heeft betoogd, dat de voorspelling van rivierafvoeren op grond van autocorrelatie met de rivierafvoer zelf tot betere resultaten zou leiden dan op grond van correlaties met de neerslag. Kan dit ook verband houden met het feit, dat niet met de verdamping werd rekening gehouden? Vermoedelijk zou correlatie met het verschil neerslag-verdamping tot beter resultaat leiden.

ANTWOORD: Inderdaad voert het in rekening brengen van de temperatuur tot aanmerkelijk betere correlaties. Doch voor het gestelde doel, de grootte van de afvoer over x maanden, staan noch neerslagen, noch temperaturen ter beschikking. Er is dus in het geheel geen voorspelling mogelijk op deze basis. De momentele afvoertoestand kennen wij echter wel en ik heb aangetoond, dat deze in aanzienlijke mate medebepalend is voor de afvoer over x maanden, zodat daarvan voor het stellen van een verwachting wel gebruik kan worden gemaakt.

Dr. A. A. THIADENS: Spreker wees op de invloed van het grondwater als oorzaak van de persistenties. Kent spreker onderzoekingen betreffende de kwaliteit en kwantiteit van de grondwaters? In Duitsland wordt, meen ik, daaraan gewerkt.

ANTWOORD: Zouden wij moeten werken met een soort inventarisatie van het grondwater zoals zich dat in de verschillende bekkens en stroomgebieden voordoet, dan was het einde niet meer te zien. Reeds uit het uiteengezette is echter gebleken, dat de rivier zelf een prima integrator is. De persistenties zijn er een gevolg van, met als directe oorzaak de momentele afvoer zelf. Ik hoop later in de gelegenheid te zijn te wijzen op een mogelijkheid om als het ware elke momentele afvoer te splitsen in een acute afvoer en een uitgestelde afvoer. Die laatste is dan het gesommeerde gevolg van de grondwatertoestand van het gehele stroomgebied. Of bijzondere chemische componenten ons nog aanvullende inlichtingen zullen kunnen verschaffen, zal moeten worden afgewacht.

Ir. W. C. VISSER: Waarom wordt bij de correlatieve voorspelling de waarde van de prognose afhankelijk gesteld van de fysische betekenis? Een correlatie mag men zien als een feit dat door de fysische grondslagen verklaard kan worden, maar niet veranderd. Moet men bij een correlatie niet veel meer letten op de hoogte van de correlatiecoëfficiënt dan op het al of niet gelukken in de relatie enig hydrologisch model te zien?

ANTWOORD: Een verklaring is bepaald niet een soort toegift, die aan het wezen van een sterke correlatie niets zou toe- of afdoen. Principieel moet immers eerst worden onderkend of een correlatie duidt op een causale of op een simultane relatie. Een simultane relatie b.v. is het bezoek aan een zwembad in Groningen en het aantal zeebaden genomen te Scheveningen. Beide zullen min of meer op overeenkomstige wijze afhankelijk zijn van het weer, van de dag van de week e.d., en de desbetreffende getallen zullen uit dien hoofde een sterke correlatie vertonen. Toch zijn beide in andere opzichten volslagen onafhankelijk van elkaar. Wanneer b.v. het Groningse bad een maand lang voor een verbouwing gesloten is, dan valt het bezoek terug op nul. Uiteraard is dit in Scheveningen in de desbetreffende maand niet het geval. Ook kan het baden in Scheveningen in de loop der jaren toenemen en tegelijk dit in Groningen afnemen, b.v. omdat er meer baden zijn gebouwd.
Een mooie correlatiecoëfficiënt, zelfs één van 100 %, leidt in al deze gevallen alleen maar op een dwaalspoor. Zo kan bij simultane relaties de correlatiecoëfficiënt 100 % zijn en de regressiecoëfficiënt met sprongen veranderen.
Zou men nu het standpunt huldigen, dat het fysisch inzicht weinig ter zake doet en de correlatiecoëfficiënt alleen beslissend is, dan zou men tot zeer onzinnige conclusies kunnen komen.
Moet men bij gewone causale correlaties reeds waakzaam en achterdochtig zijn, door het vaak daar tussendoor spelen van simultane correlaties met hun onverwachte afwijkingen is het zaak in de correlatiecoëfficiënt — vooral als deze hoog is — niet meer te zien dan een bijkomend illustratief, niet zelden misleidend element, dat in zichzelf geen enkele significantie heeft.

III. HET ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN DE WATERHUISHOUDING VAN HET IJSSELMEER

C. H. DE JONG

Dienst der Zuiderzeewerken

SUMMARY

INVESTIGATIONS IN BEHALF OF THE WATER MANAGEMENT OF THE IJSSELMEER

The enclosing in 1932 of the Zuiderzee, a large shallow estuary of the North Sea, created a fresh water lake, called (Large) IJsselmeer with an area of 3500 km² (fig. 1). Up to now 1000 km² (Noordoostpolder and Oostelijk Flevoland) of the enclosed area have been reclaimed; another reclamation of 1100 km² has been projected. The so called Small IJsselmeer with an area of 1200 km² is the most important of the remaining lakes.

The aim of the Zuiderzeeproject is not only reclamation but also improvement of the water management of the surrounding regions, with regard to drainage and supply of fresh water. This requires an appropriate lay-out of the IJsselmeer (e.g. size of the lake, desired level, dimensions of the discharging sluices).

Fig. 1 shows the importance of the lake for the drainage of the Netherlands. An area of 19500 km² discharges its surplus water completely or partly to the lake. Besides the lake receives more than a tenth of the discharge of the Rhine. Fig. 2 shows for each month in an average year the discharge to the Lake divided over various items. The excess water of the lake is discharged to the North Sea at low tide by means of sluices in the Enclosing Dam. For the drainage of the environment and for the safety of the embanked low-lying regions a low level of the lake is required. By northern to western winds little or no water can be carried off to the North Sea and the level will rise (fig. 3). In order to limit the increase the sluices in the Enclosing Dam and the lake must have a certain minimum size.

During droughts large amounts of water may be withdrawn from the lake in the struggle with salt intrusion, pollution and shortage of water. A good quality of the water with the content of chloride as criterium, as well as sufficient water are then required. Owing to the insufficient discharge to the lake during droughts, barrages have to be built in the Lower Rhine

(fig. 1) to enlarge the discharge of the IJssel to the lake. To be secured against temporary deficits water is stored on the lake in springtime, as fig. 4 schematically indicates.

So the efficiency of the water management of the IJsselmeer and its surroundings is judged by the level of the lake (drainage, water supply, safety), the discharge to the lake during droughts (water supply) and the quality of the water (water supply). The variations in these criteria not only depend on natural factors (rain, evaporation), but also on humanly influenced factors, e.g. the size of the lake, the dimensions of the sluices and the regulation of the level.

The influence of these factors on lake level and water quality can be calculated with the aid of the equations of continuity (2) and (9) for the volume of water and the content of chloride in the lake. These calculations are based on the observations and investigations with respect to the various items in the equations, which have been performed on the (Large) IJsselmeer in the years 1932-1959. By making changes in these items due to a future situation, the lake level and the content of chloride are calculated from period to period, assuming that the future situation would have been present in the years 1932—1959.

By performing these calculations for various sizes of the lake, various dimensions of the discharging sluices, various water supply and various regulations of the discharge of the IJssel, the most appropriate lay-out of the final Small IJsselmeer is to be determined.

The salt discharge to the IJsselmeer is mostly due to Rhine, seepage and locks.

In vast regions below the sea level (the polders) a lower phreatic table has to be maintained than in the environment. Hence, a groundwater flow to the polders exists in the underlying aquifer, having a thickness of more than 200 m. The surface layers mostly consisting of semi-permeable clay and peat, cannot prevent the seepage, which has to be pumped out of the polders, among others on the IJsselmeer. So, owing to the mostly brackish groundwater large amounts of salt come into the lake. In due time they will slowly diminish. The content of chloride of the groundwater has been determined with the aid of samples and of geo-electrical prospecting (lit. 6).

The amount of seepage water follows out of a geohydrological investigation. Many borings in depth varying from 25 m till 350 m give insight in the nature of the groundlayers. Measurements of the piezometric head in the water-bearing strata give information about the present flow of the groundwater, from which the permeability of the different layers is determined.

Based on the law of DARCY *theoretical solutions are known for some cases of permanent flow of groundwater to a polder. Shortly the not-permanent flow of groundwater due to the settlement of the semi-permeable clay- and peat-layers is investigated.*

The locks between the lake and the North Sea also are a source of salt intrusion.

The reduction of the salt intrusion in the lake will be investigated.

RÉSUMÉ

RECHERCHES CONCERNANT LE RÉGIME DE L'IJSSELMEER

En 1932 une digue de barrage a séparé une large golfe saline peu profonde, ie „Zuiderzee", de la Mer du Nord. Ainsi, en quelques années, un lac d'eau douce, appelé „Groot IJsselmeer" (grand lac), d'une superficie de 3500 km² a été formé. Dans ce lac quatre polders seront créés d'une superficie totale de 2100 km² dont deux (Noordoostpolder et Oostelijk Flevoland, superficie de 1000 km²) sont achevés. Parmi les surfaces d'eau qui seront conservées la plus importante sera le „Klein IJsselmeer" (petit lac) d'une superficie de 1200 km².

Les travaux du Zuiderzee ne sont pas seulement entrepris pour réclamer des terres arables mais également pour améliorer la situation hydrologique des environs. Ce dernier but sera réalisé par un aménagement efficace de l'IJsselmeer (e.a. superficie, niveau à maintenir, dimensions des écluses de chasse) vu ses fonctions; bassin d'écoulement, réservoir pour les eaux supplétives et voie d'eau pour la navigation.

L'importance du lac en ce qui concerne le drainage des Pays Bas résulte de la figure 1, montrant une superficie de 19500 km² evacuant ses eaux totalement ou partiellement vers l'IJsselmeer. En outre le lac reçoit par le fleuve IJssel plus d'un dixième du débit total du Rhin. La figure 2 montre les différents apports d'eau sur le lac par mois pendant une année moyenne. L'eau superflue du lac est évacuée vers la Mer du Nord par marée basse par les écluses de la Digue de Barrage. En hiver un niveau plus bas du lac est désiré pour permettre un meilleur drainage des environs et pour la sécurité des régions adjacentes, situées au dessous du niveau du lac et protégées par des digues. Des vents soufflant dans une direction entre l'ouest et le nord peuvent donner une obstruction prolongée de l'évacuation de l'eau par les écluses de chasse, causant un réhaussement du niveau du lac (voir fig. 3). Pour que ces réhaussements soient assez faibles les écluses de la Digue de Barrage et la superficie du lac doivent avoir des dimensions minimum.

Pendant des étés secs certaines régions du pays ont besoin de grandes quantités d' eau d'une bonne qualité contre l'intrusion de sel, l'encrassement et le desséchement, le critérium de la qualité étant la teneur en chlorure. Parce que l'apport d'eau pendant des périodes sèches n'est pas suffisant, le Nederrijn sera canalisé afin d'augmenter le débit de l'IJssel (voir fig. 1). Pour subvenir aux manques temporaires des réserves sont formés au printemps, comme indiqué schématiquement par la figure 4.

Les critériums pour l'efficacité du régime de l'ensemble de l'IJsselmeer et ses environs sont le niveau du lac (drainage, réserves, sécurité), l'apport d'eau en été (eaux supplétives) et la qualité de l'eau du lac (eaux supplétives). Ces critériums ne dépendent pas seulement des facteurs naturels (précipitation, évaporation), mais également des facteurs à influencer par l'homme, e.a. la superficie du lac, les dimensions des écluses et le règlement du niveau.

L'influence de ces facteurs sur les critériums peut être examinée par les équations de continuité (2) et (9) respectivement pour la quantité d'eau et la quantité de chlorure. Les valeurs des différentes termes de ces équations ont été déduites de celles, calculées d'après les observations du grand lac pendant la période 1932—1959. En adaptant les valeurs de ces termes aux conditions d'une certaine situation future on peut calculer la variation du niveau du lac et de la teneur en chlorure en fonction du temps pendant la période mentionnée.

En effectuant les calculs pour plusieurs valeurs de la superficie du lac, des dimensions des écluses de chasse, du niveau à maintenir et des eaux supplétives on arrive à déterminer l'aménagement le plus efficace du Petit Lac.

Les fournisseurs les plus importants de sel sont le Rhin, le sel provenant du sous-sol et le sel passant les écluses pendant les éclusages et par les fuites.

Le sel du sous-sol est apporté par les écoulements dûs à la différence maintenue entre le niveau de la mer et la nappe phréatique des vastes régions situées au dessous du niveau de la mer (les polders). Ces écoulements ont lieu dans une couche de sable de plus de 200 m d'épaisseur au centre des Pays Bas. Les couches supérieures qui sont peu perméables comme l'argile et la tourbe, n'empêchent guère les écoulements dans le sous-sol. L'eau de ces écoulements de certains polders est pompée vers le lac IJssel. La teneur en chlorure de cet eau, déterminée par l'examen des échantillons d'eau extraits sur place et par des mesures géo-électriques (litt. 6), est en général importante. En conséquence la quantité de sel arrivant au lac est considérable, bienque faiblement diminuante dans l'avenir.

La quantité d'eau des infiltrations est déterminée par une étude géohydrologique. Un grand nombre de forages d'une profondeur de 25 à 350 m a

permis de connaître la nature des couches du sous-sol. La mesure des potentiels de l'eau rencontrés au cours de ces couches dans ces forages permet la détermination du schéma des écoulements dans le sous-sol et ensuite la perméabilité des couches aquifères. Le problème de l'écoulement sousterrain permanent vers un polder a été résolu théoriquement pour certains cas schématisés admettant la loi de DARCY. *L'écoulement non-permanent dû à la compression des couches très peu perméables comme l'argile et la tourbe est étudié récemment.*

Une quantité de sel arrivant sur le lac par les écluses entre la Mer du Nord et le lac est considérable.

Des recherches pour diminuer la pénétration du sel sont en cours.

1. INLEIDING

De aard van het onderzoek ten behoeve van het IJsselmeer wordt uiteraard bepaald door de functies die het meer moet vervullen.

Zo moet het meer het overtollige water van de omgeving opvangen en doorvoeren naar de Waddenzee via de spuisluizen in de Afsluitdijk. Vooral in de wintermaanden vereist dit een laag streefpeil om de afwatering van de omgeving zoveel mogelijk te vergemakkelijken en om in perioden met gestremde lozing naar de Waddenzee over een ruime bergingsmogelijkheid te beschikken. Door het meer en de spuisluizen in de Afsluitdijk een bepaalde grootte te geven, kan het oplopen van de gemiddelde meerstand zodanig worden beperkt, dat de juist dan noodzakelijke afwatering van de omgeving niet wordt geschaad.

Naast deze taak van bergboezem komt steeds meer naar voren de functie van voorraadbassin voor de watervoorziening. De droge zomer 1959 heeft dit weer eens beklemtoond. Tot dusver is de watervoorziening voornamelijk beperkt gebleven tot de verstrekking van water aan Friesland, Groningen en Noordholland, zowel voor het doorspoelen ter bestrijding van de verzilting als voor het aanvullen ter handhaving van boezem- en polderpeilen. In de toekomst is evenwel een ontwikkeling mogelijk, waarbij ook zeer grote hoeveelheden water aan het IJsselmeer zullen worden onttrokken om droogtegevoelige gebieden in de zomermaanden van suppletiewater te voorzien.

Daar de watertoevoer naar het meer in droge zomers bij een aanzienlijk verbruik niet voldoende is, is het noodzakelijk in het voorjaar een voorraad op het meer te vormen, hetgeen uiteraard gepaard gaat met een verhoging van het meerpeil boven het voor de afwatering aan te houden winterpeil. Naarmate de waterbehoefte stijgt, zal de toevoer moeten worden vergroot — in dit verband wordt gedacht aan de kanalisatie van de Neder-Rijn met een vergrote afvoer van de IJssel — of de voorraad. Voor de watervoorzie-

ning is niet alleen van belang het meerpeil met de daaraan gekoppelde voorraad, maar ook de kwaliteit van het water. Ook met het oog op de watervoorziening is een zekere grootte van het meer gewenst, niet alleen in verband met de voorraadvorming, maar ook om variaties van aanvoer en verbruik te kunnen opvangen.

In de derde plaats is het meer een scheepvaartweg, hetgeen leidt tot een benedengrens voor het peil. Visserij en recreatie stellen eisen aan de kwaliteit van het water.

Voor de beoordeling of een meer met een bepaalde inrichting (grootte, capaciteit spuisluizen, peilregeling, plaats gemalen IJsselmeerpolders) aan de door de belangen van afwatering, watervoorziening, scheepvaart, visserij en recreatie gestelde eisen voldoet, zijn dus de volgende factoren maatgevend:

1. het gemiddelde meerpeil en zijn eventuele plaatselijke afwijkingen door windeffect;
2. de in de zomermaanden beschikbare hoeveelheden;
3. de kwaliteit van het water.

Deze factoren hangen onderling samen in de water- en zoutrekening, meestal genoemd water- en zoutbalans, met behulp waarvan het verloop van deze factoren in de tijd kan worden gevolgd.

Een goede waterhuishouding is uiteraard niet alleen van belang in de toekomstige definitieve toestand, maar ook in de bestaande toestand. Het beheer van het meer is hierop van de aanvang in 1932 af gericht geweest. Zonder kennis van wat zich op het IJsselmeer afspeelt is dit evenwel niet mogelijk. Direct na de afsluiting is dan ook begonnen met het verzamelen van een groot aantal gegevens van belang voor de waterhuishouding. In 2 wordt hiervan een opsomming gegeven, terwijl tevens wordt vermeld op welke wijze van deze gegevens gebruik wordt gemaakt bij het beheer van het bestaande meer. De in de voorgekomen toestanden verzamelde gegevens betreffende de waterhuishouding zijn voorts het uitgangsmateriaal voor het onderzoek van het toekomstig regime van het z.g. Kleine IJsselmeer (3 en 4).

2. Huidige waterhuishouding

Het meer heeft thans een oppervlakte van 2440 km^2 en een inhoud van 9 miljard m^3. De betekenis van het meer voor de afwatering van ons land blijkt uit figuur 1, waarin het gebied is aangegeven dat overtollig water loost op het meer. De totale oppervlakte van dit gebied is 19.500 km^2 verdeeld over 11.000 km^2 hoge gronden en 8500 km^2 polderland (incl. Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland). Gemiddeld loost het polderland voor de helft op het

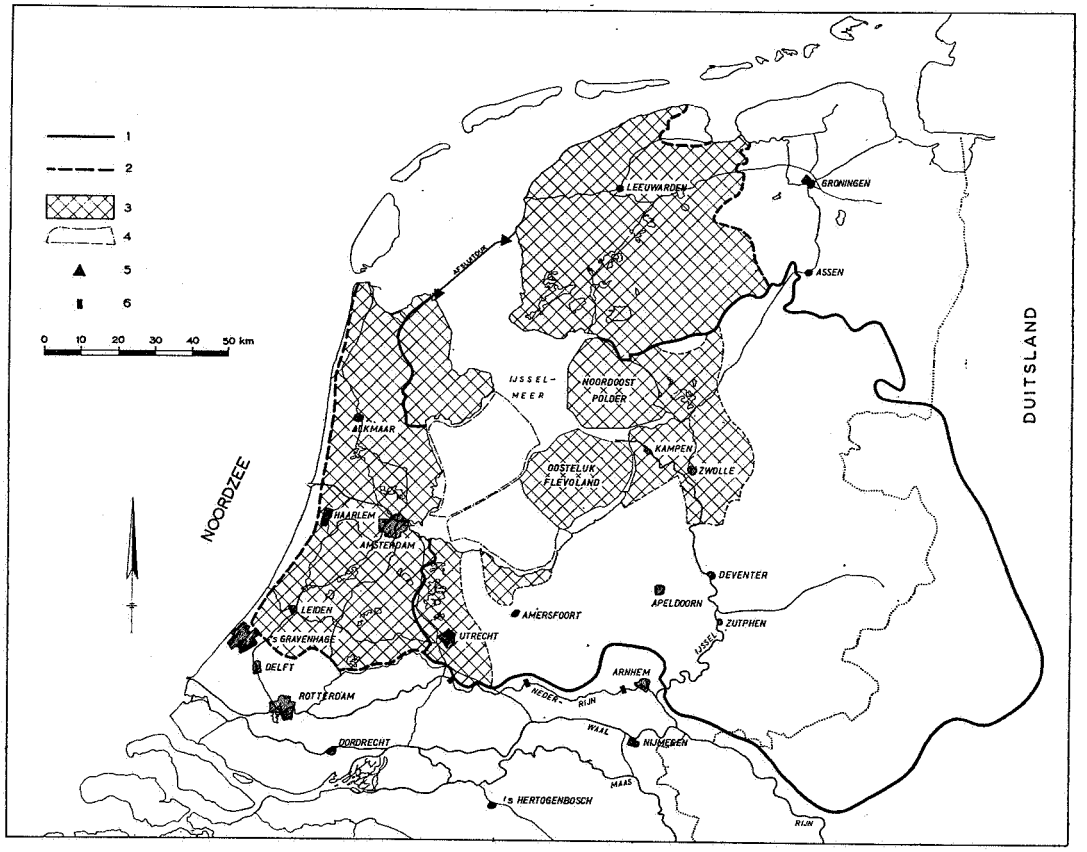


FIG. 1. Op het IJsselmeer afwaterende gebieden

FIG. 1. *Drainage area of the IJsselmeer*

FIG. 1. *Bassin versant de l'IJsselmeer*

1. begrenzing van gebied dat uitsluitend op het meer afwatert	*boundary of area only draining on the lake*	*limite de la région dont l'eau est totalement évacuée vers l'IJsselmeer*
2. begrenzing van gebied dat bovendien elders loost	*boundary of area also draining elsewhere*	*limite de la région dont l'eau est partiellement évacuée vers l'IJsselmeer*
3. polderland	*polder*	*région des polders*
4. geprojecteerde polders in het meer	*projected polders in the lake*	*polders projetés dans le lac*
5. spui- en schutsluizen in de Afsluitdijk	*discharging sluices and shipping locks in the Enclosing Dam*	*écluses de chasse et à sas de la Digue de Barrage*
6. stuwen in de Nederrijn	*barrages in the Lower Rhine*	*barrages dans le Nederrijn*

meer en voor de helft direct op de Noordzee, terwijl de afvoer van de aangegeven hoge gronden uitsluitend naar het meer plaatsvindt. Bovendien ontvangt het IJsselmeer langs de IJssel nog ruim een tiende deel van de aanvoer van de Rijn te Lobith.

In het winterseizoen, wanneer de afwatering het belangrijkste is, wordt uiteraard een zo laag mogelijk meerpeil gewenst. Op grond van vroegere onderzoekingen (LELY, MAZURE) wordt dan ook 's winters gestreefd naar een gemiddelde meerstand van 0,35 à 0,40 meter beneden N.A.P. De getijbeweging benoorden de Afsluitdijk, met een gemiddeld laagwater van 0,9 meter beneden N.A.P., maakt dit door natuurlijke lozing mogelijk. Twee complexen spuisluizen in de Afsluitdijk bij Den Oever en Kornwerderzand, met een gezamenlijk doorstroomprofiel van 1320 m^2 onder N.A.P., lozen tijdens laagwater het overtollige water van het IJsselmeer naar zee. Een lager meerpeil dan 0,40 m - N.A.P. is in het algemeen — gezien de buitenstanden — niet te handhaven, en zou o.a. ook moeilijkheden opleveren voor de scheepvaart over het betrekkelijk ondiepe meer.

In het voorjaar, meestal in april, wordt het meer op een 0,20 m hoger peil gebracht met behulp van de toevoer naar het meer, waarna gedurende het zomerseizoen gestreefd wordt naar een meerpeil van 0,15 à 0,20 meter beneden N.A.P. Het hogere zomerpeil vergemakkelijkt het inlaten door de omgeving, terwijl voorts boven het winterpeil een voorraad aanwezig is van 250 miljoen m^3 water voor die perioden dat de verdamping van en de wateronttrekking aan het meer samen groter zijn dan de toevoer. Een hoger zomerpeil is momenteel niet mogelijk met het oog op de afwatering op het meer tijdens perioden met veel neerslag in de zomer. Als de voorraad in het najaar nog niet is verbruikt, wordt hij afgevoerd door de spuisluizen in de Afsluitdijk. Dit geschiedt in het algemeen in oktober. De overgang van winter- naar zomerpeil, en omgekeerd, wordt vastgesteld in overleg met de belangrijkste waterafnemers: Friesland, Schermerboezem en Noordzeekanaal.

De verdeling van het waterbezwaar van het huidige meer over de maanden in een normaal jaar is weergegeven in figuur 2. Onder waterbezwaar wordt verstaan de netto toevoer naar het meer, d.i. de bruto totale toevoer verminderd met de verdamping van het meer. Tevens is in figuur 2 aangegeven hoe het waterbezwaar is samengesteld uit de belangrijkste posten van de waterbalans.

Daar de binnen- en de buitenwaterstanden aan de Afsluitdijk sterk afhankelijk zijn van de wind, kan de mogelijkheid van lozing via de spuisluizen in deze dijk bij westelijke tot noordelijke winden gedurende langere perioden aanzienlijk worden beperkt. Hierdoor kunnen vooral in de wintermaanden

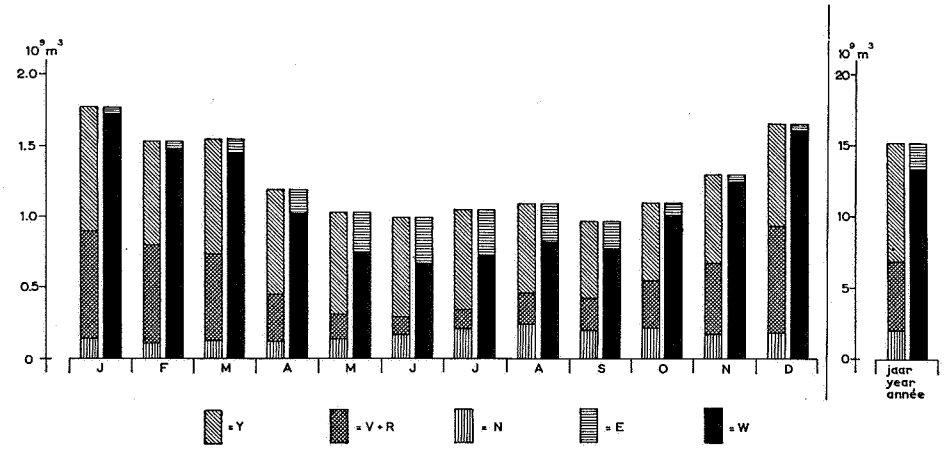


FIG. 2. Grootte per maand en jaartotaal in een gemiddeld jaar van het waterbezwaar W en van diverse posten in de waterbalans (2) voor een meer groot 3000 km²

FIG. 2. *Monthly and total values in an average year of the net discharge W and of various items in the equation (2) for a lake with an area of 3000 km²*

FIG. 2. *Valeurs de l'apport W et des contribuants divers du bilan d'eau par mois en le total d'une année moyenne pour un lac d'une superficie de 3000 km²*

Y, $V + R$, N, S, W (zie notatie, p. 89) | *(see notation p. 89)* | *(voir notation, p. 89)*

langdurige overschrijdingen van het streefpeil voorkomen. Figuur 3 laat dit zien voor de periode met groot waterbezwaar in het begin van 1948. Naast het voorgekomen meerpeil is ter illustratie van de toekomstige wijzigingen ingetekend het verloop van het berekende meerpeil voor een IJsselmeer, groot 1200 km².

Voor een doelmatige waterhuishouding is het uiteraard noodzakelijk op elk ogenblik een overzicht te hebben van de toestand op het meer en van de hierin in de volgende dagen te verwachten wijzigingen. Zo wordt elke dag uit de waterstandswaarnemingen op drie dicht bij het zwaartepunt van het meer gelegen punten, nl. Enkhuizen, Urk en Lelystad, de gemiddelde meerstand op die dag afgeleid. Daarnaast wordt bij het dagelijks beheer gebruik gemaakt van de volgende gegevens, die elke dag binnenkomen:

a. de waterstanden langs Rijn en IJssel (per radio);
b. de neerslag op het Nederlandse stroomgebied (vroeger per radio, tegenwoordig telefonisch verstrekt door het K.N.M.I.);
c. de gespuide hoeveelheden te Den Oever en Kornwerderzand, berekend uit waterstanden en lozingsduur;
d. de weersverwachting.

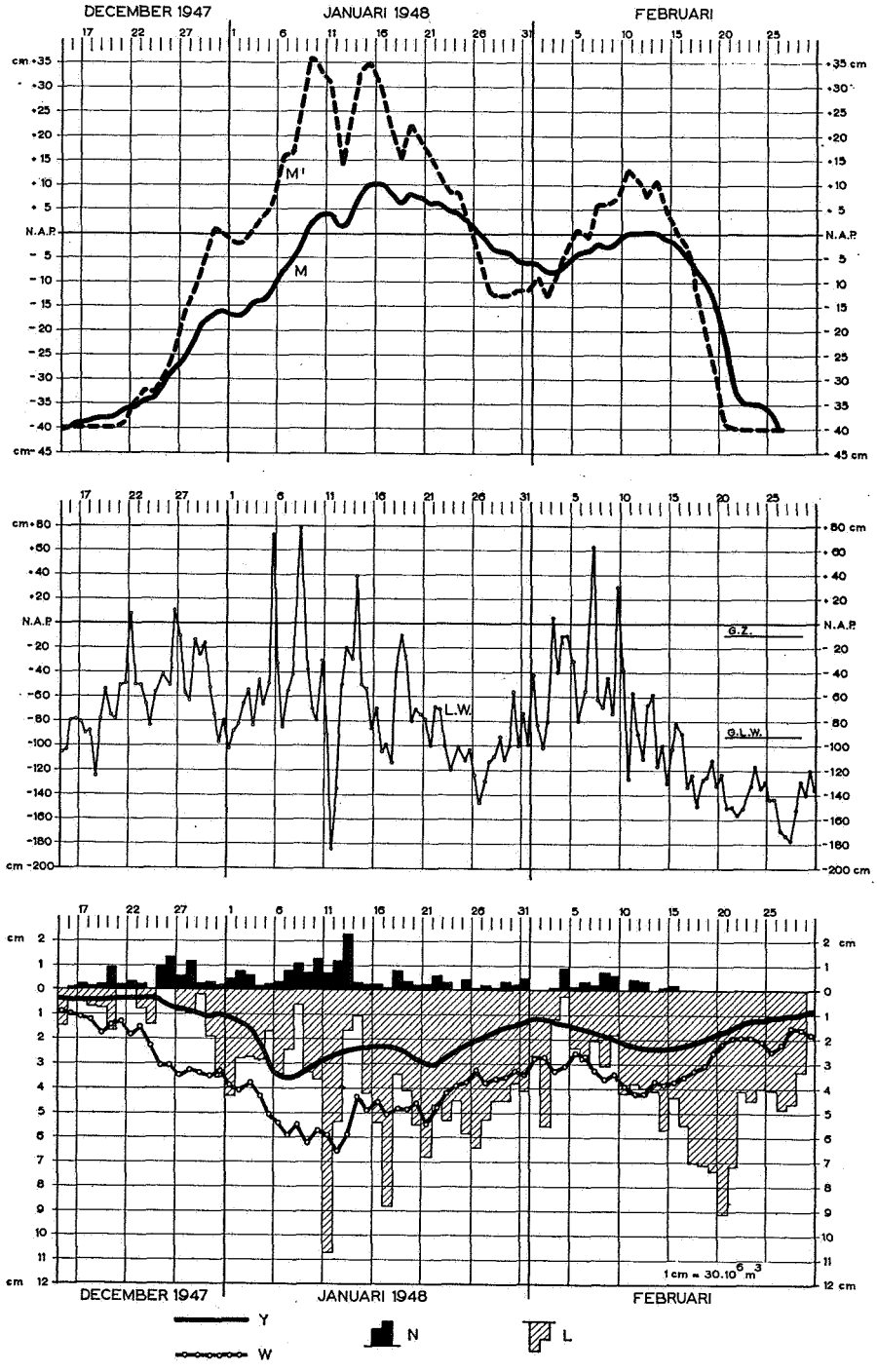

DECEMBER 1947
JANUARI 1948
FEBRUARI
M'
M
N.A.P
L.W.
G.L.W.
G.Z.
1 cm = 30.10^6 m^3
Y
W
N
L

FIG. 3. Waterhuishouding van het meer in een natte periode

FIG. 3. *Water management of the lake in a wet period*

FIG. 3. *Régime du lac pendant une période humide*

M	voorgekomen meerstand	*observed lake level*	*niveau d'eau observé du lac*
M'	berekende meerstand op Klein IJsselmeer	*calculated lake level on Small IJsselmeer*	*niveau d'eau calculé pour le petit lac*
LW	laagwater bij de Afsluitdijk	*low tide at the Enclosing Dam*	*marée basse à la Digue de Barrage*
GLW	gemiddeld laag water	*mean low tide*	*marée basse moyenne*
GZ	gemiddelde zeestand	*mean sea level*	*niveau moyen de la mer*
Y, W, N, L	dagelijks voorgekomen waarden op Grote IJsselmeer, uitgedrukt in cm waterschijf (zie notatie, p. 89)	*daily values observed on Large IJsselmeer, in terms of thickness of waterlayer (see notation, p. 89)*	*valeurs quotidienes observées sur le grand lac, calculées comme une couche d'eau en cm (voir notation, p. 89)*

Het verloop van de totale watertoevoer naar het meer in de voorafgaande dagen wordt bepaald uit de gespuide hoeveelheden en de veranderingen van de meerstand. Met behulp van de kennis van de waterstanden langs Rijn en IJssel is de bijdrage van de IJssel (te Westervoort) tot de totale toevoer bekend voor de voorafgaande periode en kan hij redelijk goed worden geschat voor de volgende 3 à 5 dagen (lit. 1).

De totale toevoer verminderd met de IJsselafvoer geeft nu aan hoeveel van de neerslag op het Nederlandse stroomgebied in de afgelopen dagen tot afvoer is gekomen. Met behulp hiervan en van de weersverwachting wordt een schatting gemaakt van de afvoer van het Nederlandse stroomgebied in de komende dagen. Door hierbij de geschatte IJsselafvoer op te tellen, wordt het geschatte verloop van het waterbezwaar van het meer in de eerstkomende dagen bepaald. Afhankelijk hiervan en van de eventueel aanwezige overschrijding van het streefpeil wordt opdracht gegeven tot het gedurende 1 of 2 getijen per dag met een bepaald aantal openingen lozen met de spuisluizen in de Afsluitdijk.

's Zomers delen Friesland, Schermerboezem en Noordzeekanaal wekelijks de aan het meer onttrokken hoeveelheden mede.

Maandelijks wordt uit de diagrammen van de registrerende peilschalen rond het meer de gemiddelde meerstand dag voor dag nauwkeuriger berekend dan bij de dagelijkse peilregeling mogelijk is. De afwijkingen tussen de voorlopig bepaalde en de meer nauwkeurige waarden zijn in het algemeen gering.

Teneinde een inzicht te hebben in de verdamping van het meer worden o.a. waarnemingen verricht aan in de haven van Urk drijvende bakken.

Het chloridegehalte van het meer is een grootheid die op korte termijn slechts weinig verandert. Het wordt dan ook met tussenpozen van enkele weken tot enige maanden bepaald op tochten over het meer, tijdens welke op omstreeks 200 punten het elektrisch geleidingsvermogen wordt gemeten. Titratie van een 20-tal monsters levert het verband tussen het elektrisch geleidingsvermogen en het chloridegehalte. Voorts wordt elke drie maanden aan een 12-tal monsters, welke verspreid over het meer zijn genomen het gehalte aan $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, So_4'', HCO_3', $K^{\cdot}$ en $Na^{\cdot}$ ionen bepaald. Sinds 1958 wordt eveneens elke drie maanden de radio-activiteit van het meerwater bepaald. Om een beter inzicht in de zoutbronnen van het meer te verkrijgen, is sinds kort een aanvang gemaakt met de bepaling van het chloridegehalte van de door de verschillende gebieden op het meer geloosde waterhoeveelheden.

3. Waterrekening klein IJsselmeer

a. Historisch overzicht

Gezien de samenhang tussen de water- en de zoutrekening worden tevens de vroegere onderzoekingen betreffende het zoutgehalte vermeld.

Met behulp van waterbalansen per 5-daagse perioden over de jaren 1871 -1875 toonde Lely (lit. 2) omstreeks 1890 in zijn 8 technische nota's voor de Zuiderzeevereniging aan, dat in zijn plan tot afsluiting en gedeeltelijke droogmaking van de Zuiderzee (in grote trekken overeenkomend met het plan in uitvoering) de afwatering van de omgeving wordt verbeterd, indien het meer 1200 km² groot is, het doorstromingsprofiel van de spuisluizen 1200 m² is en een winterpeil van N.A.P. -0,40 m wordt nagestreefd. Op overeenkomstige wijze kon hij bij een zomerpeil van -0,20 m een verbetering van de watervoorziening berekenen. In zijn nota's berekent Lely evenwel niet het op de afgesloten Zuiderzee te verwachten zoutgehalte. Dit is eerst geschied door het lid Telders van de Staatscommissie 1892 (lit. 3), nadat hij op kleine schaal proeven had uitgevoerd over de ontzilting. Bij sommigen bestond nl. de vrees, dat kortsluitstromen zouden optreden tussen de destijds belangrijkste zoetwaterleverancier — de IJssel — en de spuisluizen in de Afsluitdijk. Het onderzoek van de banen, beschreven door drijvertjes in een model van het meer op schaal 1 : 50.000, deden Telders verwachten dat menging van zoet en zout water zou optreden. Naar aanleiding hiervan berekende hij, dat het meer in 2 jaar en 12 dagen zou ontzilten van 6000 tot 500 mg Cl/l. De toelaatbaarheid van het laatste gehalte beoordeelde hij o.a. door vergelijking met het hogere chloridegehalte van bekende minerale wateren als Selters- en Victoriawater.

Vóór het maken van de Afsluitdijk heeft MAZURE voor het vaststellen van het doorstromingsprofiel van de uitwateringssluizen over een periode van 7 jaar dag vor dag de waterbalans van het toekomstige IJsselmeer (het Kleine IJsselmeer) opgesteld en daarmede het verloop van de gemiddelde meerstand berekend.

Vervolgens heeft MAZURE in de jaren na de afsluiting een water- en zoutbalans van het IJsselmeer opgesteld voor de toestand na de droogmaking van de Noordoostpolder en wel maand voor maand voor een gemideld jaar, gevolgd door de 2 droge jaren 1933 en 1934. Dit onderzoek, waarin de verschillende posten van water- en zoutbalans kwalitatief zo goed mogelijk werden benaderd, geschiedde ten behoeve van de Commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands (lit. 4) en was dan ook voornamelijk gericht op het verkrijgen van inzicht in de mogelijke variatie van het zoutgehalte van het meer met het oog op de bruikbaarheid als drinkwater. MAZURE heeft met dit onderzoek baanbrekend werk verricht en nog steeds wordt op de door hem toegepaste methode en resultaten teruggegrepen.

Ten aanzien van het verloop van de gemiddelde meerstand op het Kleine IJsselmeer staan dus in hoofdzaak ter beschikking de berekeningen van LELY en MAZURE, waarbij de waargenomen toestand „open Zuiderzee" is omgerekend voor de toestand „Klein IJsselmeer". Een omrekening van de waargenomen toestand „Groot IJsselmeer" naar „Klein IJsselmeer" is tot dusver alleen voor enkele perioden met groot waterbezwaar geschied. Het is duidelijk dat de laatste omrekening met groter nauwkeurigheid kan plaatsvinden dan uitgaande van open Zuiderzee, waarbij o.a. de invloed van de getijbeweging moet worden uitgeschakeld en de waterstanden in de Waddenzee moeten worden gecorrigeerd voor de invloed van de afsluiting. Bovendien zijn de oudere gegevens over het waterbezwaar — uitgezonderd die van de IJssel — gebrekkig, terwijl de vraag rijst of deze gegevens nog representatief zijn in verband met de sindsdien uitgevoerde werken ter verbetering van de afwatering naar het meer.

Wordt uitgegaan van de periode na de afsluiting, dan staan ruim 25 jaar waarnemingen ter beschikking, met een bekend tij in de Waddenzee.

Daarnaast zijn de voorgekomen op- en afwaaiingen aan de binnenkant van de spuisluizen bekend, terwijl uit de waterbalans het voorgekomen dagelijkse waterbezwaar kan worden afgeleid. De wijzigingen in deze op- en afwaaiing en in het waterbezwaar door de verdere inpolderingen en eventuele andere factoren zijn in het algemeen met voldoende nauwkeurigheid aan te geven. Door nu dag voor dag de waterbalans van het Kleine Meer op te stellen, kan het regime hiervan over een periode van ruim 25 jaar worden

nagegaan bij verschillende inrichtingen van het meer en rekening houdend met de inpolderingen. Dit is voor de beoordeling van waterhuishoudkundige vraagstukken in het algemeen voldoende, terwijl deze gegevens overigens de basis verschaffen voor extrapolatie o.a. met het oog op vraagstukken van veiligheid, zoals deze optreden bij de vaststelling van dijkhoogten. Hierbij wordt gerekend met overschrijdingsfrequenties van waterstanden van eens per 1.000 à 10.000 jaar.

Het uitvoeren van een dagelijkse waterboekhouding van het IJsselmeer bij een bepaalde inrichting is geen moeilijk, maar wel een zeer tijdrovend werk. Vooral wanneer dit voor verschillende gevallen van peilregeling, stuwprogramma Nederrijn enz. moet gebeuren. Het dag voor dag berekenen is noodzakelijk, omdat gemiddeld per dag 100 miljoen m^3 water door de sluizen in de Afsluitdijk kan worden geloosd, hetgeen op het Kleine Meer een 8 cm dikke waterschijf betekent.

Eerst is dan ook getracht een dergelijke berekening te ontgaan met behulp van een statistisch onderzoek. Gedacht is aan het afzonderlijk bepalen van de frequenties van waterbezwaren en lozingsmogelijkheden van de spuisluizen in de Afsluitdijk over n dagen, waarin n varieert en vervolgens deze gegevens te combineren tot de gewenste frequenties van de meerstand. De mogelijke onderlinge afhankelijkheid van waterbezwaar en lozingsmogelijkheid en de afhankelijkheid van de lozingsmogelijkheid van de meerstand, alsmede vooral de invloed van de voorgeschiedenis op de meerstand aan het begin van de beschouwde n-daagse periode, leverden dermate grote moeilijkheden op, dat in overleg met de afdeling Bewerking Waarnemingsuitkomsten T.N.O. is besloten toch de waterbalans dag voor dag te berekenen. Dit geschiedt met behulp van een elektronische rekenmachine van het type Zebra, die geschikt is voor een dergelijk werk met zeer veel ingangsgegevens, nl. bijna 300.000.

b. *Waterbezwaar Groot IJsselmeer*

Voor het waterbezwaar van het meer geldt de volgende vergelijking:

$$W = Y + V + (N—E)\,A + R \qquad (1)$$

waarin

Y = afvoer van de IJssel te Westervoort
V = afvoer van de Overijsselse Vecht, bepaald uit de waterstanden te Vilsteren en Vechterweerd
N = neerslag op het meer, volgens de regenstations rond het meer
E = verdamping van het meer
A = oppervlakte van het meer
R = overige watertoevoer naar het meer (restpost)

De grootheden Y, V en N zijn op het Grote IJsselmeer per dag bekend. De verdamping E wordt per dag gevonden door het maandcijfer van de verdamping volgens PENMAN, na correctie voor de verandering van de warmteinhoud van het meer, over de dagen te verdelen evenredig aan de dagelijkse verdamping in de drijvende bakken te Urk. De restpost R, samengesteld uit een groot aantal kleine en grote posten, is niet bekend, zodat het voorgekomen dagelijkse waterbezwaar W niet direct met behulp van (1) is te berekenen.

De continuïteitsvoorwaarde levert echter nog de volgende betrekking:

$$Y + V + (N—E)\,A + R = L + I + \Delta\, M.A \qquad (2)$$

waarin

L = door de spuisluizen in de Afsluitdijk geloosde hoeveelheid

I = aan het meer onttrokken hoeveelheid

ΔM = verschil in meerpeil aan het begin en het einde van de beschouwde periode

De grootheid L is op het Grote IJsselmeer per getij berekend uit de binnenstand, het laagwater en de spuiduur. I is per dag bekend, evenals het voorgekomen meerpeil M.

Daar uit (1) en (2) volgt:

$$W = L + I + \Delta M.A \qquad (3)$$

zou dus hiermede W in principe dag voor dag kunnen worden berekend. Nauwkeurig is de aldus bepaalde W echter niet. Een fout van 1 cm in $\Delta\, M$ op het Grote IJsselmeer, die licht kan voorkomen, komt nl. overeen met ca. 30 miljoen m^3 water, wat van dezelfde orde van grootte is als de gemiddelde dagwaarde van L. Wordt (3) over een lange periode opgesteld, dan levert hij wel betrekkelijk nauwkeurige waarden van W, omdat de invloed van een fout in $\Delta\, M$ dan klein wordt.

De grootheden Y, V, N, E, L, I en M worden via een ponsband als ingangsgegevens aan de Zebra verstrekt. Deze berekent R met behulp van (2) dag voor dag. Door de onnauwkeurigheid van ΔM zal R van dag tot dag sterk variëren. In werkelijkheid zal R in het algemeen door de traagheid van het afwateringsmechanisme (bodem, sloot, tocht, kanaal enz.) geleidelijk verlopen. Dit wordt enigszins bereikt door het voortschrijdend gemiddelde van R over n dagen te bepalen. Uit een detailonderzoek voor de jaren 1956 en 1957 is gebleken, dat $n = 5$ dagen de beste resultaten oplevert, vergeleken met de werkelijke R.

Het voorgekomen dagelijkse waterbezwaar W in de periode 1932-1959 is vervolgens te berekenen met behulp van de vergelijking (1).

c. *Waterbezwaar Klein IJsselmeer*

Het waterbezwaar W' van het toekomstige meer zal van het huidige W afwijken tengevolge van de inpolderingen in het IJsselmeer, de kanalisatie van de Nederrijn en een eventuele verbetering van de afwatering naar het meer.

Schematisch wordt dit als volgt weergegeven:

$$W' = W + \Delta W \tag{4}$$

$$\text{en } \Delta W = \Delta Z + \Delta Y + \Delta (V + R) \tag{5}$$

waarin ΔZ, ΔY en $\Delta (V + R)$ de wijzigingen van het waterbezwaar in de huidige toestand zijn door resp. de inpolderingen, de kanalisatie en de verbeterde afwatering, en waarin ΔW de totale wijziging is.

Door de inpolderingen worden in de waterbalans de posten neerslag en verdamping van het meer kleiner, terwijl de overige toevoer R toeneemt met het uitslagwater van de nieuwe polders. De toename van R wordt berekend met behulp van het gegeven dagelijkse uitslagwater U van de vergelijkbare Wieringermeer of Noordoostpolder, nadat dit uitslagwater gecorrigeerd is voor de kwel. Voorts zal het kwelbezwaar van het meer veranderen met ΔK. Aangenomen kan worden, dat ΔK van dag tot dag constant is.

Indien A' de oppervlakte van het Kleine IJsselmeer is, dan kan ΔZ worden berekend uit:

$$\Delta Z = (N - E) \left(\frac{A'}{A} - 1\right) + \gamma U + \Delta K \tag{6}$$

waarin γ een constante factor is.

De toename ΔY door de kanalisatie van de Nederrijn is, afhankelijk van het stuwprogramma, te berekenen met een bepaalde functie van de voorgekomen IJsselafvoer:

$$\Delta Y = \text{f}(Y) \tag{7}$$

De toename $\Delta (V + R)$ door verbetering van de afwatering van de omgeving wordt ingevoerd als functie van de voorgekomen afvoer van het Nederlandse stroomgebied:

$$\Delta (V + R) = \text{f}(V, R) \tag{8}$$

Daar ook de dagelijkse waarden van U als gegevens worden verstrekt aan de Zebra, kan hij nu voor een bepaalde toekomstige situatie het waterbezwaar W' dag voor dag uitrekenen, indien de periode 1932-1959 zich dan zou herhalen.

d. *Berekening van toekomstige toestanden*

Voor een bepaald geval met een gegeven grootte van het IJsselmeer, een gegeven afmeting van de spuisluizen, een gegeven streefpeil, een gegeven stuwprogramma, berekent de Zebra het verloop van het gemiddelde peil over de jaren 1932 t/m 1959, alsof dat geval in die jaren aanwezig geweest zou zijn, waarbij voorlopig de watervoorziening buiten beschouwing wordt gelaten en alleen gelet wordt op de afwateringsbelangen. De Zebra gaat b.v. uit van een peil van -0,40 m op 1 juni 1932 te 0 h. Hij berekent voor die dag W' en uit binnenstand, hoog- en laagwater bij de spuisluizen de mogelijke lozing L. Voor het laatste beschikt hij over alle in de jaren 1932-1959 voorgekomen

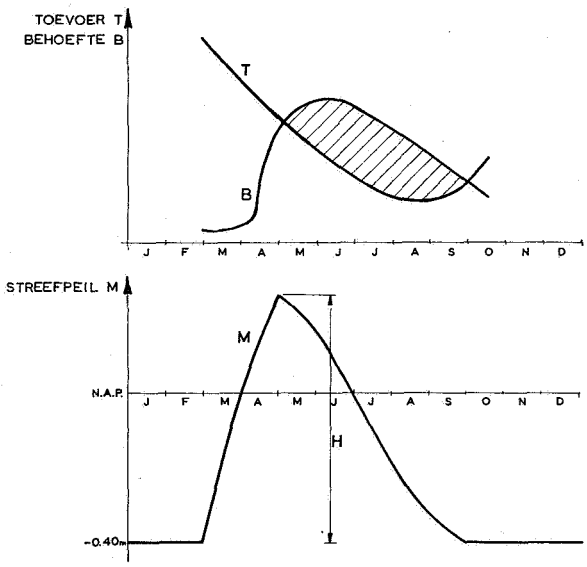


FIG. 4. Toevoer, waterbehoefte en meerpeil in een droog jaar, waarbij de behoefte steeds wordt gedekt

FIG. 4. *Discharge, need of water during droughts and lake level, whereby the need is always met*

FIG. 4. *Ecoulements vers le lac, besoins en eau des environs et variation du niveau du lac, satisfaisant aux besoins pendant une année sèche*

T netto toevoer *W* naar het meer	*net discharge W to the lake*	*écoulement net W vers le lac*
B waterbehoefte van de omgeving	*need of water of the surrounding regions*	*besoin en eau des environs*
M streefpeil van het meer	*desired level of the lake*	*niveau souhaité du lac*
H gearceerde oppervlakte (max. voorraad op het meer)	*shaded area (max. store on the lake)*	*surface hadé (réserve maximum du lac)*

hoog- en laagwaters te Den Oever en Kornwerderzand. W' en L' geven $\Delta M'$ enz. Daalt de meerstand onder het streefpeil, dan wordt de volgende dag weer uitgegaan van het streefpeil.

De berekeningen zullen plaatsvinden voor verschillende grootten van het meer en voor verschillende peilregelingen. Ter vergelijking zal de voorgekomen toestand eveneens worden nagerekend, o.a. met het oog op het verschil tussen het direct reageren van de Zebra en het te vroeg of te laat reageren van de beheerder. Wanneer aldus de voor de afwatering gunstigste toestand is verkregen, zal de watervoorziening in beschouwing worden genomen. Deze is van belang in de maanden maart t/m oktober.

Uit de resultaten van de Zebra volgt tevens op welke toevoer in een droog jaar met een bepaalde kans van b.v. 90% kan worden gerekend. Deze toevoer is in figuur 4 schematisch weergegeven door de lijn T. Indien ook het verloop van de waterbehoefte, de lijn B, in een droog jaar bekend is, volgt uit beide lijnen de op het meer op elk ogenblik noodzakelijke voorraad om de behoefte in de volgende periode met 90% kans te dekken. Daarmede is ook het gewenste verloop van het meerpeil bepaald.

Vervolgens wordt dit meerpeil als streefpeil ingevoerd bij een hernieuwde berekening over de ruim 25 jaar, teneinde na te gaan of dit moeilijkheden oplevert ten aanzien van de afwatering in het voor- en najaar.

c. Betekenis van de afvoervoorspelling van de Rijn

In het voorgaande wordt dus elk jaar het meerpeil in het voorjaar opgezet tot b.v. + 0,5 m, opdat men — indien er een droge zomer komt — over voldoende water beschikt. Het is echter zaak dit opzetten zoveel mogelijk te beperken, daar het aantal droge zomers gering is en het risico voor de dijken rond het meer wordt verhoogd. Sinds enkele jaren schijnt de mogelijkheid hiertoe aanwezig te zijn dankzij de Zwitserse afvoervoorspelling van de zomerafvoer van de Rijn te Rheinfelden (bij Bazel). In droge zomers bedraagt de Rijnafvoer bij Bazel ca. 70% van die te Lobith, zodat een goede voorspelling van de afvoer bij Bazel groot nut kan opleveren.

Bij de voorspelling gaat men uit van factoren die fysisch de totale zomerafvoer over een bepaalde periode, b.v. maart t/m september, kunnen bepalen, zoals de winterneerslag, de winterafvoer en de berging in de meren aan het eind van de winter. Langs statistische weg is uit de gegevens over 40 jaar de invloed van elk der winterfactoren op de zomerafvoer bepaald. Met behulp hiervan is een voorspelling mogelijk. Daar van de zomerfactoren alleen de zomerafvoer in het statistisch onderzoek is opgenomen, geldt de voorspelling voor een gemiddelde zomer. Sinds kort is men echter aangevangen ook andere

op de zomer betrekking hebbende gegevens, zoals de zomerneerslag, in het onderzoek te betrekken. Door deze dan met minimale waarden in te voeren, lijkt in de toekomst een voorspelling mogelijk voor de zomerafvoer te Bazel in de veronderstelling dat de zomer droog zal zijn.

Voor de bestaande voorspellingsmethode kan worden nagegaan hoe de voorspellingen overeenkomen met de werkelijke afvoeren. Gezien de vrij hoge correlatiecoëfficienten is het uiteraard te verwachten, dat de overeenstemming gemiddeld goed is. Dat is echter niet van belang. Voor het IJsselmeer komt het erop aan, dat de voorspelling goed is voor de zomers die in ons land droog zijn, nl. 1921, 1934, 1943, 1947, 1949 en 1959. Veronderstel dat de voorspellingen in twee klassen worden verdeeld, nl. hoger dan het langjarige gemiddelde en lager. Als minder dan het gemiddelde voorspeld wordt, wordt gerekend op de minimum afvoer en wordt het IJsselmeer in het voorjaar opgezet tot b.v. +0,5 m. Als meer dan het gemiddelde wordt voorspeld, wordt op het gemiddelde gerekend. Nu is het verschil tussen de minimum en de gemiddelde afvoer te Bazel over de periode 1 mei - 1 oktober ca. 7 miljard m^3. Op het IJsselmeer betekent dit — afgezien van Rijnkanalisatie — een verschil in toevoer van ca. 0,7 miljard m^3, hetgeen op het Klein IJsselmeer overeenkomt met een schijf van 60 cm dikte. In de helft van het aantal jaren kan bij deze werkwijze het opzetten van het meer dus worden beperkt tot + 0,5 — 0,6 m = — 0,1 m.

Het blijkt dat deze grove werkwijze in alle genoemde droge jaren geleid zou hebben tot een volledig opgezet IJsselmeer, daar in elk dezer jaren minder dan het gemidelde zou zijn voorspeld, zij het in 1959 met een kleine marge. Het lijkt dan ook, dat de Zwitserse voorspelling reeds in de huidige vorm goede resultaten geeft dankzij zijn fysische achtergrond. Overigens is er nog voldoende tijd beschikbaar om de methode te verbeteren, daar eerst op het Kleine IJsselmeer het volle profijt hiervan kan worden getrokken.

4. Zoutrekening Klein IJsselmeer

a. *Algemeen*

Voor de kwaliteit van het water kan in de eerste plaats het chloridegehalte als maatstaf worden gekozen. Uit onderzoekingen van Mazure is nl. gebleken dat het gehalte aan andere ionen, zoals $Ca^{\cdot\cdot}$, $SO_4^{\prime\prime}$, en $Mg^{\cdot\cdot}$, veelal afhankelijk is van het gehalte aan $Cl^{\prime}$ (lit. 4).

Daar de posten van de zoutbalans van dag tot dag minder sterk variëren dan die van de waterbalans, kan de zoutbalans over langere perioden worden opgesteld, b.v. per dekade of per maand. Dit hangt af van de verhouding

tussen de inhoud van het meer en het waterbezwaar. Het waterbezwaar over de beschouwde periode mag nl. slechts een gering deel van de inhoud zijn.

Bij het opstellen van de zoutrekening van het Kleine Meer wordt evenals bij de waterrekening uitgegaan van de zoutrekening van het bestaande Grote Meer, waarop de wijzigingen worden aangebracht tengevolge van de verdere inpolderingen enz.

De chloridebelans over een bepaalde periode ziet er als volgt uit:

$$V_o c_o + y + s + k + d + r = L c_L + V_1 c_1 \qquad (9)$$

waarin

V_o, V_1 = volume van het meer aan het begin, resp. eind van de periode
c_o, c_1 = gem. chloridegehalte van het meer, idem
y = chlorideafvoer van de IJssel
s = schut- en lekzout van de sluizen
k = zouttoevoer door kwel
d = zouttoevoer door diffusie
r = overige zouttoevoer
c_L = chloridegehalte van het door de spuisluizen geloosde water

In de huidige toestand is de orde van grootte van de diverse posten in een normaal jaar:

IJsselzout	y	= 8.10^8 kg Cl/jaar
schut- en lekzout	s	= 4.10^8 kg Cl/jaar
kwelzout	k	= 8.10^8 kg Cl/jaar
diffusiezout	d	= 1.10^8 kg Cl/jaar
overig zout	r	= $1{,}5.10^8$ kg Cl/jaar

b. *Zoutbezwaar Groot IJsselmeer*

De posten $V_o c_o$, $V_1 c_1$ en y in de vergelijking (9) zijn op het bestaande meer bekend uit waarnemingen (o.a. zouttochten). Ten aanzien van de overige posten heeft een min of meer uitgebreid onderzoek plaatsgevonden, waarover het volgende kan worden medegedeeld.

Schutzout. In 1933 kwam MAZURE op grond van metingen aan de sluizen te IJmuiden en te Kornwerderzand tot de conclusie, dat het chloridebezwaar van schutsluizen niet in hoofdzaak wordt bepaald door de hoeveelheid schutwater, maar door de kolkinhoud en het verschil in chloridegehalte aan weerszijden van de sluis. Na het openen van de deuren ontstaat nl. een intrekkende zoute onderstroom en een uittrekkende bovenstroom, waardoor uitwisseling optreedt tussen het zoute buitenwater en het zoete binnenwater (lit. 5).

Kwelzout. De hoeveelheid zout, welke als gevolg van grondwaterstroming in het meer komt, is afhankelijk van het chloridegehalte van het opkwellende water en van de hoeveelheid kwelwater.

Het chloridegehalte van het grondwater werd vroeger uitsluitend bepaald aan watermonsters onttrokken aan waarnemingsputten. Op initiatief van Ir. VOLKER is enkele jaren geleden op het IJsselmeer gebruik gemaakt van de geo-elektrische methode om via meting van de elektrische weerstand van de bodemlagen het zoutgehalte hiervan te bepalen. Aan dit onderwerp is de *Xe Technische Bijeenkomst* gewijd geweest, zodat hierop niet verder zal worden ingegaan. De resultaten van het onderzoek op het IJsselmeer zijn gepubliceerd door VOLKER en DIJKSTRA (lit. 6).

Ondanks de uitgebreide grondwaterstromingen in het zandpakket ter dikte van ca. 200 m onder IJsselmeer en omgeving, zijn de kwelhoeveelheden voor de waterbalans van geen belang; door hun dikwijls hoog chloridegehalte zijn zij wel van belang voor de zoutbalans. Weliswaar is het water aan het begin van de kwelbanen haast altijd zoet, maar de grondwaterstroming is zo langzaam, dat het vele jaren kan duren voordat het in de ondergrond aanwezige zoute grondwater is uitgedreven. Daar het meerpeil in het algemeen hoger is dan de grondwaterstanden in de omgeving, kwelt alleen langs de Afsluitdijk en langs de kust tussen Muiden en Kampen water in het IJsselmeer. Het grootste aandeel van het zoutbezwaar door grondwaterstroming wordt echter geleverd door de kwel in de omringende polders, die op het IJsselmeer wordt uitgeslagen. Reeds van de aanvang af heeft de kwel bij de inpolderingen in de afgesloten Zuiderzee in de belangstelling gestaan, maar dan hoofdzakelijk gericht op de gevolgen van deze kwel voor de polders zelf. Zo vreesde men in 1877 op grond van door HARTING in 1852 genomen proeven (lit. 7) en enkele ervaringen met de inpoldering van de Haarlemmermeer, dat de kwel onder de Zuiderzeedijk in het plan Stieltjes tot moeilijkheden zou leiden. In het ontwerp voor de indijking van de Wieringermeer van 1914 is veel aandacht geschonken aan de kwel, waarbij VAN ITERSON enkele theoretische beschouwingen gaf (lit. 8). In het kader van het in samenwerking met het toenmalige Rijksbureau voor Drinkwatervoorziening uitgevoerde onderzoek naar de geo-hydrologische gesteldheid van de Wieringermeer heeft MAZURE de bekende formule (lit. 9) opgesteld, waarmede de kwel en de wijzigingen van de grondwaterstanden kunnen worden berekend bij de droogmaking van een cirkelvormige polder in het z.g. hollandse profiel. Met behulp hiervan heeft MAZURE het zoutbezwaar van de Noordoostpolder vóór de inpoldering berekend, teneinde deze grootheid te kunnen invoeren in zijn in 1936 opgestelde water- en zoutbalans van het IJsselmeer (lit. 4).

In de laatste tijd is op grond van verschillende waarnemingen de vraag gerezen of deze theorie althans voor de eerste jaren na de inpoldering juist is. De betreffende theorie gaat nl. ervan uit dat onmiddellijk na de inpoldering door het ene grensvlak van een slecht doorlatende laag evenveel water instroomt als er door het andere grensvlak uitstroomt. Daar de slecht doorlatende lagen echter vooral uit samendrukbare klei- en veenlagen bestaan, zal na een droogmaking in grote gebieden inklinking ontstaan, gepaard gaande met het uitpersen van poriënwater. Dit kan bij slechte doorlatendheid slechts zeer langzaam geschieden. In de slecht doorlatende laag vindt dus een voeding van de grondwaterstroming plaats, die de stroming in het onderliggende watervoerende zandpakket beïnvloedt. De stijghoogten van het grondwater hierin ondergaan wijzigingen, die op hun beurt het uitpersingsproces in de samendrukbare bovenlaag beïnvloeden. Er treedt dus een ingewikkeld samenstel van onderlinge beïnvloeding van de stromingen in de klei- en zandlagen op met als gevolg een niet-permanente grondwaterstroming, die uiteindelijk — als het inklinkingsproces grotendeels is voltooid — overgaat in de door MAZURE beschouwde permanente stroming. Met behulp van het Mathematisch Centrum wordt momenteel getracht het ingewikkelde probleem van niet-permanente grondwaterstroming te doorgronden. De duur van dergelijke niet-permanente stromingen hangt behalve van de afmetingen van de droogmaking af van de samendrukbaarheid en doorlatendheidseigenschappen van de slecht doorlatende klei- en veenlagen en van de watervoerende zandlagen. Zolang deze stroming niet is uitgewerkt, zal dus alleen al hierdoor een ander zoutbezwaar door kwel optreden dan in de uiteindelijke toestand. Bij een duur van de niet-permanente stromingstoestand van tientallen jaren kan dit van belang zijn. Of deze duur zo lang kan zijn is nog niet te zeggen. Uitgesloten is het niet, gezien de veelal lange duur van inklinkingsprocessen. Mogelijk wijst ook het afnemen van de kwel in de Wieringermeer in deze richting, hoewel hiervoor ook andere verklaringshypothesen zijn.

Diffusiezout. In de periode met open Zuiderzee tussen omstreeks 1250 en 1932 zijn door diffusie zoutionen uit het zoute zeewater in de bovenste lagen van de meerbodem getransporteerd. Dit behoeft niet gepaard te gaan met waterbeweging. Na de ontzilting van het meer sinds 1932 is een concentratieverhang ontstaan met als gevolg een opwaartse diffusie van zoutdeeltjes, welke bijdraagt tot het zoutbezwaar van het meer.

Kwel of inzijging van water beïnvloedt de zoutverticalen. Ir. VOLKER heeft een theorie ontwikkeld om uit de vorm van deze verticalen de grootte van de kwel of inzijging te berekenen.

Chloridegehalte van het gespuide water. Voor zoutbalansen over korte perioden kan worden gesteld:

$$c_L = 0{,}5\ a\ (c_o + c_1) \qquad (10)$$

waarin a een coëfficient is die o.a. afhankelijk is van de menging van het van de verschillende bronnen afkomstige zout. Bij volledige menging is $a = 1$. Voor de spuisluizen in de Afsluitdijk is a enigszins groter dan 1.

MAZURE heeft in 1936 voor de toestand na inpoldering van de Noordoostpolder de verschillende posten van de zoutbalans ten dele uit waarnemingen en ten dele op grond van berekeningen vastgesteld (lit. 4). De controle hierop is, dat volgens de continuïteitswet in een gemiddeld jaar het gehalte van het geloosde water gelijk moet zijn aan het quotiënt van het totale zoutbezwaar en de door de spuisluizen geloosde waterhoeveelheid. Wanneer men met een effectief zoutbezwaar rekent, waarbij het zout buiten beschouwing wordt gelaten dat door schuttingen of lek op het meer komt en enkele uren later weer wordt gespuid, dan verschilt het gemiddelde chloridegehalte van het meer weinig van het berekende gehalte van het geloosde water. Volgens de zoutbalans van MAZURE levert dit een gemiddeld chloridegehalte over de jaren van ca. 175 mg Cl/liter. Dit stemt goed overeen met de waarnemingen, zodat met een zeker vertrouwen de door MAZURE aangegeven methode — mogelijk gecorrigeerd op enkele punten — kan worden gebruikt voor de verdere studies van het verloop in de tijd van het gemiddelde chloridegehalte van het meer bij verschillende inrichtingen van de inpolderingen, bij verschillende peilregelingen, bij verschillende stuwprogramma's enz.

c. Zoutbezwaar Klein IJsselmeer

Ten aanzien van mogelijke toekomstige wijzigingen in de zoutbalans kan het volgende worden opgemerkt. Door internationaal overleg zal het nog steeds toenemende IJsselzout moeten worden beperkt. Het kwel- en diffusiezout is niet te beïnvloeden. Door de gemalen van de zuidelijke IJsselmeerpolders, welke veel kwelzout zullen leveren, bij voorkeur aan het toekomstige IJmeer te plaatsen, wordt de mogelijkheid geschapen een deel van het kwelzout af te leiden via het Noordzeekanaal. Het doordringen van het schut- en lekzout bij de Afsluitdijk kan worden gereduceerd door met de sluizen aldaar te spuien. Voor een redelijk nuttig effect hiervan zijn zeer grote hoeveelheden spuiwater nodig, die of ten koste zouden gaan van de waterverbruikers of tot een hoger opzetten van het meer in het voorjaar zouden dwingen. Uit globale berekeningen blijkt evenwel, dat het resultaat van een extra opzetten van het

meer om 's zomers over voldoende spuiwater te beschikken gering is, daar dit ten koste gaat van het spuien in het voorjaar met als gevolg een hoger zoutgehalte in het begin van de zomer.

Wanneer de water- en zoutberekeningen voor de toekomstige toestanden dan ook onaanvaardbare zoutgehalten zouden aanwijzen, dan zal o.a. moeten worden getracht om het schut- en lekzout te reduceren door andere middelen dan wegspuien. Hiernaar wordt een onderzoek ingesteld.

Dankzij de lineaire opbouw van de zoutbalansformule (9) is het mogelijk, bij een bepaalde inrichting van het meer de invloed van elke zoutbron op het chloridegehalte van het meer afzonderlijk te bestuderen en gebruik te maken van het beginsel van superpositie.

5. Besluit

Het zal uit het voorgaande duidelijk zijn, dat ondanks het feit dat reeds 80 jaar geleden een aanvang is gemaakt met het onderzoek ten behoeve van het beheer van het IJsselmeer, het einde hiervan nog niet in zicht is. Ten dele is dit toe te schrijven aan de steeds hogere eisen die aan de beheersing van de waterhuishouding, naar kwantiteit en kwaliteit, in ons land worden gesteld. Men kan hierbij denken aan de steeds toenemende vraag naar water van goede kwaliteit voor aanvulling en verversing van boezem- en polderwateren, en mogelijk in de toekomst voor suppletiewater ten behoeve van droogtegevoelige landbouwgronden. Het plan voor de kanalisatie van de Nederrijn vindt hierin mede zijn oorsprong, mogelijk gevolgd door het opzetten van het toekomstige IJsselmeer in het voorjaar. Daarnaast zijn de mogelijkheden toegenomen om problemen op te lossen: meer — en wellicht betere — waarnemingen, nieuwe methodieken, b.v. het gebruik van elektronische rekenmachines voor problemen die anders door hun ingewikkeldheid of hun omvang onoplosbaar zijn.

In het voorgaande is voorts een indruk gegeven van het onderzoek ten behoeve van de voor een groot deel van ons land belangrijke waterhuishouding van het IJsselmeer, dat door de Dienst der Zuiderzeewerken — veelal in samenwerking met andere instellingen — is verricht, onderhanden is of op het programma staat.

LITERATUUR

1. THIJSSE, J. TH. Prévision du débit du Rhin. Assemblée Générale d'Oslo, Union Géodisique et Géophysique Internationale, Tome 1, 1948.

2. LELY, C. Onderzoek omtrent de afsluiting en droogmaking van de Zuiderzee, de Wadden en de Lauwerszee. Nota's 3 en 4, 1888 en 1889.

3. Verslag der Staatscommissie 1892 tot het instellen van een onderzoek omtrent eene afsluiting en eene droogmaking van de Zuiderzee.

4. MAZURE, J. P. De water- en zoutbalans van het IJsselmeer. Bijlage IX van het Rapport der Commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands, 1936.

5. MAZURE, J. P. De invloed van schuttingen op de verzouting van het binnenwater. *De Ingenieur 49*, 75-78, 1934.

6. VOLKER, A. en J. DIJKSTRA Geo-elektrisch onderzoek op het IJsselmeer. Rapporten en Mededelingen betreffende de Zuiderzeewerken nr. 6, 1957.

7. HARTING, P. De bodem onder Amsterdam onderzocht en beschreven. Verhandelingen der 1e kl. van het Koninklijk Nederlandsch Instituut, 3e Reeks, Dl. V, blz. 72-232, 1852.

8. BLOCQ VAN KUFFELER, V. J. P. DE Verslag der onderzoekingen van het bureau voor het opmaken van een meer uitgewerkt plan met begroting voor den aanleg van een gedeelte van de afsluiting der Zuiderzee en indijking en droogmaking van de Wieringermeer, 1914.

9. Dienst der Zuiderzeewerken. Geo-hydrologische gesteldheid van de Wieringermeer. Rapporten en mededelingen betreffende de Zuiderzeewerken nr. 5, 1936.

DISCUSSIE

Ir. C. BIEMOND: Voor de Gelderse IJssel werd opgegeven een chloride-afvoer van 800 miljoen kg/jaar, dat is ongeveer 9 % van de zoutafvoer van de Rijn, die medekomt met 9 % van de waterafvoer. In zeer droge jaren krijgt de IJssel minder dan 9 % water en dus ook minder zout. Na kanalisatie wordt dit anders. Dan krijgt deze rivier b.v. 12 % van het water, maar de toename ligt in een tijd dat het zoutgehalte het hoogste is; de rivier krijgt dan dus misschien wel 15 % van het zout. Dat kan dus in de toekomst wel 500 miljoen kg chloride per jaar meer worden. Is hiermede gerekend?

ANTWOORD: Inderdaad zal na kanalisatie van de Nederrijn de bijdrage van de Rijn tot het zoutgehalte van het IJsselmeer toenemen. Door de grotere watertoevoer zal echter de bijdrage van de andere zoutbronnen tot het zoutgehalte van het meer a.h.w. door de grotere verdunning kleiner worden. Onder de huidige omstandigheden zou de kanalisatie nog een kleine verbetering van het zoutgehalte van het meer teweegbrengen.

Ir. C. BIEMOND: Er is een grafiek getoond van de waterbeweging op het IJsselmeer in de periode mei—september 1959; hierop was tevens aangegeven hoe in een gelijk jaar de waterbeweging op het kleine IJsselmeer zou kunnen zijn. Er is in 1959 een verheugend grote hoeveelheid van meer dan een miljard m^3 aan naastliggende provincies geleverd; er kon echter niet gespuid worden om indringend zout bij de Afsluitdijk te lozen. Voor het kleine IJsselmeer is hiervoor in de grafiek beschikbaar gekomen een hoeveelheid van ongeveer 60 m^3/sec.
Spuien is nodig om de kwaliteit te verdedigen, maar het is een proces met een laag rendement, want zout water dat indringt met een gehalte van bijvoorbeeld 10.000 mg/l, wordt uitgespuid met een gehalte van 500 of 1000 mg/l. Kan men niet overwegen voor de spuisluizen diepe kuilen aan te leggen, waarin het zoute water tussen leidammen wordt opgevangen en nabij de bodem door middel van pompen wordt afgevoerd?

ANTWOORD:Op grond van andere overwegingen heb ik in mijn bijdrage eveneens geconcludeerd, dat spuien een weinig aantrekkelijke methode lijkt om het zoutbezwaar door de spuien schutsluizen te verminderen. Het reeds genoemde onderzoek zal mede het door Ir.BIEMOND aangegeven middel omvatten.

Ir. C. BIEMOND: Uit de voordracht van spreker zou men kunnen afleiden, dat in de toekomst het dirigeren van de waterbeweging op de rivieren en in het IJsselmeer zou worden toevertrouwd aan de „Zebra". Ik zou daarom gaarne worden ingelicht omtrent de voeding van dit apparaat. Ik heb begrepen, dat de Zebra voor elke dag de informaties verwerkt. Welke vóórkennis bezit het apparaat nu ten aanzien van de toe- en afvoeren in de nog komende tijd? Is het apparaat namelijk daaromtrent volledig geïnformeerd, dan is te vrezen, dat de uitkomsten te gunstig zullen zijn.

ANTWOORD: Het is niet de bedoeling, dat de Zebra wordt gebruikt bij het beheer van het meer. De huidige berekeningen met de Zebra beogen een inzicht te verschaffen in de mogelijke situaties op het toekomstige meer, opdat het meer zodanig wordt ingericht, dat in deze situaties geen grote moeilijkheden zullen optreden. Bij zijn berekeningen dag voor dag van de gemiddelde meerstand maakt de Zebra alleen gebruik van zijn voorkennis t.a.v. de overige toevoer R naar het meer, welke als voortschrijdend gemiddelde over 5 dagen wordt bepaald. De Zebra reageert onmiddellijk met de juiste maatregelen, terwijl de beheerder van het meer te vroeg of te laat kan beginnen met spuien en te veel of te weinig kan laten spuien. Anderzijds werkt de Zebra volgens een star schema, terwijl de beheerder de peilregeling soepel aan de omstandigheden kan aanpassen. Het doorrekenen van de bestaande toestand met de Zebra zal door vergelijking met de waarnemingen een inzicht verschaffen of de Zebra te gunstige resultaten geeft.

NOTATIE

Y = IJsselafvoer
Discharge of the IJssel
Débit de l'IJssel

V = Afvoer van de Overijsselse Vecht
Discharge of the Overijsselse Vecht (a small river)
Débit du „Overijsselse Vecht" (rivière)

N = Neerslag op het meer
Precipitation on the lake
Précipitation sur le lac

E = Verdamping van het wateroppervlak van het meer
Evaporation of the surface of the lake
Evaporation du lac

A = Oppervlakte van het meer
Area of the lac
Superficie du lac

R = Overige watertoevoer naar het meer
Remaining discharge to the lake
Autres écoulements vers le lac

W = Waterbezwaar van het meer
Net discharge to the lake
Ecoulement net vers le lac

L = Lozing door de spuisluizen in de Afsluitdijk
Discharge of the sluices in the Enclosing Dam
Ecoulement par les écluses de chasse de la Digue de Barrage

I = Waterverstrekking aan de omgeving
Water supply to the surrounding regions
L'adduction d'eau aux environs

ΔM = Dagelijkse verandering van het meerpeil
Daily variation in the lake level
Variation du niveau du lac par jour

ΔK = Wijziging van de kwel
Change of seepage
Modification de l'eau d'infiltration

ΔZ = Wijziging van W door verdere inpolderingen
Change of W caused by further reclamations
Modification de W par les assèchements ultérieurs

ΔY = Wijziging van W door kanalisatie van de Nederrijn
Change of W caused by the barrages in the Lower Rhine
Modification de W par la canalisation du Nederrijn

$\Delta(V+R)$ = Wijziging van W door verbetering van de afwatering
Change of W caused by improved drainage
Modification de W par amélioration du drainage

V_0, V_1 = Hoeveelheid water in het meer aan het begin, resp. eind van de beschouwde periode
Amount of water in the lake at the start resp. end of the considered period
Volume d'eau du lac au début resp. à la fin d'une période considérée

c_0, c_1 = Gemiddeld chloridegehalte van het meer, idem
Average content of chloride of the lake, ditto
Teneur moyenne en chlorure du lac, dito

y = Chloride-afvoer van de IJssel
Discharge of chloride of the IJssel
Débit de chlorure de l'IJssel

s = Schut-en lekzout van de sluizen
Salt intrusion caused by locks and sluices
Du sel pénétrant par les écluses

k = Zouttoevoer door kwel
Salt intrusion caused by seepage
Apport de sel par infiltration

d = Zouttoevoer door diffusie
Salt intrusion caused by diffusion
Apport de sel par diffusion
r = Overige zouttoevoer
Remaining salt intrusion
Autres apports de sel
c_L = Chloridegehalte van L
Content of chloride of L
Teneur en chlorure de L

IV. HET ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN HET ZEEUWSE MEER

K. F. VALKEN
Deltadienst Rijkswaterstaat

SUMMARY

RESEARCH ON ZEALAND LAKE

Research on Zealand Lake is necessary, because this lake is to be fed chiefly with water from the Rhine and the Meuse, which will be led to it via the Haringvliet basin and the sluices in the Volkerak dam. The quantity of river water to be made available for Zealand Lake and the water level of the lake are decisive for the lake's function as a fresh water reservoir. Both, the quantity and the level, depend on the water management in the delta region as a whole. For this reason, an intimate link exists between Zealand Lake, the Haringvliet basin and the Rotterdam Waterway. The latter will remain open to the sea, requiring large quantities of river water to check the penetration of sea water. These quantities will have to be excessively large when the water of the Rhine has a high chlorid content, i.e. when the flow of this river is low. In this respect it will be most advantageous if, within the framework of closing the estuaries, the Oude Maas could also be shut off.

It is likely that Zealand Lake will be desalted within a few years by feeding it with fresh water via the Volkerak sluices and by discharging the saline water near the coastal dams. After this period of desalting, large quantities of river water will still be required to keep the lake fresh, because for a long time to come brackish drainage water from the surrounding polders will continue to be discharged into it. Only when about the entire volume of saline water present in the subterranean sandy layers (which have a thickness of some 100 meters) is desalted, will brackish seepage in the polders cease. This will take a very long time indeed. In the mean time, large quantities of fresh water will be required for flushing Zealand Lake. On this aspect, research is concentrated. It is imperative to know what quantities of salt and brackish water are percolating into the polders now, what changes may be expected as a consequence of the execution of the delta works and what relation exists between the percolation of salt water into the polders, the precipitation and the evapotranspiration, and the discharge of brackish

polder water into the lake. Many data are being collected for this purpose and geo-hydrological computations are being made.

The design of the lake will be influenced not only by considerations of water management, but also by matters involving safety, drainage, land reclamation, recreation, shipping and fisheries. Yet, the lake's function as a fresh water reservoir for agricultural, domestic and industrial purposes will be one of its most important features. The existence of a water reservoir will be essential when the flow of the Rhine and the Meuse is very low. In such case, most of the upland discharge will be consumed to keep the river water near Rotterdam in a reasonable condition. The Haringvliet sluices will have to be kept closed or very nearly so. At this stage, the Volkerak sluices, too, should be kept closed. The Zealand and Brabant area will then have to depend for its supply on the Zealand Lake reservoir. The salt content of the lake will gradually rise somewhat, because flushing will be out of the question. It is estimated that a monthly quantity of water of about 250 million m^3 will have to be withdrawn from the lake in very dry summer periods. The lake's capacity of about twice this amount seems to be sufficiently large to cover unfavourable conditions like those known from dry summers in the past, provided the entire lake is used as a water reservoir and all possible precautions are taken to check the penetration of seawater in the delta area in the most economical way.

RÉSUMÉ

LES RECHERCHES SUR LE LAC DE ZÉLANDE

Les recherches sur le Lac de Zélande sont nécessaires du fait que ce Lac sera alimenté en substance par le Rhin et la Meuse qu'il recevra par le bassin du Haringvliet et les écluses dans la digue de Volkerak. La quantité d'eau fluviale qui doit être réservée pour le Lac de Zélande, de même que le niveau d'eau dans le Lac sont décisifs pour la fonction du Lac en tant que réservoir d'eau douce. Cette quantité tant que le niveau d'eau sont en fonction de l'aménagement des eaux dans la région deltaïque dans son ensemble. Pour cette raison, un lien étroit existe entre le Lac de Zélande, le bassin du Haringvliet et le Rotterdamse Waterweg. Le dernier restera en communication avec la mer demandant d'importantes quantités d'eau fluviale pour éviter l'eau de mer d'y pénétrer. Ces quantités seront excessivement grandes, lorsque l'eau du Rhin a un taux élevé de chlore, c.à.d. lorsque le courant dans ce fleuve est faible. Dans cet ordre d'idées il serait le plus profitable si l'Oude Maas pourrait être également fermée dans le cadre de la fermeture des estuaires.

Il est à prévoir que le Lac de Zélande se dessalera dans quelques années par l'amenée d'eau douce par les écluses du Volkerak et par l'évacuation de l'eau salée près des digues côtières. Cette période de dessalement une fois passée, d'importantes quantités d'eau fluviale seront toujours nécessaires à maintenir le Lac doux, parce que depuis longtemps encore l'eau de drainage saumâtre des polders environnants y sera évacuée. Seulement lorsqu'environ le volume entier d'eau salée présente dans les couches sableuses souterraines (ayant une épaisseur de quelque 100 mètres) sera dessalé, l'infiltration d'eau saumâtre dans les polders s'arrêtera. Et cela prendra en effet beaucoup de temps. Sur ces entrefaites d'importantes quantités d'eau douce resteront nécessaires au dessalement du Lac de Zélande. Les recherches sont concentrées sur cet aspect. Il importe de savoir quelles quantités d'eau salée et saumâtre s'infiltrent actuellement dans les polders, quels changements seront à prévoir après l'achèvement des travaux deltaïques et quelle sera la relation entre l'infiltration de l'eau salée dans les polders, la précipitation et l'évapotranspiration, et la décharge d'eau saumâtre poldérienne dans le Lac. Beaucoup de données sont recueillies à ces fins et des calculs géo-hydrologiques sont effectués à présent.

La constitution du Lac sera en fonction non seulement de l'aménagement des eaux, mais encore des facteurs tels que: sûreté, drainage, mise en valeur de terres, récréation, navigation et pêche. Le rôle du Lac comme réservoir d'eau douce à des usages agricoles, domestiques et industriels sera pourtant l'une de ses fonctions les plus importantes. La présence d'un réservoir d'eau sera très importante lorsque le courant du Rhin et de la Meuse est très faible. Dans ce cas-là la plupart de la débit en amont sera consommée pour maintenir l'eau fluviale près de Rotterdam dans des conditions raisonnables. Les écluses du Haringvliet devront être maintenues closes ou à peu près closes. A ce stade aussi les écluses du Volkerak devraient être maintenues closes. Les régions de Zélande et de Brabant seront donc réduits pour leur approvisionnement au réservoir du Lac de Zélande. La teneur en sel du Lac augmentera légèrement petit à petit, du fait qu'il ne sera pas possible d'y faire couler de l'eau douce. On a évalué qu'une quantité d'eau d'environ 250 millions de mètres cubes devra être retirée par mois du Lac en temps de grande sécheresse. La capacité du Lac deux fois plus grande que cette quantité paraît être suffisamment grande pour faire face à des conditions peu favorables telles que nous les avons connues aux étés secs dans le passé, pourvu que le Lac entier soit utilisé comme réservoir d'eau et que toutes les précautions possibles soient prises pour éviter de la façon la plus économique possible la pénétration de l'eau de mer dans la région deltaïque.

1. Inleiding

Het onderzoek, dat ten behoeve van het Zeeuwse Meer wordt verricht, zou men kunnen onderverdelen in:

1e. het onderzoek naar de *waterloopkundige randvoorwaarden,* waaronder moeten worden verstaan de mogelijkheden van inlaat en lozing,

2e. het onderzoek naar de *waterkwaliteit,* waarbij de nadruk zeer sterk valt op het geo-hydrologische onderzoek inzake de zoute kwel,

3e. het onderzoek naar de *peilregeling* en *inrichting,* waarbij verschillende belangen naar voren komen in verband met de veiligheid, de watervoorziening en de afwatering, de landaanwinning en de recreatie, de scheepvaart en de visserij.

In het navolgende zal getracht worden van deze verschillende onderzoekingen een algemeen orienterend overzicht te geven, waarbij bedacht moet worden dat de bestudering van het Zeeuwse Meer nog in de kinderschoenen staat.

2. Onderzoek van de waterloopkundige randvoorwaarden

Zoals men het onderzoek ten behoeve van het IJsselmeer niet los kan zien, van de afvoer van de IJssel, de Rijnkanalisatie en de afvoer van de Bovenrijn, zo is ook voor de waterhuishouding in het deltagebied de opperwaterafvoer en zijn verdeling bepalend.

Het zoete water dat het deltagebied ontvangt, is afkomstig van de Rijn en de Maas en enkele kleine riviertjes en beken, die het water van buiten onze landsgrenzen aanvoeren, en voorts van neerslag op eigen bodem. In droge tijden is het aandeel van de Rijn meer dan 90%. Geen wonder dus, dat de aandacht zich ook bij de bestudering van het deltagebied sterk op de Rijn concentreert.

Van het Rijn- en Maaswater gaat in tijden van kleine rivierafvoeren na uitvoering van de Rijnkanalisatie circa 20% naar de IJssel en het IJsselmeer en het overige naar de Lek, de Waal en het deltagebied. Het verzorgingsgebied van de bovenrivieren, de benedenrivieren en de afgesloten zeearmen is ongeveer even groot als dat van de IJssel en het IJsselmeer. Ogenschijnlijk is de bovengenoemde verdeling van het opperwater voor het deltagebied dus zeer gunstig. Inderdaad bedraagt de aanvoer van opperwater naar dit gebied ook in tijden van waterschaarste een veelvoud van de behoefte aan water voor agrarische, huishoudelijke en industriële doeleinden. In feite is deze gunstige verhouding echter slechts schijn, want téveel van het opperwater

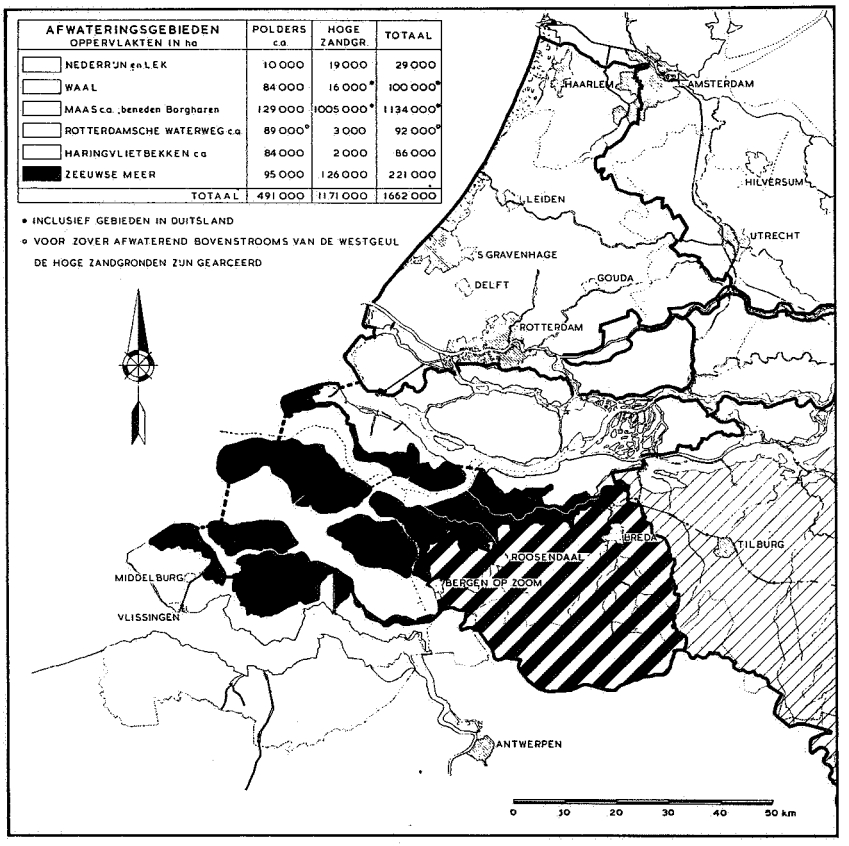


FIG. 1. Overzicht van de afwateringsgebieden in zuidwest Nederland

FIG. 1. *Survey of drainage areas in the south-west of the Netherlands*

FIG. 1. *Vue d'ensemble des régions de drainage dans le Sud-Ouest des Pays-Bas*

afwateringsgebieden	*drainage areas*	*régions de drainage*
oppervlakte in ha	*areas in hectares*	*superficies en hectares*
Zeeuwse Meer	*Zealand Lake*	*Lac de Zélande*
polders	*polders*	*polders*
hoge zandgronden	*high sandy soils*	*hautes terres sablonneuses*
incl. gebieden in Duitsland	*including areas in Germany*	*les régions en Allemagne compris*
voorzover afwaterend bovenstrooms van de Westgeul	*as far as discharge takes place upstream of the Westgeul*	*pour autant s'écoulant en amont du Westgeul*
de hoge zandgronden zijn gearceerd	*the high sandy soils are shaded*	*les hautes terres sablonneuses sont hachées*

is nodig om het zout in de kustgebieden te bestrijden. Bij de hoeveelheid rivierwater die hiervoor nodig is, valt het verbruik van kwaliteitswater voor

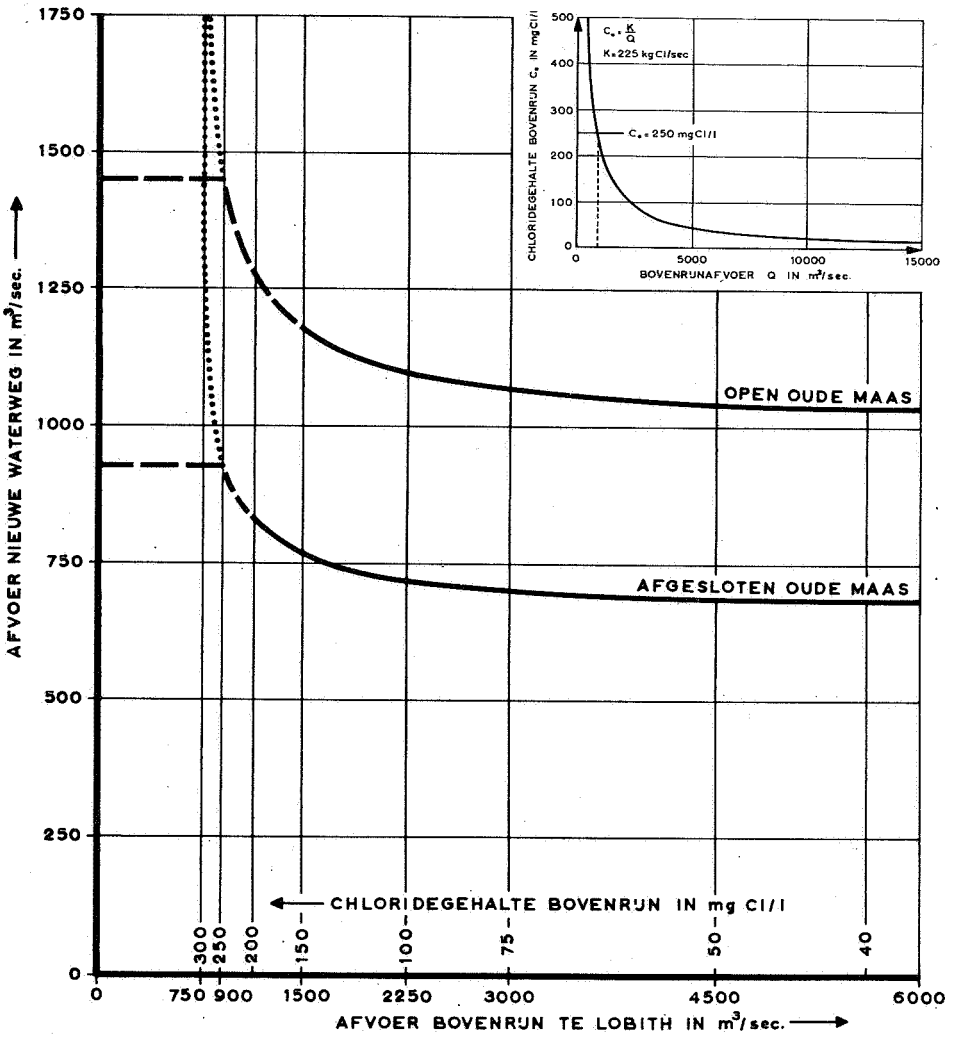


FIG. 2. Afvoer van de Nieuwe Waterweg, nodig voor de zoutbestrijding tot een chloridegehalte van 300 mg Cl/l, bij hoogwaterkentering ter hoogte van de Parkhaven na uitvoering van de deltawerken met open en afgesloten Oude Maas

FIG. 2. *Discharge of the New Waterway, necessary for checking the salt percentage to a chloride content of 300 mg Cl/l, at the turn of high tide near the Parkhaven after execution of the Delta works with the Oude Maas open and closed*

FIG. 2. *L'écoulement du Nieuwe Waterweg, nécessaire à empêcher la salinisation jusqu'à un taux chlorure de 300 mg Cl/l, au renversement de la haute marée à la hauteur du Parkhaven après la mise en oeuvre des travaux deltaïques avec l'Oude Maas ouverte et fermée*

afvoer Nieuwe Waterweg in m³/sec	*discharge New Waterway in m³/sec*	*écoulement du Nieuwe Waterweg en m³/sec.*
chloridegehalte Bovenrijn in mg Cl/l	*chloride content Upper Rhine in mg Cl/l*	*taux de chlorure du Rhin en mg Cl/l*
open Oude Maas	*Oude Maas open*	*Oude Maas ouverte*
afgesloten Oude Maas	*Oude Maas closed*	*Oude Maas fermée*
afvoer Bovenrijn te Lobith in m³/sec	*discharge Upper Rhine at Lobith in m³/sec.*	*écoulement du Rhin à Lobith en m³/sec.*

de landbouw enz. vrijwel in het niet. Hieruit volgt het grote belang van waterreservoirs, ook in het deltagebied, terwijl tevens de betekenis naar voren komt van een studie op wèlke plaats men wèlke kwaliteit van het water wenst te hebben en in wèlk jaargetijde. De verdeling van het opperwater over de benedenrivieren en afgesloten zeearmen, i.c. over de Rotterdamse Waterweg, het Haringvlietbekken en het Zeeuwse Meer, wordt door deze kwaliteitseisen volkomen bepaald.

De verdeling van het opperwater over het deltagebied heeft men goeddeels in de hand, doordat men de afvoer via de Haringvlietsluizen en de stroomsluizen in de Volkerakdam naar behoefte kan regelen.

Speciaal voor de Rotterdamse Waterweg zullen ook na uitvoering der werken grote hoeveelheden opperwater benodigd blijven om binnendringen van zeewater tegen te gaan. Het grote verschil met de huidige situatie bestaat evenwel hierin, dat men — door de afvoer van opperwater via de Haringvlietsluizen te beperken — meer water door de Waterweg tot afvloeiing zal kunnen brengen dan thans van nature langs deze weg wordt afgevoerd. Daarbij moet erop worden gerekend, dat men in de toekomst steeds meer water aan de Nieuwe Maas zal willen onttrekken ten behoeve van de landbouw, de industrie en de drinkwatervoorziening, terwijl voorts het stuwprogramma van de Rijnkanalisatie met zich zal brengen, dat minder water van de Lek langs de Rotterdamse Waterweg zal afvloeien. Het is mogelijk de onttrekking van water aan de Rotterdamse Waterweg, evenals de natuurlijke afname van het debiet van deze rivier bij lage bovenafvoeren, te compenseren via de Noord. Daartoe zal men de Haringvlietsluizen in tijden van waterschaarste geheel of nagenoeg geheel gesloten moeten houden. Ook zal men dan geen opperwater laten afvloeien naar het Zeeuwse Meer, doch teren op de watervoorraad die in dit meer aanwezig is. Op deze wijze zal vrijwel al het water van Waal en Maas langs de Waterweg tot afvloeiing komen. Hierdoor zal ook in tijden van lage bovenafvoeren het zout op de Rotterdamse Waterweg in het algemeen tot aanvaardbare grenzen kunnen worden teruggedrongen, zonder dat men een redelijke onttrekking van water voor de landbouw in het deltagebied of verder bovenstrooms behoeft te beperken. Dit valt echter

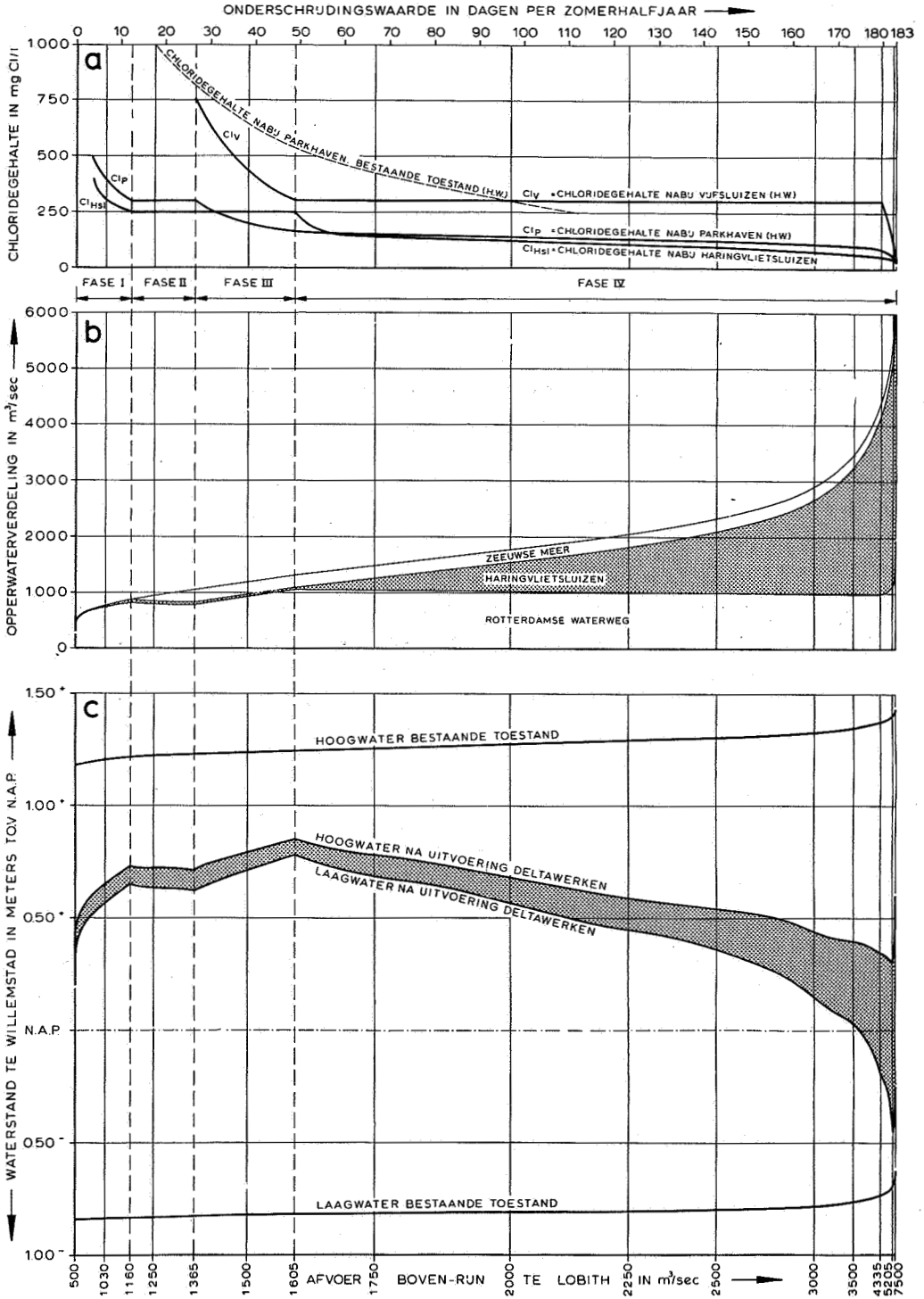

ONDERSCHRIJDINGSWAARDE IN DAGEN PER ZOMERHALFJAAR
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 183
a
CHLORIDEGEHALTE IN mg Cl/l
1000
750
500
250
0
CHLORIDEGEHALTE NABIJ PARKHAVEN, BESTAANDE TOESTAND (H.W.)
ClV
ClP
ClHsl
ClV = CHLORIDEGEHALTE NABIJ VIJFSLUIZEN (H.W.)
ClP = CHLORIDEGEHALTE NABIJ PARKHAVEN (H.W.)
ClHsl = CHLORIDEGEHALTE NABIJ HARINGVLIETSLUIZEN
FASE I
FASE II
FASE III
FASE IV
b
OPPERWATERVERDELING IN m³/sec
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
ZEEUWSE MEER
HARINGVLIETSLUIZEN
ROTTERDAMSE WATERWEG
c
WATERSTAND TE WILLEMSTAD IN METERS TOV N.A.P.
1.50 +
1.00 +
0.50 +
N.A.P.
0.50 -
1.00 -
HOOGWATER BESTAANDE TOESTAND
HOOGWATER NA UITVOERING DELTAWERKEN
LAAGWATER NA UITVOERING DELTAWERKEN
LAAGWATER BESTAANDE TOESTAND
500 1030 1160 1250 1365 1500 1605 1750 2000 2250 2500 3000 3500 4335 5205 7500
AFVOER BOVEN-RIJN TE LOBITH IN m³/sec

FIG. 3. Overzicht van de verdeling van het opperwater over de Rotterdamse Waterweg, het Haringvliet en het Zeeuwse Meer, met bijbehorende chloridegehalten en waterstanden, na uitvoering van de deltawerken met afgesloten Oude Maas

FIG. 3. *Survey of the distribution of the quantity of river water over the Rotterdam Waterway, the Haringvliet and Zealand Lake, together with corresponding chloride contents and water levels, after execution of the Delta works with the Oude Maas closed.*

FIG. 3. *Aperçu de la répartition du débit fluvial sur le Rotterdamse Waterweg, le Haringvliet et le Lac de Zélande, avec des taux de chlorure et niveaux d'eau connexes, après l'achèvement des travaux deltaïques avec l'Oude Maas fermée*

onderschrijdingswaarde in dagen per zomer halfjaar	*number of days during which discharge is not reached per summer half-year*	*nombre de jours par semestre d'été pendant lesquels le niveau d'eau reste en dessous des valeurs déterminées*
chloridegehalte in mg Cl/l	*chloride content in mg Cl/l*	*taux de chlorure en mg Cl/l*
opperwaterverdeling in m^3/sec	*distribution of river water in m^3/sec.*	*répartition du débit fluvial en m^3/sec.*
Zeeuwse Meer	*Zealand Lake*	*Lac de Zélande*
waterstand te Willemstad in m	*water level at Willemstad in metres*	*niveaux d'eau à Willemstad en mètres*
hoogwater huidige situatie	*high tide in present situation*	*haute marée dans la situation actuelle*
hoogwater na uitvoering deltawerken O.M.D.	*high tide after execution of Delta works with Oude Maas closed*	*haute marée après la mise en oeuvre des travaux deltaïques, Oude Maas fermée*
laagwater huidige situatie	*low tide at present situation*	*basse marée dans la situation actuelle*
Afvoer Bovenrijn te Lobith in m^3/sec	*discharge Upper Rhine at Lobith in m^3/sec.*	*écoulement du Rhin à Lobith en m^3/sec.*
laagwater na uitvoering deltawerken O.M.D.	*low tide after execution of Delta works with Oude Maas closed*	*basse marée après la mise en oeuvre des travaux deltaïques, Oude Maas fermée*

alleen naar behoren te verwezenlijken, indien — als onderdeel van de deltawerken — ook de Oude Maas in zijn benedenmond afsluitbaar wordt gemaakt. Men bereikt daarmede namelijk, dat al het opperwater dat naar de Waterweg wordt gestuwd via de Noord langs Rotterdam moet stromen, hetgeen voor de bestrijding van het zout aldaar een gunstig effect zal hebben.

Ondanks de uitvoering van de deltawerken en de afsluiting van de Oude Maas kan toch het inlaten van voldoende zoet water uit de Nieuwe Maas niet onder alle omstandigheden worden gegarandeerd. De voornaamste oorzaak hiervan is, dat het zoutgehalte van het opperwater bij kleine Rijnafvoeren naar verhouding hoog oploopt. Het kost dan een onevenredig grote hoeveelheid water om het zoutgehalte op de Nieuwe Maas voldoende laag te houden, en deze hoeveelheid is bij zeer kleine bovenafvoeren niet beschikbaar.

Zodra meer rivierwater ter beschikking is, zal men, nadat het zout op de Nieuwe Maas tot aanvaardbare grenzen is teruggedrongen, door de uitwateringssluizen in het Haringvliet een geringe hoeveelheid opperwater lozen ten

behoeve van de verversing van dit bekken. Het overige zal men gebruiken om het Zeeuwse Meer door te spoelen en op peil te houden.

Wanneer daarna nog opperwater over is, kan men dit gebruiken om de kwaliteit van het water in de Rotterdamse Waterweg verder te verbeteren. Het meerdere zal men als overtollig water via de Haringvlietsluizen afvoeren. Het Haringvliet blijft daarmee zijn functie als voornaamste afvoerweg van Waal en Maas behouden.

De invloed die de deltawerken op de waterstanden in het achterliggende gebied zullen uitoefenen, is zeer groot. Bij de bestaande situatie overheerst de getijbeweging uit zee. Na uitvoering van de deltawerken kan het getij echter alleen nog via de Rotterdamse Waterweg binnendringen, waardoor het op het Haringvlietbekken sterk zal zijn afgevlakt. De invloed van de opperwaterafvoer en haar verdeling zullen daar de overhand krijgen.

Wanneer de Haringvlietsluizen bij kleine rivierafvoeren gesloten zijn, is er veel verval nodig om al het water van Waal en Maas door de Noord naar de Rotterdamse Waterweg te stuwen.

Hierdoor zal men op het Haringvlietbekken betrekkelijk hoge middenstanden aantreffen met een zeer klein tijverschil. Wanneer de Oude Maas open blijft, vormt zij een tweede afvoerweg naar de Waterweg. De middenstanden op het Haringvliet worden daardoor enkele decimeters lager.

Bij toenemende opperwaterafvoeren, waarbij de Haringvlietsluizen tijdens eb steeds wijder zullen worden geopend om overtollig water af te laten, zal op het Haringvlietbekken een soort schijngetij ontstaan. De verschillen tussen de hoog- en laagwaterstanden op dit bekken worden groter, terwijl de middenstanden zullen dalen omdat ter compensatie van de toegenomen Lekafvoer minder water door de Noord tot afvloeiing behoeft te worden gebracht.

Uiteindelijk — bij zeer grote rivierafvoeren — gaan ook de hydraulische weerstanden op het Haringvliet en Hollands Diep een belangrijke rol spelen, waardoor het tijverschil op het Haringvlietbekken wederom zal afnemen en de middenstanden omhoog zullen lopen.

Aangezien het Zeeuwse Meer voor zijn voeding voor gemiddeld 85% zal zijn aangewezen op het water van Rijn en Maas, dat via het Haringvlietbekken en de Volkeraksluizen moet worden aangevoerd, zal er een sterke binding bestaan tussen dit meer en het noordelijke deltagebied. Deze binding heeft betrekking op de *hoeveelheid* water die aan het noordelijk gebied ten behoeve van het Zeeuwse Meer kan worden onttrokken, zowel als op het *peil,* waartoe men het meer kan opzetten. Als gevolg hiervan kan men het Zeeuwse Meer niet onafhankelijk van de inrichting van het noordelijk bekken bezien.

Zo vormen bijvoorbeeld de onderzoekingen naar de hoeveelheid water nodig voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg en de studies inzake het afsluiten van de Oude Maas, naast een zelfstandig onderzoek, tevens een belangrijk onderdeel van het onderzoek voor het het Zeeuwse Meer. Op deze wijze kan men immers nagaan wanneer en met welke hoeveelheid water het Zeeuwse Meer kan worden gevoed en tot welk peil men het kan opzetten. Zowel bij de inrichting van het noordelijk bekken, als bij de inrichting van het Zeeuwse Meer, dient men zich van deze koppeling zeer wel bewust te zijn.

3. Onderzoek van de waterkwaliteit

Wanneer door de afsluitingen van het Veeregat, het Volkerak, het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde omstreeks 1980 het circa 50.000 ha metende Zeeuwse Meer zal zijn gevormd, zal dit meer aanvankelijk zeer zout zijn. Een chloridegehalte van rond 18.000 mg Cl/l mag worden verwacht.

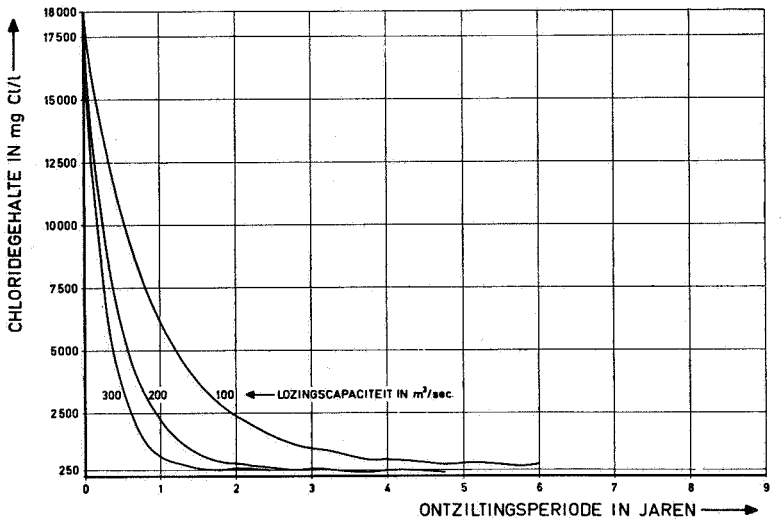


Fig. 4. Verloop van de ontzilting van het Zeeuwse Meer als functie van de hoeveelheid doorspoelingswater

Fig. 4. *Development of desalination of Zealand Lake as a function of the quantity of flush water*

Fig. 4. *Le processus du dessalement du Lac de Zélande en fonction de la quantité d'eau de passage*

ontziltingsperiode in jaren	*discharge capacity in m³/sec.*	*période de dessalement au cours des années*
chloridegehalte in mg Cl/l	*chloride content in mg Cl/l*	*taux de chlorure en mg Cl/l*
lozingscapaciteit in m³/sec	*desalination period in years*	*capacité de débit en m³/sec.*

Ter vergelijking zij vermeld, dat het IJsselmeer direct na afsluiting een chloridegehalte had van ongeveer 6000 mg Cl/l.

De vraag doet zich allereerst voor, hoe lang het zal duren, voordat het Zeeuwse Meer door inlaat van zoet water via de Volkeraksluizen en lozing van zouter water nabij de afsluitdammen zal zijn ontzilt. Bij de berekeningen hiervoor kon gebruik gemaakt worden van de studies en waarnemingen met betrekking tot het IJsselmeer, met name voorzover het betreft de diffusie van het bodemzout en de te verwachten menging van het aanwezige zoute en brakke water met het ingelaten zoete water. Voorts moest rekening gehouden worden met het zoute uitslagwater van de polders en de kwel onder de afsluitdammen. Uit het onderzoek volgde, dat de ontzilting van het Zeeuwse Meer op basis van een doorspoeling van gemiddeld 200 m^3/sec ongeveer 2 à 2½ jaar in beslag zal nemen. Dit betekent een verversing gelijk aan circa vijf maal de inhoud van het meer, hetgeen in treffende overeenstemming is met de resultaten ten aanzien van het IJsselmeer. Uiteraard zal er na deze eerste ontziltingsperiode nog wel zout water onder in de diepe geulen zijn achtergebleven, doch meer aan de oppervlakte en zeker op Krammer en Volkerak zal de ontzilting goeddeels zijn voltooid.

De invloed van het achterblijven van zout in diepe geulen moet nog worden onderzocht. Dit onderzoek zal moeilijk zijn, omdat noch het IJsselmeer, noch het Brielse Meer in dit opzicht geschikte voorbeelden leveren.

Niet alleen ten tijde van de ontzilting, doch ook daarnà, zal doorspoeling van het Zeeuwse Meer geboden blijven. De ondergrond in Zeeland is namelijk zeer zout, en dit zout kwelt in de diep gelegen polders omhoog. Het zoute uitslagwater van de polders kan slechts door middel van doorspoeling uit het meer verwijderd worden. Hoe groter de kwel en hoe zwaarder de eisen die men aan de kwaliteit van het water stelt, des te meer doorspoeling zal er nodig zijn. Voor de bepaling van de kwaliteit en de mate van doorspoeling is het derhalve nodig om te weten:

a. hoe groot de zoute kwel naar de polders is,
b. hoe deze door de deltawerken zal veranderen als gevolg van de gewijzigde waterstanden en van de geleidelijke ontzilting van de ondergrond,
c. en welke relatie er bestaat tussen de zoute kwel, de neerslag en de hoeveelheid zout uitslagwater.

Het laatste is van belang, omdat in de zomer weinig water en dus ook weinig zout door de polders wordt uitgeslagen, waardoor de polders verzilten en het Zeeuwse Meer slechts weinig met zout wordt bezwaard, terwijl in de winter het omgekeerde het geval is.

Om de bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden, laat de Afdeling Waterhuishouding van de Deltadienst zich bijstaan door een werkgroep van deskundigen van tal van instituten en instellingen, te weten de Geologische Dienst, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, de Cultuurtechnische Dienst, het Laboratorium voor Grondmechanica, het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, het Archief Grondwaterstanden T.N.O. en de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat.

De bepaling van de zoute kwel en de veranderingen daarin, zal moeten plaatsvinden aan de hand van geo-hydrologische berekeningen. Daartoe moet de *hydro-lithologische opbouw* van de ondergrond in het deltagebied goed bekend zijn, evenals de *horizontale* of *verticale doorlatendheid* van de verschillende grondlagen.

Bij globale berekeningen werd uitgegaan van het zogenaamde Hollandse profiel, bestaande uit een slecht doorlatende bovenlaag ter dikte van omstreeks 20 m ($c \approx 500$ etm), daaronder een goed doorlatend zandpakket ($k \approx 5 \cdot 10^{-2}$ cm/sec.) ten tenslotte een ondoorlatende oligocene kleibasis op een diepte van circa 50 m in het zuiden, dalend tot rond 200 m in het noordelijk deltagebied. Meer in detail wordt de opbouw met onderlinge uitwisseling van gegevens nagegaan door de Geologische Dienst, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, de Werkgroep Geo-elektrisch Onderzoek T.N.O. en de Deltadienst.

De doorlatendheid van de verschillende pakketten wordt op diverse wijzen bepaald, namelijk door doorlatendheidsproeven in het laboratorium aan de hand van grondmonsters, alsmede aan de hand van metingen in het terrein. Tot de laatstgenoemde categorie behoren de doorlatendheidsmetingen in situ van het Laboratorium voor Grondmechanica, de pompproeven van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening ten behoeve van een tiental grote bouwputten in het deltagebied, de metingen van de door de bronbemaling dezer bouwputten uitgeslagen hoeveelheden water in samenhang met de meting van de potentiaalverlagingen in de omgeving door de Deltadienst, alsmede de meting van o.m. uitgeslagen water en grondwaterstanden in twaalf speciaal daarvoor uitgezochte polders in het deltagebied.

Deze polders, de zogenaamde *onderzoekpolders* werden gekozen in overleg met de cultuurtechnici. Bij deze keuze speelden verschillende overwegingen een rol. De polders moesten verspreid liggen over het deltagebied en zowel geo-hydrologisch als agro-hydrologisch representatief zijn. De waterstaatkundige toestand in de polder diende zo eenvoudig mogelijk te zijn, terwijl ook op eenvoudige wijze moest kunnen worden gemeten. Om deze reden werd aan bemalen polders de voorkeur gegeven, waarbij de betrouwbaarheid

van de machinist mede in beschouwing werd genomen. Slechts één polder, de Wilhelminapolder op Zuid-Beveland, loost door middel van een uitwateringssluis.

In de meeste polders wordt sinds 1 maart 1958 gemeten. De Deltadienst bepaalt de dagelijkse uitgeslagen en ingelaten hoeveelheden water en zout uit het gemeten chloridegehalte van dit water en de waterstanden aan de binnen- en buitenzijde van het lozingswerk. De bedoeling is, dat althans op één plaats in elke polder ook dagelijks de grondwaterstand zal worden opgenomen. Voor kwelberekeningen werden in sommige polders reeds incidentele meer-daagse grondwaterstandsmetingen uitgevoerd; andere polders moeten nog volgen. Het ligt tevens in de bedoeling in overleg met het K.N.M.I. het aantal regenmeters ten behoeve van de onderzoekpolders uit te breiden. Wellicht zal men er — evenals bij de Dienst der Zuiderzeewerken — ook toe

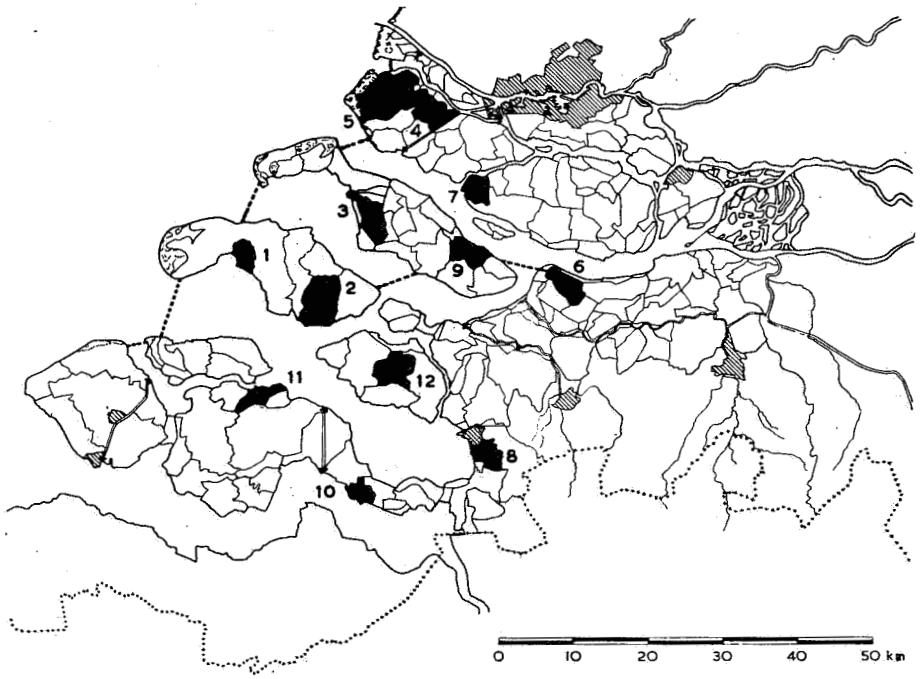


FIG. 5. Overzicht van de onderzoekpolders in het deltagebied:
1. „Prunje", 2. „Vierbannen", 3. „Dirksland", 4. „De Holle Mare", 5. „De Noordsluis", 6. „De Ruigenhil", 7. „De Oude Korendijk", 8. „Augusta", 9. „Den Bommel" c.a., 10. „Waarde", 11. „Wilhelmina", 12. „Poortvliet".

FIG. 5. *Survey of the research polders in the Delta area*

FIG. 5. *Vue d'ensemble des polders de recherches dans la région deltaïque*

komen de verdamping van open water, per maand berekend volgens PENMAN, met behulp van verdampingsmeters om te werken tot waarden per dag. Of dit voor de onderzoekpolders nodig zal zijn, dient nog nader te worden onderzocht.

In drie van de onderzoekpolders (Wilhelmina, Prunje en Goudswaard) wordt de waterhuishouding door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding in detail nagegaan. Hieraan moeten wij onmisbare gegevens ontlenen inzake o.m. de detailverdeling van de kwel over de polder, het verband tussen neerslag, water- en chlooruitslag, de water- en chloorberging in de grond en de verdampingsfactor, zijnde de verhouding tussen de verdamping van open water en de werkelijke evapotranspiratie van de polder. In het algemeen gesproken leren wij aan de hand van dit detailonderzoek hoe wij onze metingen in de onderzoekpolders moeten verwerken en interpreteren. Speciaal om deze reden is voor ons ook het werk van de Werkgroep Deltagebied van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding van groot belang, omdat het ons brengt van het gemaal en de dijk naar de zo ingewikkelde landbouwwaterhuishouding in de polder.

Met betrekking tot het chloorbezwaar van het toekomstige Zeeuwse Meer beschikken wij — in afwachting van de resultaten der bovengenoemde onderzoekingen — alleen nog maar over ruwe schattingen. Deze wijzen op een door de polders uitgeslagen hoeveelheid chloor van 1200 . 10^6 kg Cl/ jaar (IJsselmeer thans 900 . 10^6 kg Cl/jaar). De afname van het zoutbezwaar door geleidelijke ontzilting van de ondergrond bedraagt na een periode van 10 à 15 jaar naar schatting circa 20%, zodat het chloorbezwaar door polderkwel dan rond 950 . 10^6 kg Cl/jaar ofwel gemideld 30 kg Cl/sec zal bedragen. Het chloorbezwaar door kwel onder de afsluitdammen en door diffusie van het bodemzout zal tegen die tijd ongeveer 5 kg Cl/sec bedragen. Het totale chloorbezwaar kan dan dus bij benadering op gemiddeld 35 kg Cl/sec worden gesteld.

Rekent men op een gemiddeld chloridegehalte van het via de Volkeraksluizen ingelaten water van 100 mg Cl/l en op een gehalte van het nabij de afsluitdammen geloosde water van 250 à 300 mg Cl/l (gemiddeld 275 mg Cl/l), dan valt bij het bovengenoemde chloorbezwaar een doorspoeling te berekenen van gemiddeld 200 m^3/sec. Een doorspoeling van 100 m^3/sec zal tot aanzienlijk ongunstiger resultaten leiden, terwijl een doorspoeling van 300 m^3/sec de situatie naar verhouding slechts in betrekkelijk geringe mate zal verbeteren.

Van de zoute kwel naar de polders wordt des zomers naar schatting slechts 25% op het Zeeuwsche Meer uitgeslagen, des winters 75%. Op basis van

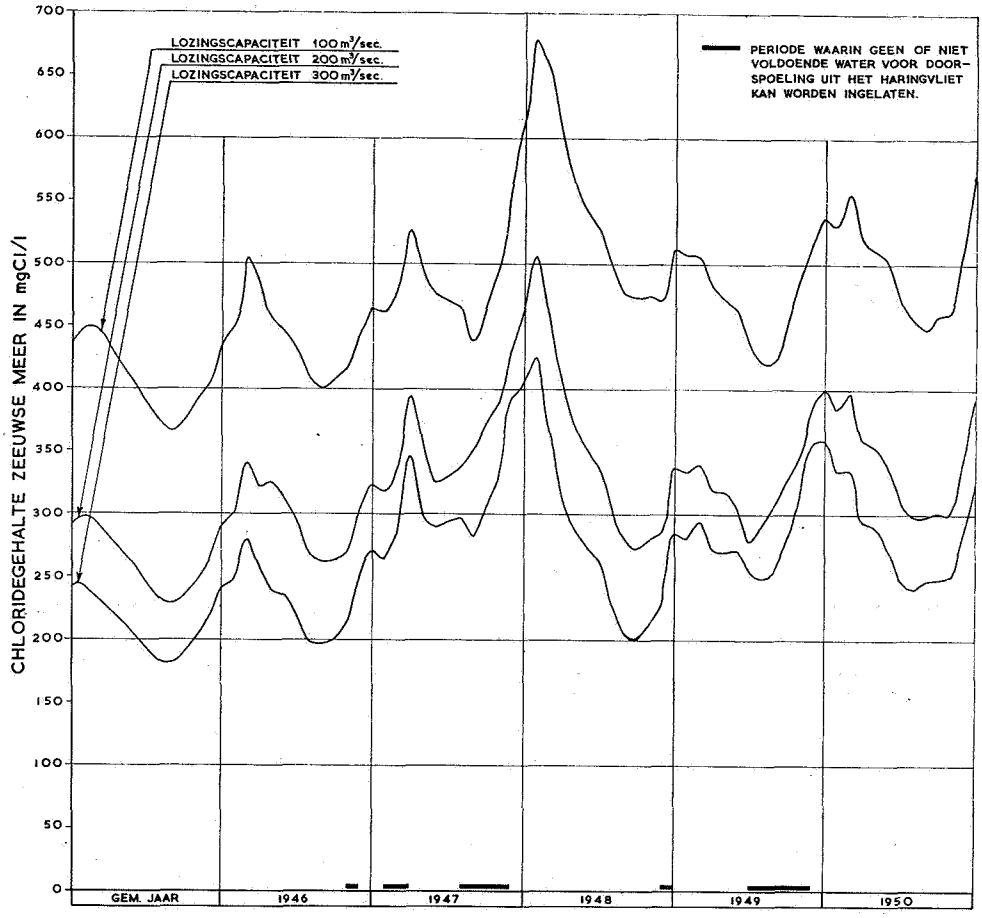


FIG. 6. Verloop van het gemiddelde chloridegehalte in het Zeeuwse Meer, geschat voor een gemiddeld jaar en voor een periode als van 1946 t/m 1950, beide vallend omstreeks 10 à 15 jaar na de primaire ontzilting van dit meer, uitgaande van verschillende hoeveelheden doorspoelingswater

FIG. 6. *Development of the average chloride content in the Zealand Lake, estimated for a mean year and for a period as from 1946 through 1950, both about 10 or 15 years after the original desalination of this lake, based on different quantities of flush water*

FIG. 6. *Taux moyens de chlorure dans le Lac de Zélande, évalués pour une année moyenne de même que pour une période comme par example de 1946—1950, tous deux tombant environ 10 à 15 ans après le dessalement primaire de ce Lac, partant de différentes quantités d'eau de passage*

periode waarin geen of niet voldoende water voor doorspoeling uit het Haringvliet kan worden ingelaten	*period during which insufficient water or none at all can be admitted from the Haringvliet for flushing*	*période pendant laquelle il n'est possible d'amener de l'eau de passage — ou des quantités insuffisantes seulement — depuis le Haringvliet*
lozingscapaciteit	*discharge capacity*	*capacité de débit*
chloridegehalte Zeeuwse Meer in mg Cl/l	*chloride content Zealand Lake in mg Cl/l*	*taux de chlorure au Lac de Zélande en mg Cl/l*
gem. jaar	*mean year*	*année moyenne*

een min of meer continue doorspoeling, waarbij de afmetingen van de lozingsmiddelen het kleinste kunnen zijn, zal het chloridegehalte op het Zeeuwse Meer dus in de winter wat hoger zijn dan in de zomer. Wanneer men maar zorgt, dat het gehalte in de winter bepaalde grenzen niet overschrijdt, is het een voordeel te noemen dat des zomers, wanneer de waterbehoefte het grootst is, de kwaliteit van het water juist het beste zal zijn.

Gedurende perioden met lage Rijnafvoeren, wanneer het inlaten van water door de Volkeraksluizen moet worden gestaakt, kan het Zeeuwse Meer niet worden doorgespoeld. Aangezien de chloorbelasting van het meer goeddeels zal blijven bestaan, zal het chloridegehalte geleidelijk oplopen. De stijging van het chloridegehalte is derhalve niet direct te wijten aan een hoog chloridegehalte van het Rijnwater; indirect echter wel, omdat onder dergelijke omstandigheden teveel opperwater nodig is voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, zodat er te weinig of niets overblijft voor doorspoeling van het Zeeuwse Meer.

Wat betreft de eisen die aan het chloridegehalte van het Rijnwater moeten worden gesteld, valt er op grond van het bovenstaande een principieel onderscheid te maken tussen het Zeeuwse Meer en het IJsselmeer. In verband met de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg is het voor het Zeeuwse Meer van belang, dat het chloridegehalte van het Rijnwater steeds zo laag mogelijk is, terwijl het er betrekkelijk weinig toe doet of de hoeveelheid chloor die door de Rijn wordt afgevoerd, groot is dan wel klein. Voor het IJsselmeer met zijn grote buffercapaciteit doet het daarentegen nauwelijks ter zake hoe het chloridegehalte van de Rijn per dag verloopt, doch is het voornamelijk van betekenis, dat de hoeveelheid chloor die per jaar door de IJssel naar het IJsselmeer wordt afgevoerd, beperkt blijft.

De voorlopige schattingen voor het Zeeuwse Meer geven aan, dat men een chloridegehalte van 300 mg Cl/l op het meer aanvankelijk niet onder alle omstandigheden zal kunnen handhaven. Dit vormt een reden om het chloorbezwaar van het meer zoveel mogelijk te beperken. Mede hierom zullen geen schutsluizen in de dammen door het Brouwershavense Gat, de Oosterschelde en het Veere Gat worden aangelegd. Hierdoor zou namelijk veel extra zout op het meer worden gebracht, dat daaruit moeilijk en slechts ten koste van veel water zou zijn te verwijderen. Bij Vlissingen en Hansweert zullen speciale voorzieningen moeten worden getroffen om het zout dat met het schutten binnendringt, aanstonds terug te spoelen. Dat dit nodig zal zijn, moge blijken uit het feit dat het schutten te Hansweert zonder zoutbestrijding het Zeeuwse Meer zou belasten met een hoeveelheid chloor van naar schatting 80 kg Cl/sec.

Eerst wanneer het grondwater in de diepe zandpakketten goeddeels zal zijn ontzilt, zal het zoutbezwaar door kwel zijn betekenis verloren hebben. Het tempo waarin de ontzilting van de diepe ondergrond zal geschieden, is een vraagstuk op zichzelf, waarop hier niet nader zal worden ingegaan. Dat deze ontzilting lange tijd in beslag zal nemen, is echter wel zeker. Dit wordt bevestigd door de ervaringen opgedaan in de Wieringermeer, waar men eerst thans iets van een betekenende afname van het zoutbezwaar begint te merken.

4. Peilregeling en inrichting

De peilregeling van het Zeeuwse Meer en de inrichting, waaronder ook begrepen de aanpassingswerken die in verband daarmede nodig zijn, zullen ongetwijfeld voor een belangrijk deel samenhangen met het gebruik van dit meer als waterreservoir.

Reeds kwam ter sprake, dat de watervoorraad van het Zeeuwse Meer zal moeten worden aangesproken zodra de afvoer van de Rijn en de Maas zodanig klein is, dat er onvoldoende water overblijft om het meer via de Volkeraksluizen te voeden. Het onderzoek naar de waterloopkundige randvoorwaarden geeft aan, dat dit het geval zal zijn bij Bovenrijnafvoeren kleiner dan 1100 à 1200 m^3/sec indien de Oude Maas in het kader der deltawerken is afgesloten, en kleiner dan 1400 à 1500 m^3/sec wanneer de Oude Maas open blijft.

Zodra de voeding via de Volkeraksluizen wordt gestopt, zal men ook de doorspoeling van het Zeeuwse Meer stop zetten. Alleen voor de zoutbestrijding bij de schutsluizen te Hansweert en Vlissingen blijft water nodig, bij benadering 20 m^3/sec. Verdamping minus neerslag vergt in een droge zomer nog eens gemiddeld 20 m^3/sec, terwijl de waterbehoefte exclusief oostelijk Noord-Brabant dan circa 60 m^3/sec zal bedragen. Totaal is in een droge zomerperiode dus 100 m^3/sec nodig, ofwel rond 250 . 10^6 m^3/maand.

Deze hoeveelheid moet onttrokken worden aan de watervoorraad in het meer. Om dit mogelijk te maken zal men het meerpeil omstreeks maart en april verhogen. In verband met de waterstanden op het Haringvlietbekken lijkt een peil van omstreeks 0,5 m + N.A.P. een bereikbaar en te onderhouden maximum.

De oppervlakte van het Zeeuwse Meer bedraagt met inbegrip van het Grevelingenbekken ongeveer 50.000 ha. Tussen een peil van 0,5 m + en b.v. 0,5 m—N.A.P. bevindt zich dus een watervoorraad van 500.10^6 m^3. Dit houdt in, dat men hieruit gedurende twee maanden achtereen aan extreme behoefte zal kunnen voldoen. Indien de Oude Maas is afgesloten, blijkt dit vrijwel steeds voldoende te zijn om droge perioden als die van 1934, 1947, 1949 en 1959 te overbruggen. Alleen een jaar als 1921 zou moeilijkheden hebben ge-

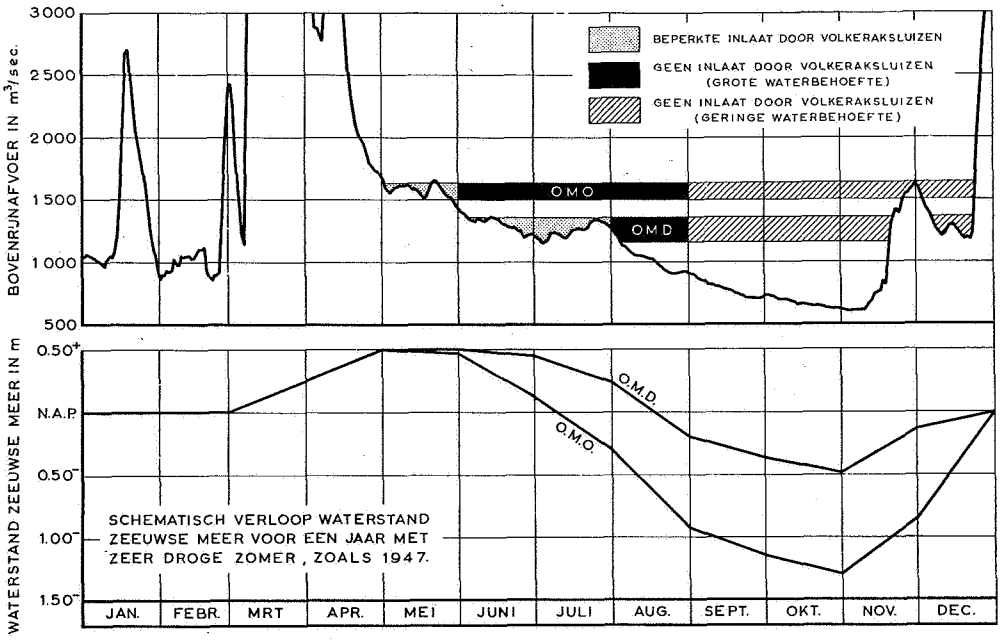


FIG. 7. Schematisch verloop van de waterstand op het Zeeuwse Meer, voor een jaar met zeer droge zomer zoals 1947, na uitvoering van de deltawerken met open en afgesloten Oude Maas

FIG. 7. *Schematic development of the water level on Zealand Lake, for a year with an extremely dry summer as 1947, after execution of the Delta works with Oude Maas open and closed*

FIG. 7. *Aperçu schématique des niveaux d'eau au Lac de Zélande, dans une année de grande sécheresse comme par exemple 1947, après l'achèvement des travaux deltaïques avec l'Oude Maas ouverte et fermée*

waterstand Zeeuwse Meer in m	*water level Zealand Lake in metres*	*niveaux d'eau au Lac de Zélande en mètres*
Bovenrijnafvoer in m³/sec	*Upper Rhine discharge in m³/sec.*	*écoulement du Rhin en m³/sec.*
beperkte inlaat door Volkeraksluizen	*restricted inlet through Volkerak sluices*	*amenée d'eau réduite par les écluses du Volkerak*
geen inlaat door Volkeraksluizen (grote waterbehoefte)	*no inlet through Volkerak sluices (great need of water)*	*pas d'amenée d'eau par les écluses du Volkerak (grand besoin d'eau)*
geen inlaat door Volkeraksluizen (geringe waterbehoefte)	*no inlet through Volkerak sluices (little need of water)*	*pas d'amenée d'eau par les écluses du Volkerak (faible besoin d'eau)*
O.M.D.	*Oude Maas closed*	*Oude Maas fermée*
O.M.O.	*Oude Maas open*	*Oude Maas ouverte*
N.A.P.	*N.A.P. (new Amsterdam level)*	*N.A.P. (nouvel étiage d'Amsterdam)*

geven. Daarbij moet echter worden opgemerkt, dat men deze moeilijkheden door een goede voorspelling van de Bovenrijnafvoer vermoedelijk belangrijk zou kunnen beperken.

Wanneer de Oude Maas na uitvoering der deltawerken open blijft, zullen de middenstanden op het Haringvlietbekken niet onbelangrijk lager zijn dan die bij afgesloten Oude Maas. Het Zeeuwse Meer zal men dus minder hoog kunnen opzetten. Maar ook al neemt men aan, dat een uitgangspeil van 0,5 m + N.A.P. bereikt kan worden, dan nog heeft men het nadeel dat de voeding van het meer reeds gestaakt moet worden bij een Bovenrijnafvoer van 1400 à 1500 m^3/sec. De watervoorraad in het Zeeuwse Meer moet dus belangrijk eerder worden aangesproken, dan bij de toestand met afgesloten Oude Maas waarvoor in het voorgaande een kritieke Rijnafvoer van 1100 à 1200 m^3/sec werd opgegeven. Juist in geblokkeerde droge perioden kan dit maanden verschil maken. Met open Oude Maas zal men met de watervoorraad van het Zeeuwse Meer dus minder goed uitkomen.

Bij het voorgaande werd het gehele Zeeuwse Meer als waterreservoir ingeschakeld gedacht, terwijl een eventuele watervoorziening van oostelijk Noord-Brabant niet werd meegerekend. Gaat men het reservoir verkleinen of de waterbehoefte vergroten, dan zal de capaciteit van het Zeeuwse Meer al spoedig meer of minder zwaar worden overbelast. Men zal zich daarom ter dege bewust moeten zijn wat men doet, indien men bijvoorbeeld het Grevelingenbekken ten behoeve van de recreatie een vast peil zou geven of het zou inrichten als oesterbekken, waardoor het als zoetwaterreservoir verloren zou gaan. Ook wanneer men op uitgebreide schaal land zou willen winnen, zal daar tegenover staan dat dit ten koste gaat van de watervoorraad. Tevens zal men niet uit het oog mogen verliezen, dat de zoutbestrijding bij schutsluizen water vergt, hetwelk in droge tijden aan de watervoorraad moet worden onttrokken. Deze en andere overwegingen spelen alle bij de inrichting van het Zeeuwse Meer een rol. Daarbij komt nog, dat — zoals reeds werd opgemerkt — de inrichting van het Zeeuwse Meer onverbrekelijk samenhangt met de inrichting van het noordelijk deltagebied. Dit geldt — hetgeen nog niet ter sprake kwam — ook met betrekking tot de veiligheid. Men zal namelijk de mogelijkheid willen open houden om bij stremming van grote opperwaterafvoeren ten tijde van storm water af te laten van het Haringvlietbekken naar het Zeeuwse Meer, waarvoor een ruime kombergingsmogelijkheid dient over te blijven.

Wij moeten dus tot de slotsom komen, dat men voorshands zeer voorzichtig moet zijn om ten aanzien van de inrichting van het Zeeuwse Meer reeds

thans al te veel te willen vast leggen. Een geleidelijke groei moet mogelijk zijn en dient een van de uitgangspunten te zijn bij de opzet der plannen. Ook in dit opzicht wijst het IJsselmeer ons de weg; een weg die wij ook in Zeeland moeten afleggen, stap voor stap en met wijs beleid.

DISCUSSIE

IR. G. HEKKET: heeft de vorm van het Zeeuwse Meer (o.a. het aanwezig zijn van dode hoeken) nog invloed op de tijdsduur van de ontzilting?

ANTWOORD: Ongetwijfeld zullen bepaalde delen van het Zeeuwse Meer eerder ontzilt zijn dan andere, en later wellicht ook steeds een lager chloridegehalte behouden. Aangezien het doorspoelingswater via de Volkeraksluizen wordt ingelaten, zullen het daarachter gelegen Volkerak en Krammer in het algemeen tot de zoetste delen van het meer behoren. Ook het water in het oostelijk gedeelte van de Oosterschelde zal door verschillende gunstige factoren van goede kwaliteit kunnen zijn. Nabij de afsluitdammen, waar het doorspoelingswater — na veel zout uitslagwater der polders te hebben opgenomen — uiteindelijk zal worden geloosd, zal de kwaliteit van het water uiteraard minder zijn.

IR. A. G. WIERSMA: Figuur 3 geeft een indruk van de inlaatmogelijkheden voor de aan de Waterweg grenzende gebieden, bij 300 mg Cl per liter van het rivierwater in een normaal jaar. Dit chloorgehalte is echter de grenswaarde voor de tuinbouw. Deze vereist dus niet die waarde, maar een lagere. Bovendien gaat het niet om een normaal jaar, maar om ongunstige jaren.

ANTWOORD: De in figuur 3 gekozen chloridegehalten zijn uitgezet als functie van de Bovenrijnafvoer (zie horizontale schaalverdeling aan de onderzijde van de figuur). De figuur is derhalve op alle jaartypen met kleine zowel als met grote afvoeren toepasbaar. De gemiddelde overschrijdingswaarde van deze afvoeren is voor het zomerhalfjaar ter oriëntatie aan de bovenzijde van de figuur bijgeschreven. De chloridegehalten hebben betrekking op de toestand bij hoogwaterkentering op de rivier, d.w.z. wanneer de chloorconcentratie het hoogst is. Bij alle andere fasen van het getij zijn de gehalten lager, met een minimum-waarde ten tijde van de laagwaterkentering. Men heeft dus alle gelegenhied water met een voldoende laag chloridegehalte in te laten. Overigens dient te worden opgemerkt, dat de figuur bedoeld is als voorbeeld en nog geen bindende richtlijn voor de toekomst inhoudt.