

RAPPORT DELTACOMMISSIE

---

BIJDRAGE IV.1  
PROF. IR. J. TH. THIJSSÉ

BIJDRAGEN IV.2-6  
RIJKSWATERSTAAT

ONDERZOEKINGEN  
BETREFFENDE DE OPZET  
VAN HET DELTAPLAN EN DE GEVOLGEN  
VAN DE WERKEN

BIBLIOTHEEK  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
Van der Burghweg  
Postbus 5044, 2600 CA Delft  
T.L. 011-12.111

12 NOV. 1991

## REPORT OF THE DELTA COMMITTEE

### CONTRIBUTIONS IV

- IV.1 – The Model of the Dutch Delta area in the Delft Hydraulics Laboratory
- IV.2 – The effect of the Delta Works on the tides and the storm-surge levels along the coast of the southwestern part of the Netherlands
- IV.3 – The effect of the Delta Works on the water movement and the security against flooding in the tidal area of the southwestern part of the Netherlands
- IV.4 – The water conservancy in the tidal reaches of the Rhine and the Meuse and in the estuaries after the completion of the Delta Works
- IV.5 – The effect of the damming-up of the tidal estuaries on the ice in the rivers of Zeeland and South Holland
- IV.6 – The movement of sand in the tidal region of the southwestern part of the Netherlands

## RAPPORT DE LA COMMISSION DU DELTA

### CONTRIBUTIONS IV

- IV.1 – Le Modèle du Delta dans le Laboratoire d'Hydraulique à Delft
- IV.2 – L'influence des Travaux du Delta sur les marées et sur les niveaux à marées-tempête le long de la côte dans le sud-ouest des Pays-Bas
- IV.3 – L'influence des Travaux du Delta sur le mouvement d'eau et la protection contre des inondations dans la région des marées du sud-ouest des Pays-Bas
- IV.4 – Les aspects hydrologiques du régime des eaux dans la région des cours maritimes et des estuaires du Rhin et de la Meuse après l'achèvement des Travaux du Delta
- IV.5 – L'influence de la fermeture des estuaires sur les difficultés causées par la glace dans les rivières de la Zélande et de la Hollande Méridionale
- IV.6 – Le mouvement du sable dans la région des marées du sud-ouest des Pays-Bas

# RAPPORT DELTACOMMISSIE

## BIJDRAGEN IV

Dit deel van het Rapport Deltacommissie bevat de volgende bijdragen:

Bijdrage IV. 1 – <i>J. Th. Thijsse</i> . Het Deltamodel in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft . . . . .	7
Bijdrage IV. 2 – <i>Rijkswaterstaat: J. J. Dronkers</i> . De invloed van de deltawerken op de getijbeweging en de stormvloedstanden langs de kust van Zuidwest-Nederland . . . . .	35
Bijdrage IV. 3 – <i>Rijkswaterstaat: J. J. Dronkers, H. J. Stroband</i> . De invloed van de deltawerken op de waterbeweging en de veiligheid tegen overstromingen in het getijgebied van Zuidwest-Nederland. . . . .	85
Bijdrage IV. 4 – <i>Rijkswaterstaat: K. F. Valken</i> . De waterstaatkundige aspecten van de waterhuishouding in het gebied van de benedenrivieren en de zeearmen na de uitvoering van de deltawerken . . . . .	191
Bijdrage IV. 5 – <i>Rijkswaterstaat: P. Santema, J. N. Svášek</i> . De invloed van de afdamming van de zeegaten op het ijsbezwaar op de Zeeuwse en Zuidhollandse stromen . . . . .	295
Bijdrage IV. 6 – <i>Rijkswaterstaat: R. H. J. Morra, H. M. Oudshoorn, J. N. Svášek, F. J. de Vos</i> . De zandbeweging in het getijgebied van Zuidwest-Nederland . . . . .	327

## VOORWOORD

Deze bijdragen maken deel uit van het Rapport Deltacommissie, dat is samengesteld uit het Eindverslag en de Interimadviezen van deze commissie en uit een aantal bijdragen.

De volledige uitgave bestaat uit de volgende zes delen:

- Deel 1. Eindverslag en Interimadviezen van de Deltacommissie.
- Deel 2. Bijdrage van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut over stormvloeden. - Bijdrage I.
- Deel 3. Bijdragen van het Mathematisch Centrum over stormvloeden - Bijdragen II.
- Deel 4. Bijdragen van de Rijkswaterstaat over stormvloeden en getijbeweging - Bijdragen III.
- Deel 5. Bijdragen van Prof. Ir. J. Th. Thijsse en de Rijkswaterstaat betreffende de opzet van het Deltaplan en de gevolgen van de deltawerken - Bijdragen IV.
- Deel 6. Bijdragen van de Rijkswaterstaat, het Waterloopkundig Laboratorium en de Werkgroep voor het onderzoek naar de spanningstoestand in zeedijken, bevattende onderzoekingen van belang voor het ontwerpen van dijken en dammen - Bijdragen V.  
Bijdrage van Prof. Dr. J. Tinbergen over de economische balans van het Deltaplan - Bijdrage VI.

Een overzicht van de inhoud van de zes delen is opgenomen achter in deel 1.

De Deltacommissie spreekt gaarne haar erkentelijkheid uit jegens de auteurs van de in deel 5 opgenomen bijdragen voor hun bereidheid om de resultaten van hun werk in deze vorm ter beschikking te stellen.

De verantwoordelijkheid voor de inhoud van deze bijdragen berust bij Prof. Ir. J. Th. Thijsse (Bijdrage IV.1) en de Rijkswaterstaat (Bijdragen IV.2 - 6).

's-Gravenhage, januari 1961

DE DELTACOMMISSIE

## FOREWORD

These contributions form part of the Report of the Delta Committee, which is made up of the Final Report and the Interim Reports of this Committee and a number of contributions.

The complete edition consists of the following six volumes:

- Volume 1. Final Report and Interim Reports of the Delta Committee.
- Volume 2. Contribution of the Royal Netherlands Meteorological Institute on storm surges - Contribution I.
- Volume 3. Contributions of the Mathematical Centre on storm surges - Contributions II.
- Volume 4. Contributions of the Rijkswaterstaat (Governmental Service for Roads and Waterworks) on storm surges and tidal movements - Contributions III.
- Volume 5. Contributions of Prof. Ir. J. Th. Thijsse and the Rijkswaterstaat, regarding the conception of the Delta Plan and the consequences of the Delta Works - Contributions IV.
- Volume 6. Contributions of the Rijkswaterstaat, the Hydraulics Laboratory and the Working Group for Examining Stress-distributions in Sea Dikes, including investigations of importance for planning dikes and dams - Contributions V.  
Contribution of Prof. Dr. J. Tinbergen. Balance sheet of the Delta Plan - Contribution VI.

A summary of the contents of each of the six volumes is given at the back of volume 1.

The Delta Committee wishes to express its appreciation to the authors of the contributions contained in Volume 5 for their willingness to place the results of their work at the Committee's disposal.

Prof. Ir. J. Th. Thijsse (Contribution IV.1) and the Rijkswaterstaat (Contributions IV.2 - 6) are responsible for the contents of their contributions.

The Hague, January 1961

THE DELTA COMMITTEE

## INHOUDSOVERZICHT

0.1 Inhoudsoverzicht . . . . .	9
0.2 Overzicht van de figuren . . . . .	10
0.3 Opgenomen bijlage . . . . .	10
0.4 Literatuur . . . . .	10
0.5 Summary . . . . .	11
0.6 Résumé . . . . .	11
<b>1.0 Samenstelling van de bijdrage . . . . .</b>	<b>12</b>
1.1 Inleiding . . . . .	12
1.2 Auteur . . . . .	12
<b>2.0 Ontstaan van het model . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>3.0 De schalen van het model . . . . .</b>	<b>13</b>
<b>4.0 De grenzen van het model . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>5.0 Constructie van het model . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>6.0 Regeling van de randvoorwaarden . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>7.0 De waarnemingen . . . . .</b>	<b>22</b>
7.1 Het waarnemen van waterstanden . . . . .	22
7.2 Het waarnemen van stromen . . . . .	24
<b>8.0 Het model als integratiemiddel van de differentiaalvergelijkingen die de waterbeweging beschrijven . . . . .</b>	<b>26</b>
8.1 De differentiaalvergelijkingen . . . . .	26
8.2 Invloed van de samentrekking van het model . . . . .	27
8.3 Bodemwrijving . . . . .	27
8.4 Windwrijving . . . . .	29
8.5 Invloed van de aardrotatie . . . . .	29
8.6 De invloed van dichtheid-verschillen van het water . . . . .	31
<b>9.0 De nauwkeurigheid . . . . .</b>	<b>32</b>
9.1 De nauwkeurigheid van de waarnemingen . . . . .	32
9.2 De nauwkeurigheid van het model . . . . .	32
9.3 Het ijken van het model . . . . .	33
9.4 De nauwkeurigheid van de uitkomsten . . . . .	33
<b>Naschrift . . . . .</b>	<b>34</b>

**0.2 OVERZICHT VAN DE FIGUREN**

4.0.1	Overzicht modelgrenzen M 284, augustus 1948 en mei 1949 . . . . .	14
4.0.2	Overzicht modelgrenzen M 284, september 1953 . . . . .	15
4.0.3	Overzicht modelgrenzen M 284, mei 1956 . . . . .	16
4.0.4	Overzicht modelgrenzen M 600, juni 1959 . . . . .	17
5.0.1	Modelbouw . . . . .	18
6.0.1	Meetstuw voor rivierafvoer . . . . .	19
6.0.2	Getijregeling met de hand . . . . .	20
6.0.3	Getijpaneel . . . . .	21
7.1.1	Peilnaaldaflezer . . . . .	22
7.1.2	Pik-pik . . . . .	23
7.1.3	Waterstandsvolger . . . . .	24
7.2.1	Stroommeter. . . . .	25
7.2.2	IJkdiagram debietmeter Noord. . . . .	26
8.3.1	Weerstandstripjes. . . . .	28
8.3.2	Weerstandstaafjes . . . . .	28
8.5.1	Coriolistollen . . . . .	31

**0.3 OPGENOMEN BIJLAGE**

IV.1. — 1.1.1 Kaart van het door het Deltamodel weergegeven gebied.

**0.4 LITERATUUR** De verwijzing in de tekst is aangegeven door []

1. *Staatscommissie inzake* Verslag 1918-1926. 's-Gravenhage, 1926.  
*hooge waterstanden in ver-*  
*band met de afsluiting der*  
*Zuiderzee („Staats-*  
*commissie-Lorentz”)*
2. *H. J. Schoemaker* Invloed van de aardrotatie bij waterloopkundig modelonderzoek. De  
Ingenieur, nr. 49, 1958.

## 0.5 SUMMARY

### The Model of the Dutch Delta area in the Delft Hydraulics Laboratory

A hydraulic model of the Delta area has been constructed in the Delft Hydraulics Laboratory. Originally only a portion of the area was reproduced in the model (fig. 4.0.1). Eventually the model was extended (figs. 4.0.2 and 4.0.3) to reproduce the entire affected area (fig. 4.0.4). The model number, which was originally 284, was then changed to 600.

No attempt was made to measure the movements of the bed-load, hence a fixed, concrete bed (fig. 5.0.1) could be employed, since only the motion of the water was to be investigated.

The required boundary conditions, consisting of river discharges (fig. 6.0.1) and of tidal fluctuations, were originally controlled manually (fig. 6.0.2), but later automatic controls (fig. 6.0.3) were provided.

Similarly the measurements of water levels were first made with point gauges (fig. 7.1.1), which were later mechanized (fig. 7.1.2) but eventually they were replaced by automatic level recorders (fig. 7.1.3). Velocity and discharge measurements were originally read on a pendulum current meter (fig. 7.2.1) on which an automatic recording device was later attached.

Bed roughness was simulated by the introduction of baffle rods (figs. 8.3.1 and 8.3.2). No attempt was made to simulate the wind effect on the water surface, but the results were corrected to account for this effect. Vertical rotating cylinders were introduced to correct for the forces due to the rotation of the earth, by substituting the Magnus effect for the Coriolis acceleration (fig. 8.5.1).

With all the improvements which have been introduced in the present model, the errors in the measured water level (in the prototype) are less than 0,05 m for normal conditions and 0,1 m for storm surges. Current velocities can be determined with an error of less than 0,10 m sec<sup>-1</sup>.

This contribution has been written by Prof. Ir. J. Th. Thijsse.

## 0.6 RÉSUMÉ

### Le Modèle du Delta dans le Laboratoire d'Hydraulique à Delft

Dans le Laboratoire d'Hydraulique à Delft on a construit un modèle hydraulique de la région du Delta. A l'origine, il ne représentait qu'une partie de cette région (fig. 4.0.1). Par la suite, il fut développé par étapes (figs. 4.0.2 et 4.0.3) devint ce qu'il ait atteint ses dimensions complètes en 1959 (fig. 4.0.4). Le numéro du modèle, qui était d'abord 284, jusqu'à alors le numero 600.

Dans le modèle, ce n'est pas le mouvement du matériau solide que l'on a voulu étudier, mais seulement celui de l'eau. Cela signifie donc qu'il a des parois fixes en béton (fig. 5.0.1). Aux limites du modèle est introduit le débit désiré des rivières (fig. 6.0.1), ou bien le mouvement vertical désiré du niveau d'eau (mer). Cette opération qui se faisait d'abord à la main (fig. 6.0.2), devint plus tard automatique (fig. 6.0.3). De même la mesure des niveaux d'eau qui se faisait précédemment à l'aide de pointeaux (fig. 7.1.1), fut mécanisée en deux étapes (figs. 7.1.2 et 7.1.3). Tout d'abord on lisait les vitesses des courants sur des appareils à pendule (fig. 7.2.1), puis ces appareils furent équipés de dispositifs d'enregistrement.

On a obtenu la résistance de frottement nécessaire sur les parois en utilisant des tiges métalliques (figs. 8.3.1 et 8.3.2).

On n'a pas représenté la force tangentielle du vent à la surface de l'eau, mais les résultats sont corrigés en tenant compte de cet effet.

On tient compte de l'influence de la rotation de la terre (accélération Coriolis) en utilisant l'effet Magnus, réalisé par des cylindres verticaux tournants (fig. 8.5.1).

Grâce à toutes ces améliorations introduites dans le modèle les mesures des niveaux d'eau peuvent être faites avec une erreur inférieure à 0,05 m pour les marées ordinaires et une erreur inférieure à 0,10 m pour les marées de tempête. Les vitesses des courants peuvent être déterminées avec une erreur inférieure à 0,10 m sec<sup>-1</sup> (valeurs du prototype).

Cette contribution a été écrite par le Prof. Ir. J. Th. Thijsse.

## 1.0 SAMENSTELLING VAN DE BIJDRAGE

### 1.1 Inleiding

In deze bijdrage wordt een overzicht gegeven van de voorbereiding en de bouw van het model van de benedenrivieren en zeearmen in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft. Tevens worden behandeld de wijze van meten in het model en de nauwkeurigheid van de meetresultaten.

In dit model, dat in het vervolg het Deltamodel zal worden genoemd, zijn de proeven uitgevoerd, die – samen met berekeningen van de Rijkswaterstaat – de basis hebben gevormd voor de opstelling van het Deltaplan. In deze bijdrage is niet ingegaan op de proeven. Deze zijn – voor zover nodig – vermeld in de Bijdragen IV.3 en IV.4.

### 1.2 Auteur

De bijdrage is samengesteld door Prof. Ir. J. Th. Thijsse, lid van de Deltacommissie en tijdens het samenstellen van deze bijdrage directeur van het Waterloopkundig Laboratorium te Delft, met medewerking van personeel van dat laboratorium.

## 2.0 ONTSTAAN VAN HET MODEL

Het initiatief tot het maken van het model is uitgegaan van de Stormvloedcommissie. In haar vergadering van 7 juni 1946 bleek het, dat een groot aantal situaties moest worden gezien: Twee-, Vier- en Vijf-Eilandenplan met varianten en in verschillende stadia van uitvoering. Het verloop van getijden en van stormvloed en moest in al die situaties worden nagegaan.

De aanvankelijk door de Staatscommissie-Lorentz [1] en daarna door de Rijkswaterstaat ontwikkelde rekenmethodes maken het mogelijk de noodzakelijke gegevens te verschaffen en men had hiermee al een aanvang gemaakt. Met succes was de bestaande toestand – toestand 0 – in het betrokken gebied nagerekend en ook voor een in de toekomst mogelijke situatie, na het leggen van een afsluitdam, waren reeds resultaten verkregen.

Het bezwaar van het uitvoeren van getijberekeningen is, dat het berekenen van een volgende situatie telkens bijna evenveel arbeid en tijd vergt als aan de voorgaande situatie was besteed.

In dit opzicht is het model in het voordeel. De eerste proef is uitermate tijdrovend en kostbaar: het model moet worden gebouwd, geutiliseerd en beproefd en vóór de eerste uitkomst is verkregen, is veel meer tijd verstreken en veel meer geld uitgegeven dan voor de berekening nodig zou zijn geweest. Daarna zijn de bordjes verhangen. Wil men de invloed van een afsluitdam nagaan, dan wordt een stuk triplex, in de juiste vorm gezaagd, in de rivier- of zeearm geplaatst. De naden worden gedicht met plasticine en de proef van zoëven – zonder de afsluitdam – wordt herhaald. Er is minder dan een dag mee gemoeid en ook als men ter wille van meerdere zekerheid de proef verscheidene malen herhaalt, is het in enige dagen bekeken.

Op grond van deze overwegingen vroeg – en kreeg – de directie Benedenrivieren van de Rijkswaterstaat machtiging, het Waterloopkundig Laboratorium te Delft op te dragen, het model te bouwen. De directeur van dat laboratorium – lid van de Stormvloedcommissie en schrijver van deze bijdrage – schatte, dat het model in een jaar kon worden gebouwd en dat met de bouw omstreeks vijftig duizend gulden zou zijn gemoeid.

Er werd op gerekend dat het model zeker enkele jaren zou moeten dienst doen en daarom werd het niet gewenst geacht het in het laboratoriumgebouw te plaatsen. Het zou bijna de gehele grote hal in beslag hebben genomen en dientengevolge het andere werk van het laboratorium op ontoelaatbare wijze hebben gehinderd. Er was echter naast het gebouw een strook grond, rijkseigendom, beschikbaar en daarop is het model aangelegd.

Dit betekende, dat het model in de open lucht zou komen en dat het dus 's winters aan de vorst zou worden blootgesteld. In het bijzonder moest het bezwaar van opvriezen onder het oog worden gezien. Daarom is, vóór het invallen van de vorst, een klein deel van het model (het Spui) gemaakt en aan zijn lot overgelaten. Het trof, dat de winter 1946/47 bijzonder streng was en toen in het voorjaar bleek, dat er in de hoogteligging van het model geen waarneembare verandering was gekomen,



was het zeker, dat er geen bezwaar zou bestaan tegen een model in de open lucht. Het kreeg het volgnummer 284 en het model is daarom altijd aangeduid als M 284.

De zomer van 1947 is besteed om het grootste deel van het model te bouwen. Het bleef echter niet in de open lucht. Er kwam gelegenheid om uit een magazijn van oorlogsgoederen twaalf nieuwe Amerikaanse legertenten (squadron tents) te kopen, die, aan elkander genaaid, het model overkaptten. Daarmee was niet de storing door vorst ondervangen, maar wel de veelvuldiger voorkomende storing door regen of wind (ook bij slecht weer was het mogelijk op het model te werken, al had het bij het gaan van de ene tent naar de andere soms veel weg van een kruip-door-sluip-door-spelletje).

### 3.0 DE SCHALEN VAN HET MODEL

De opdracht, waaraan het model moest voldoen, was het weergeven van de getijbeweging, bij goed weer en bij storm, en de afvoer van het rivierwater. Het moest dus worden ingericht om de beweging van water getrouw te reproduceren. Het meevoeren door het water van zand over de bodem viel buiten de opdracht. Daarom was er geen bezwaar tegen, het model sterk samen te trekken, dus de horizontale afmetingen veel sterker te verkleinen ten opzichte van de werkelijkheid dan de verticale.

In dit opzicht behoefde geen pionierswerk te worden verricht: in het Waterways Experiment Station van de Mississippi River Commission te Vicksburg, Miss. was reeds vóór de oorlog een model van de benedenloop van de Mississippi in bedrijf met een twintigvoudige samentrekking: verticale schaal 100, horizontale schaal 2000. Schrijver dezès had dit model bezocht in 1938 en in 1946. Het had de tand des tijds goed doorstaan.

Voor het Deltamodel werd de verticale schaal van 100 onvoldoende geacht. Men wilde de waterstanden weergeven tot op één of twee centimeter nauwkeurig. Stelt men de meetnauwkeurigheid in het model op een kwart millimeter, dan komt men tot een hoogteschaal van 60 tot 70. De keus viel op 64. Een kwadraat is voor deze schaal aan te bevelen, omdat de snelheidsschaal de wortel uit de hoogteschaal is.

Bij de keus van de lengteschaal kwamen verschillende overwegingen te pas. Men maakt het model uiteraard niet groter dan nodig is, om kosten en tijd te sparen. De samentrekking stelt echter een grens: alle taluds worden veel steiler dan in de werkelijke rivieren. Dit kan alleen bedenkelijk zijn voor taluds van geulen, die door de stroom worden gekruist. Het zou kunnen, dat de stroom in de rivier zelf zo'n talud kan volgen, maar dat hij in het model het zoveel steilere talud loslaat. Er ontstaat dan in het diepe gedeelte van de geul een tegenstroom – een neer –, die in de werkelijkheid niet voorkomt. Deze afwijking kan worden tegengegaan door de steile taluds in het model af te vlakken: wanneer dit goed wordt gedaan, is er geen bezwaar tegen. Men kan de samentrekking toch niet tot het oneindige opvoeren. Bij het model te Vicksburg was de grens lang niet bereikt en men kwam tot de conclusie, dat in het Deltamodel een samentrekking van 35 tot 40 nog zou zijn toe te laten (later is in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft een ander model met een samentrekking van 50 met goed gevolg in bedrijf geweest).

Men koos nu een lengteschaal van 2400, dus een samentrekking van  $37\frac{1}{2}$ . Op deze schaal kon het model gemakkelijk op het beschikbare terrein worden gebouwd; er bleef nog ruimte over voor eventuele latere uitbreiding.

De gekozen combinatie levert een zeer geschikte schaal voor de tijd op. Met een snelheidschaal van  $\sqrt{64} = 8$  zal een waterdeeltje een 2400 keer verkleinde afstand in het driehonderdste deel van de tijd afleggen. De tijdschaal is dus  $2400 : 8 = 300$ . In het model komt een seconde dus overeen met vijf minuten. De nauwkeurigheid van de tijdbepaling komt dus in het model (een halve seconde) goed overeen met die in het deltagebied (een paar minuten). Een uur duurt in het model twaalf seconden, een getijperiode is omstreeks  $2\frac{1}{2}$  minuut, een dag bijna vijf minuten.

Men heeft in het model juist de tijd om de verschijnselen op de voet te volgen. Het weergeven van een stormperiode van vier, vijf dagen maakt het nodig, het model omstreeks twintig minuten in bedrijf te hebben, wat mogelijk is zonder de waarnemers en „operateurs” te zeer te vermoeien en daardoor minder goede resultaten te krijgen.

Aan de eis, dat de waterbeweging in het model turbulent moet zijn, is bij de gekozen schalen voldaan. Een stroomsnelheid van 0,3 m per seconde in 2 m waterdiepte wordt in het model weergegeven

door 0,04 m per seconde en 0,03 m waterdiepte. Zelfs koud water, met een viscositeit van  $1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  per seconde, is dan nog turbulent: de grootte van het getal van Reynolds  $0,04 \cdot 0,03 : 1,8 \cdot 10^{-6} = 667$  is nog ruimschoots boven de kritieke grens.

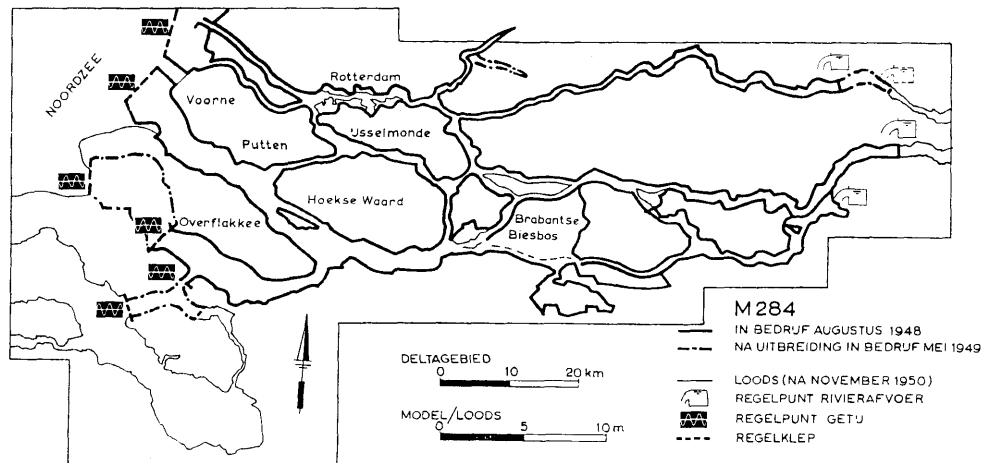
#### 4.0 DE GRENZEN VAN HET MODEL

Er was geen twijfel ten aanzien van de bovenstroomse begrenzing van het model: het moest zich even ver uitstrekken als de invloed van de zee. Bij de Maas is dat de stuw van Lith. Op de Waal is tussen Tiel en Dodewaard nauwelijks meer iets te merken van getijden en van stormvloed; op de Neder-Rijn is dat in de omgeving van Amerongen het geval.

Aan de zeezijde moet de grens buiten de kust liggen, en wel zo ver, dat veranderingen, die in het stromenstelsel worden aangebracht – afdammingen, verruiming of anderszins –, geen waarneembare invloed meer hebben op de plaats, die voor de modelgrens is gekozen.

Op grond daarvan is de Maasvlakte, waarin de Rotterdamse Waterweg en de Brielse Maas uitmonden, in het model opgenomen. Hetzelfde geschiedde met het bankengebied van het Zeegat van Goeree.

Verder zuidwaarts is men aanvankelijk niet zo ver gegaan. De ontworpen werken lagen immers alle benoorden het Hollands Diep en het Haringvliet en het ten zuiden daarvan gelegen gebied kon alleen worden beïnvloed door veranderingen in de stromen door het betrekkelijk nauwe Volkerak. Daarom zijn wél de Krammer en een deel van de Grevelingen in het model gereproduceerd, maar men is niet verder gegaan dan de lijn van de Hoek van Herkingen op Overflakkee naar de Stelhoek op Duiveland. Uiteraard viel ook het Zijpe in het model, dat dus de in figuur 4.0.1 aangegeven grenzen kreeg.



Figuur 4.0.1. Overzicht modelgrenzen M 284, augustus 1948 en mei 1949

Zo kwam M 284 in 1948 in bedrijf: op 20 augustus van dat jaar werd voor het eerst water ingelaten en kon het regelen en het proefbedrijf beginnen. Met de eerste meetserie werd half november 1948 begonnen. Vóór de winter werden enige Twee-, Vier- en Vijf-Eilandenplannen doorgemeten.

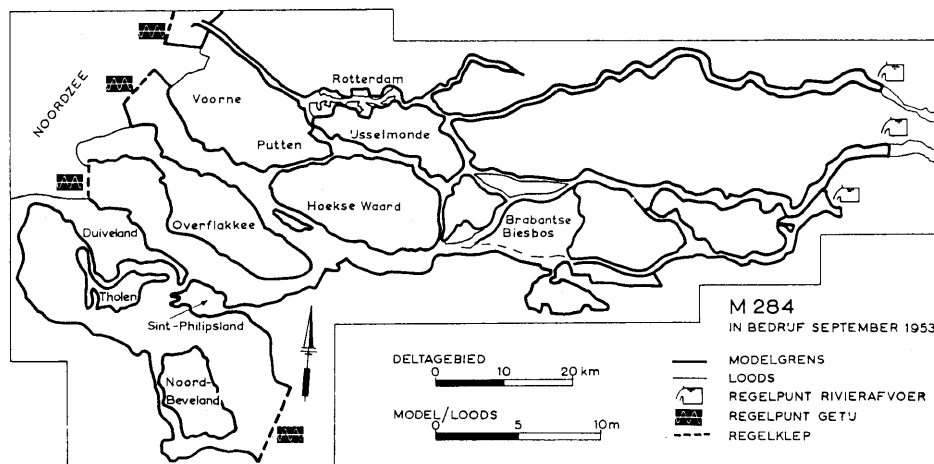
Het duurde niet lang, voor de vraag werd gesteld, de invloed na te gaan van het maken van een afsluitdam door het Hollands Diep of door het Volkerak. Daarvoor was de modelgrens bij Herkingen ongeschikt: het model moest in westelijke richting worden uitgebreid. Nog was het niet nodig tot in volle zee te gaan: de modelgrens kwam te liggen even bewesten Brouwershaven. Ook naar het zuiden werd de grens verlegd: Mastgat en Keten werden aan het model toegevoegd, dat voortaan reikte tot Stavenisse. Ook de Lek werd in stroomopwaartse richting iets verlengd, omdat gebleken was, dat de stormvloedgolf in deze rivier nog tegen het uiteinde van het model terugkaatste. De nieuwe grenzen zijn in figuur 4.0.1 aangegeven met streep-stip-lijnen.

In deze situatie, die in mei 1949 bereikt was, heeft het model een nieuw onderdak gekregen. Het was duidelijk geworden, dat het nog vele jaren dienst zou moeten doen en toen de tenten ouderdomsgebreken gingen vertonen, is besloten een houten loods op een betonnen voet te maken, over en om het model heen, met een reserveruimte aan de zuidzijde van het model, tegen het permanente laboratoriumgebouw aan. In november 1950 is de loods gereedgekomen.

Hiermee was de gelegenheid ontstaan om de modelruimte te verwarmen. Een ketel van een tuinbouwbedrijf met bijbehorende radiatoren was voldoende om de ruimte vorstvrij te houden, zodat winter en zomer kon worden doorgewerkt. In 1959 is deze installatie vervangen door een permanente.

Een kleine amputatie onderging het model na de afsluiting van Brielse Maas en Botlek. Het gebied tussen deze dammen is opgevuld. De Maasvlakte bedient sedertdien alleen de Rotterdamse Waterweg.

In het najaar van 1952 werd de opdracht ontvangen de mogelijkheden van uitbreiding van het model te onderzoeken, gezien de plannen voor afdammingen in het zuidelijk deel van het deltagebied. Om dit goed te doen, zou het model moeten worden uitgebreid tot buiten de loods. Dit stuitte op grote bezwaren in verband met de bestaande bebouwing. Daarom is besloten, voorlopig een niet geheel juiste oplossing te nemen. Het Brouwershavense Gat werd niet verder uitgebreid. In het zuiden werd weliswaar de Oosterschelde van Bergen op Zoom tot Westenschouwen (Schouwen)-Vrouwenpolder (Walcheren) in het model gereproduceerd, maar dit gebied moest sterk worden verwrongen. In het Zijpe werden zelfs de windstreken west en oost verwisseld (het model is in het Zijpe zijn nek omgedraaid), zodat Bergen op Zoom ten zuiden van Brouwershaven kwam te liggen en Zierikzee bezuiden Sint-Philipsland (figuur 4.0.2).



Figuur 4.0.2. Overzicht modelgrenzen M 284, september 1953

Hiermee is het volgende bereikt:

De algemene invloed van de afsluiting van de beide zuidelijke zeegeten komt redelijk tot uitdrukking, evenals de toestand die ontstaat, wanneer één der gaten is afgesloten en het andere nog niet.

De vervallen bij en de stromen door de sluitgaten in de afsluitdammen worden voldoende nauwkeurig weergegeven om globaal een oordeel te kunnen vormen over de te volgen werkwijze bij het sluiten.

De stromen in het Zijpe zijn, vooral ten aanzien van de verdeling over het dwarsprofiel, onbetrouwbaar.

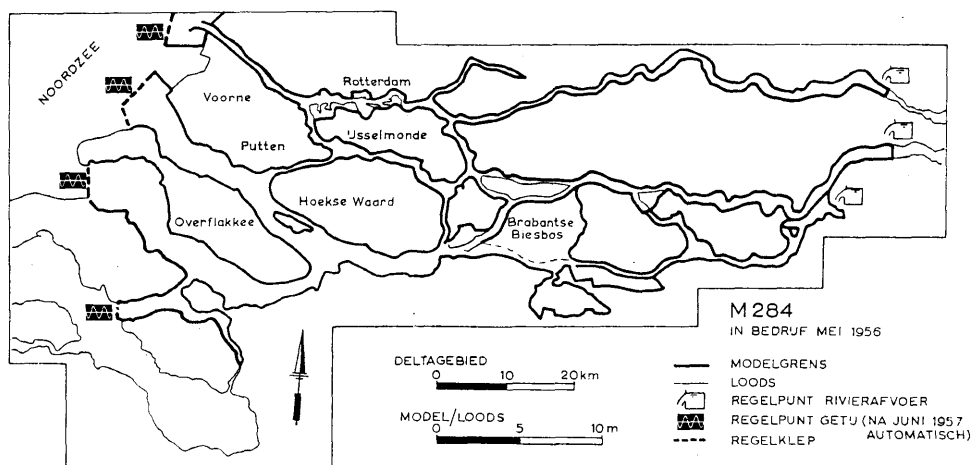
De stormvloed van 1 februari 1953 kwam, toen de uitbreiding werd voorbereid. De bouw begon in maart 1953.

Ten behoeve van het dijkherstel heeft het model nauwelijks dienst gedaan. Voor het Tweede Interimadvies van de Deltacommissie zijn nog in maart 1953 metingen uitgevoerd om na te gaan of een afsluiting van de Hollandse IJssel een verhoging van de stormvloedstanden op Nieuwe Maas, Lek of Noord ten gevolge zou hebben.

Dadelijk na het gereedkomen van het gespiegeld en verwrongen Oosterscheldegebied in september 1953 zijn metingen begonnen voor de bouwstadia van de dammen door Brouwershavense Gat en door Oosterschelde. Zij hebben gediend bij het opstellen van het Derde Interimadvies van de Deltacommissie.

Het bleek, dat de stromen door het Zijpe nauwkeuriger moesten worden gemeten dan in het juist daar zo sterk verwrongen model mogelijk was. Daarom is na het gereedkomen van de metingen voor de bouwstadia van de afsluitdammen van de zuidelijke twee zeegeten het model weer verbouwd. Bij de metingen was komen vast te staan, dat de getijbeweging bij de westelijke mond van het Keten, bij de lijn Stavenisse (Tholen)–Ouwkerk (Duiveland) slechts in geringe mate wordt beïnvloed door werken, die worden uitgevoerd in de geulen ten noorden van het Zijpe. Daardoor is het mogelijk, de gevolgen van die werken met behoorlijke benadering te voorspellen, wanneer in het model de op- en neergaande beweging van de waterspiegel in Keten-West als invariant wordt beschouwd. Met andere woorden: men kan dáár de grens van het model leggen en daar het bij de bestaande toestand, T<sub>0</sub>, behorende verloop van de waterstand reproduceren, ook als in het noordelijke gebied werken zijn uitgevoerd en in dat gebied de waterstanden zullen afwijken van die in T<sub>0</sub>.

Met de modelgrens in Keten-West kon het gebied van Zijpe, Mastgat, Krabbekreek, Eendracht (met een dam in die zee-arm) en Keten nauwkeurig in het model worden gereproduceerd. Deze situatie (figuur 4.0.3) kwam gereed in mei 1956.



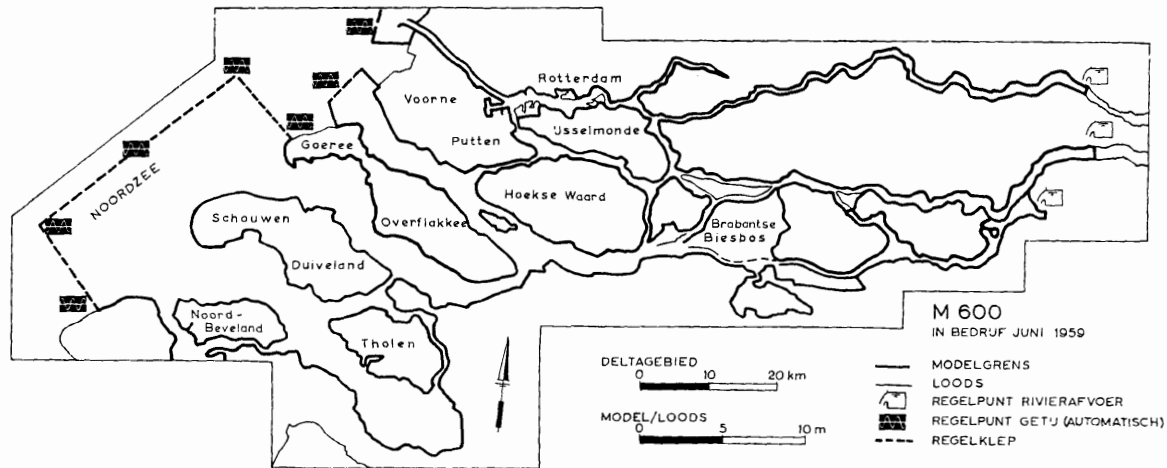
Figuur 4.0.3. Overzicht modelgrenzen M 284, mei 1956

De eisen, die aan het model werden gesteld, werden steeds zwaarder, vooral voor zover het de zuidelijke zeegeten betreft. Aan die eisen kon bij de bestaande modelgrenzen niet meer worden voldaan. De veranderingen in getijden en stormvloed, die daar worden teweeggebracht door het bouwen van de dammen door Oosterschelde en Brouwershavense Gat, konden in het model uiteraard niet worden weergegeven.

Het was dus wederom nodig, het model uit te breiden, ditmaal over de buitenbanken heen tot in volle zee. Dit is gedaan in 1958–1959. Na deze uitbreiding ligt de grens van het model overal op plaatsen, waar de invloed van de deltawerken op de hoogte van de waterspiegel klein is. Men mag, met een goede benadering, het verloop van de waterspiegel langs de nieuwe modelrand dus bij elke situatie gelijk houden aan het verloop in de bestaande toestand, T<sub>0</sub>. Na overwegen van de vóór- en nadelen van het opnemen van het Zeegat van Goeree en de Maasvlakte in de algemene „zee”, is besloten dit niet te doen. Het bleek, dat de daarvoor te brengen offers te groot zouden zijn ten opzichte van de te behalen voordelen.

Om de nieuwe grens te verwezenlijken, moest de loods worden uitgebreid buiten het aan het rijk toebehorende terrein. Dit is mogelijk geweest, dank zij krachtadige medewerking van het gemeentebestuur van Delft.

De nieuwe modelgrens, die sedert juni 1959 het model omgeeft, is aangeduid in figuur 4.0.4.



Figuur 4.0.4. Overzicht modelgrenzen M 600, juni 1959

De modelgrens wijkt nu in zo sterke mate af van de oorspronkelijke, dat eigenlijk moet worden gesproken van een nieuw model. Zodra de zeegrens in gebruik is genomen, is het volgnummer 284 vervallen. Het model is sindsdien aangeduid als M 600.

Men heeft ook nog overwogen een geheel nieuw model te maken, dat een plaats zou moeten krijgen buiten het laboratoriumterrein (Paardenmarkt) in een daartoe te maken semi-permanent gebouw. Ook is er aan gedacht, alleen het westelijke deel van het model daar te zetten en de twee delen – oost in de laboratoriumloods en west op de Paardenmarkt – elektronisch te koppelen.

Met voldoening kan nu worden geconstateerd dat deze twee kostbare en omslachtige wijzen van doen niet nodig zijn geweest.

## 5.0 CONSTRUCTIE VAN HET MODEL

Het model is op het terrein gemaakt van cementmortel. Voor sommige gedeelten zijn blokken vervaardigd, die elk een riviervak van enkele kilometers lengte omvatten.

Het profiel van de voor te stellen rivier of zeearm wordt eerst aangegeven met mallen van triplex (figuur 5.0.1). De specie wordt daar tussen aangebracht, waarbij voor een vloeiend verloop der geulen wordt gezorgd.

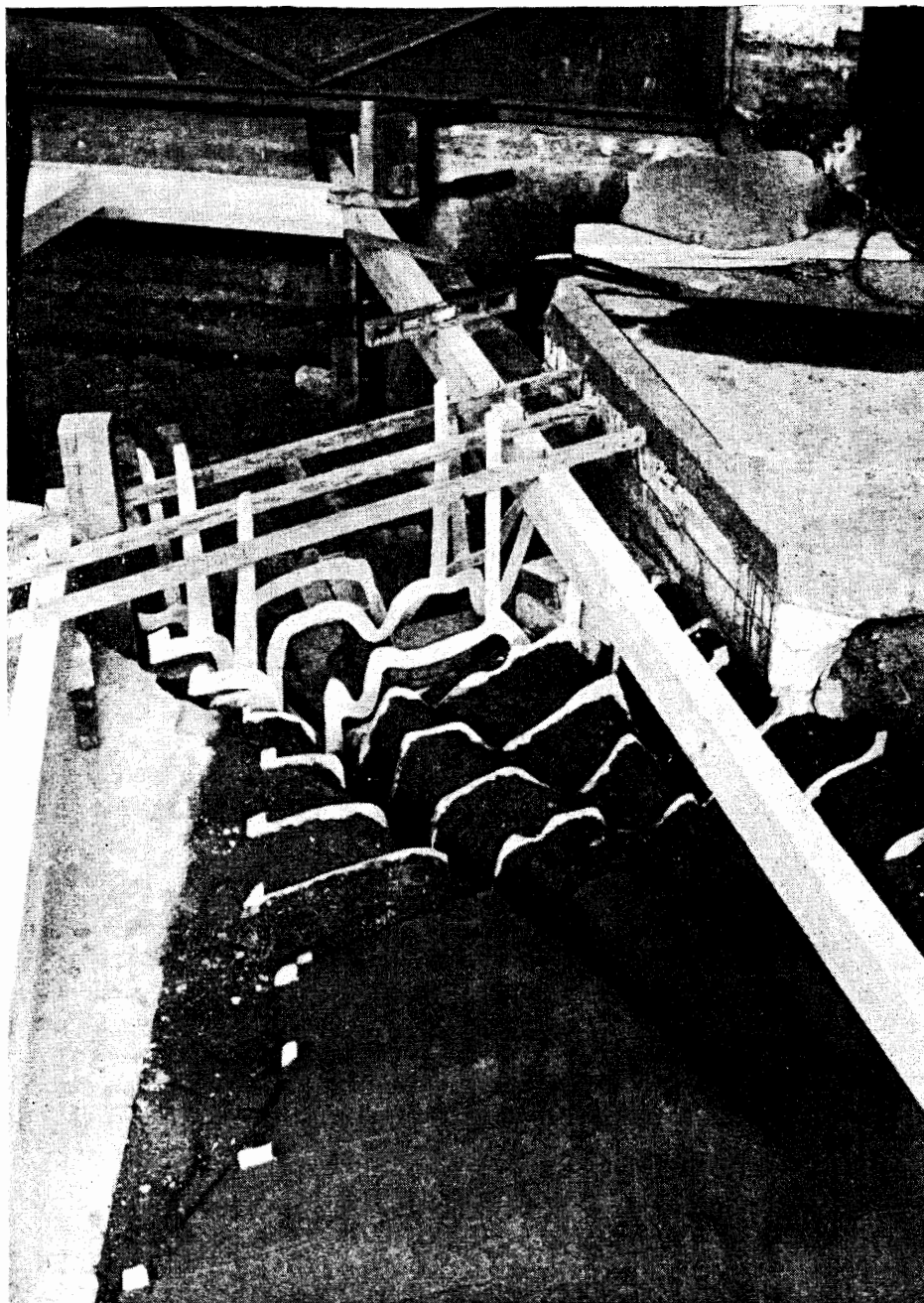
De blokken worden zorgvuldig op hoogte gesteld; er wordt gestreefd naar een nauwkeurigheid van een halve millimeter (ruim drie centimeter in het prototype, hetgeen nauwkeuriger is dan de peilingen).

Andere delen van het model zijn ter plaatse gemaakt.

Sommige delen, waarvan het waarschijnlijk is, dat het dwarsprofiel in de toekomst zal veranderen, bijvoorbeeld ten gevolge van het uitvoeren van de deltawerken, zijn gemaakt van losse blokken, die uit het model kunnen worden gehaald en vervangen door andere. In de eerste fase van de modelbouw is dit gedaan in het Volkerak, later in het Slaak en het Noorderslaak. Ook is een deel van de Lek in juli 1951 vervangen door een ander stuk, waarin de invloed van de voorgenomen verbetering van die rivier is verdisconteerd.

Verscheidene onderdelen zijn na een aantal jaren vervangen door andere. Meestal was de reden het beschikbaar komen van nieuwe peilingen. In de oorlogsjaren is daarin een grote achterstand ontstaan en kort daarna kon, meestal wegens mijnengevaar, die achterstand niet worden weggewerkt. Toen het oorspronkelijke model werd gebouwd, waren voor grote delen de laatste peilingen gedaan in 1933–1939.

Er was op gerekend, dat het gewicht van het model niet veel groter zou zijn dan dat van de uitgegraven grond en dat het model dus weinig zou zakken. Inderdaad zijn de zakkingen klein gebleven, althans de ongelijkheid in de zakking van verschillende delen van het model. Toch is enkele malen een correctie uitgevoerd (zie 9.0).



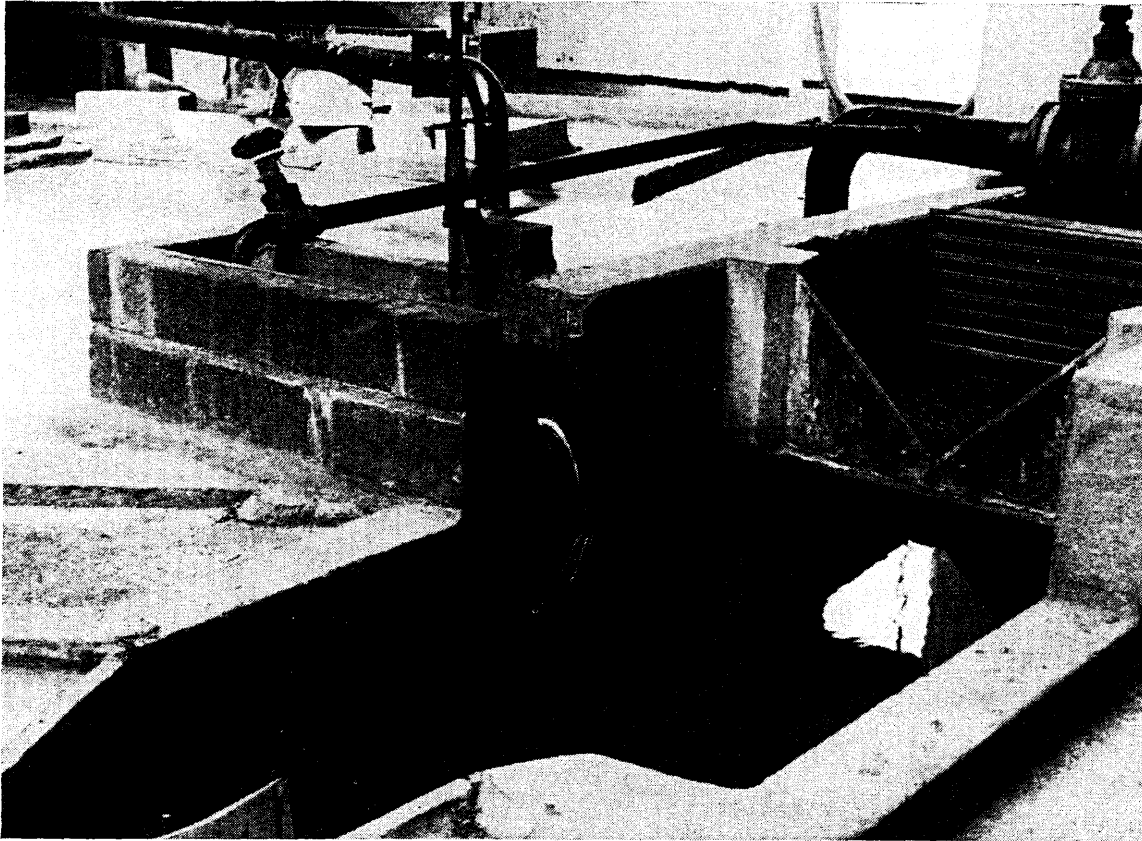
Figuur 5.0.1. Modelbouw

## 6.0 REGELING VAN DE RANDVOORWAARDEN

Bij het bedrijf van het model wordt op elke plaats waar een geul de modelgrens snijdt, een bepaalde voorwaarde in acht genomen. Deze „randvoorwaarden” betreffen hetzij een debiet (in de rivieren), hetzij een waterstand (aan de zeezijde). Zij zijn bepaald door de omstandigheden, die in het model moeten worden nagebootst: voor de rivieren een kleine, matige, grote of zeer grote afvoer, al dan niet variërend met de tijd, voor de zee een getij, zwak, normaal of sterk, of een stormvloed.

Om de instelling te realiseren, heeft het model een serie pompen met een daarboven opgestelde drukregelaar. Vandaar wordt het water door buizen geleid naar de modelranden. Aan de oostzijde

komt de buis uit in een verticale betonnen schacht („Zwitserland”), vanwaar het water door dunnere buizen, voorzien van afsluiters, stroomt naar V-vormige meetstuwen, die het brengen in de „bovenloop” van Neder-Rijn, Waal en Maas (figuur 6.0.1). Meestal wordt het debiet tijdens de proef constant gehouden: de afsluiters blijven, na de instelling vóór de proef, staan. Een enkele keer wordt de afvoer van de rivieren gevarieerd. Men manoeuvreert dan met de afsluiters zodanig, dat de waterstand boven-



Figuur 6.0.1. Meetstuw voor rivierafvoer

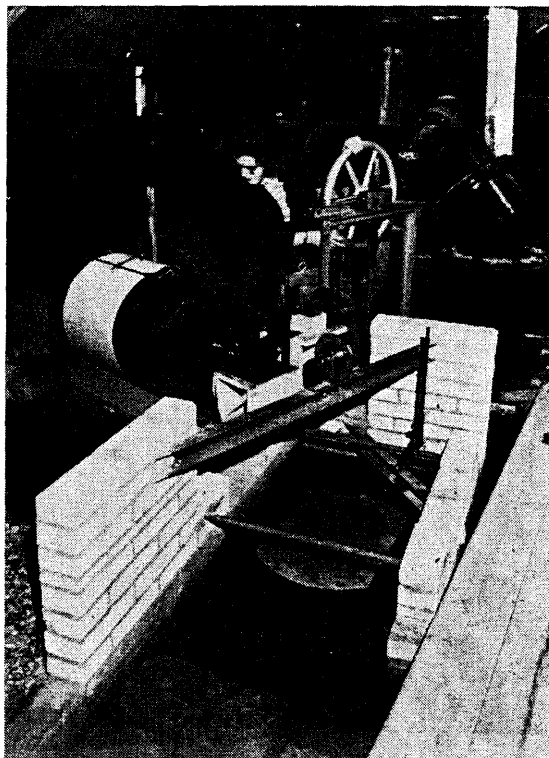
streams van de meetstuwen een vooraf vastgesteld verloop heeft. De regelaar is in het bezit van een tabel of een diagram en volgt, met behulp van de elk half uur (6 seconden in het model) gegeven tijdsen, deze zo nauwkeurig mogelijk. Het resultaat is altijd goed en het is dan ook niet nodig, de waterstand boven elke stuw te registreren en achteraf te vergelijken of het programma goed is gevolgd.

De variatie van het rivierdebiet is toegepast bij het reproduceren van de stormvloed van 2 december 1936, die is gebruikt om het model in de oudste vorm te toetsen. De rivieren vertoonden tijdens de storm een sterke val.

Aan de zeezijde wordt (uiteraard) geregeld op de waterstanden. De toevoerleiding mondt hier uit in een verdiept gedeelte vlak vóór de rand van het model. Daar bevindt zich een vlotter. Oorspronkelijk werd met de hand geregeld. De regelaar moest er voor zorgen, dat de hoogteligging van deze vlotter het voorgeschreven verloop had, gegeven door een getijlijn of door een stormvloedkromme. Dit geschiedde door het op en neer bewegen van de schuif waarover het water het model kan verlaten. Het vloeit via een afvoergoot naar de kelders, vanwaar het weer wordt opgepompt. Op een bij het handwiel, waarmee men de schuif bediende, opgestelde „getijtrommel”, was het diagram gespannen, dat moest worden gevolgd (figuur 6.0.2). De trommel draaide onder een met de vlotter verbonden stift en een pen door: de eerste werd door de regelaar op de gegeven kromme gehouden, de tweede schreef het

resultaat op. Na afloop van de meting kon men dus nagaan of er afwijkingen waren opgetreden; als het verschil tussen de gevolgde en de opgedragen lijn te groot was, werd de proef afgekeurd.

Met deze regelmethode zijn uitstekende resultaten bereikt en verscheidene leden van het personeel van het Waterloopkundig Laboratorium – waaronder de vrouwelijke met ere moeten worden genoemd – konden moeilijke randvoorwaarden met slechts geringe afwijkingen ten uitvoer leggen.



Figuur 6.0.2. Getijregeling met de hand

Die randvoorwaarden omvatten normale getijlijnen, zowel „geconstrueerde” als die van het verloop van de zeestanden op bepaalde dagen. Anderzijds zijn er stormvloedlijnen: eerst de reeds genoemde vloed van 2 december 1936, later de rampvloed van 31 januari–1 februari 1953 (S.V. 53) en voorts een aantal „geconstrueerde” vloed. In 1948 is een stormvloed geconstrueerd, die de naam „Superstorm” (S.S.) verkreeg. Hij was gebaseerd op een stormeffect, dat toen nog nooit was waargenomen, maar waarvan men de mogelijkheid inzag. In 1953 bleek, dat men juist had gezien: toen werd het hoogste zeepeil van de S.S. bijna bereikt. Doordat de zeer hoge standen in 1953 wat langer aanhielden dan bij de S.S. aangenomen was, kan men zeggen, dat S.S. en S.V. 53 vrijwel gelijkwaardig zijn: het peil van N.A.P. + 4 meter te Hoek van Holland. Later bleek het gewenst, met nog hogere „geconstrueerde” stormvloeden te werken en zo kwam men tot de „Hyperstormvloed” (H.S.) met een topstand te Hoek van Holland van N.A.P. + 5 meter. Er zijn ook nog andere stormvloeden geconstrueerd, met topstanden te Hoek van Holland van N.A.P. +  $4\frac{1}{2}$  m en +  $5\frac{1}{2}$  m. De H.S. levert ongeveer de basispeilen, die de Deltacommissie aannam als grondslag van haar adviezen.<sup>1)</sup>

De regeling aan de rivierzijde is in de loop der jaren dezelfde gebleven. Aan de zeezijde is dat niet het geval. Er zijn drie redenen, waarom is besloten de reproductie van de zeestanden te automatiseren.

De eerste reden is gelegen in de toeneming van het aantal regelpunten. Na de laatste uitbreiding van het model zeewaarts zijn er zeven, namelijk: Maasvlakte, buitengronden van Goeree, West-Goeree

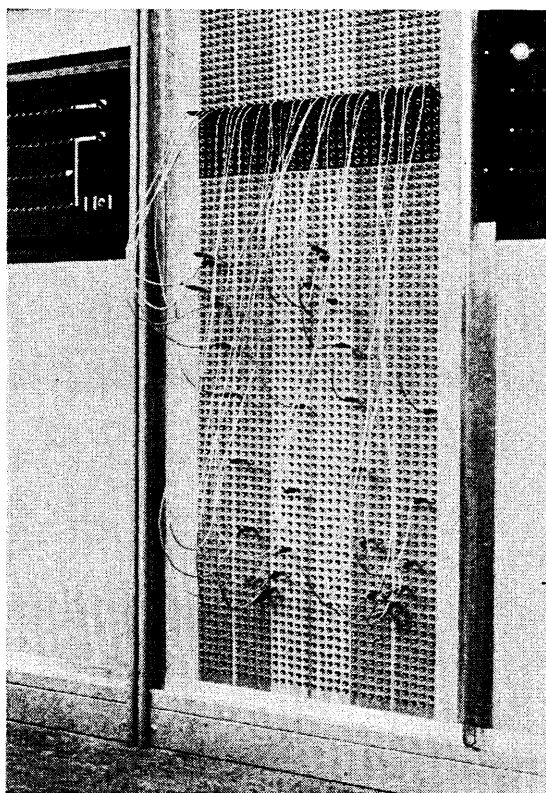
<sup>1)</sup> Zie deel 1.



Oostkapelle en drie punten langs de zuidwest-noordoost verlopende zee grens (figuur 4.0.4). Het zou moeilijk zijn geweest, steeds over een voldoende aantal geoefende regelaars te beschikken.

Voorts werd het noodzakelijk, het aantal metingen op te voeren. De bij het regelen vereiste inspanning en concentratie zijn zo groot, dat een regelaar niet langer dan twintig minuten achtereen goed kan werken. Dat betekent het optreden van aflossers, die niet beschikbaar waren.

Hiermee in verband staat de derde eis, die automatiseren onontkoombaar maakte. Men kan die uitspreken als „reproduceerbaarheid” of als „nauwkeurigheid”. Het is nodig een zelfde proef verscheidene malen te herhalen en de waarnemingen, die tijdens de verschillende series zijn gedaan, door elkander te gebruiken. Daarna brengt men de verandering in het model aan, waarvan de invloed moet worden onderzocht. Wederom wordt het model een aantal malen achtereen in werking gesteld, waarbij weer een groot aantal waarnemingen wordt verzameld. Op deze wijze is het mogelijk de invloed vast te stellen van grote, maar ook van minder ingrijpende wijzigingen in het geulenstelsel, van indijkingen, verruiming, wijder of minder wijd openen van stroomsluizen, verplaatsen van een afsluitdam, enzovoorts. Het is duidelijk, dat vooral voor de weinig ingrijpende veranderingen de regeling aan de modelranden vóór en na de wijziging nauwkeurig dezelfde moet zijn. Hiervoor is een goede automaat beter geschikt dan zelfs een zeer bekwame menselijke regelaar.



Figuur 6.0.3. Getijpaneel

De automatische regeling aan de zeezijde is gegroeid van een proefopstelling voor één regelpunt (Oosterschelde) in het voorjaar van 1955 tot de huidige getijmachine voor zeven regelpunten in juni 1959. Het is hier niet de plaats om de installatie uitvoerig te beschrijven. Het zij voldoende te vermelden, dat in de nieuwste uitvoering een te reproduceren kromme wordt ingesteld met stekkers in een schakelpaneel (figuur 6.0.3). De zeven panelen zijn opgesteld in een schakelcentrale (huiselijk „de Tram” genoemd, wegens de gelijkenis met een Rotterdamse tramwagen). Bij elk regelpunt bevindt zich een vlotter en de automaat zorgt er voor, dat de stand van die vlotter elk ogenblik overeenkomt met het in de centrale opgegeven niveau. Dit gebeurt op dezelfde wijze als bij het regelen met de hand: als de

vlotter te laag dreigt te komen, wordt de regelschuif een weinig opgehaald, nu door een kleine elektromotor. Een te hoog peil wordt voorkomen door het doen dalen van de regelschuif.

Het spreekt vanzelf, dat maatregelen zijn genomen tegen het zogenaamde „hunten”, waarbij de waterstand het opgegeven program niet volgt, maar er om heen slingert.

De installatie voldoet goed.

## 7.0 DE WAARNEMINGEN

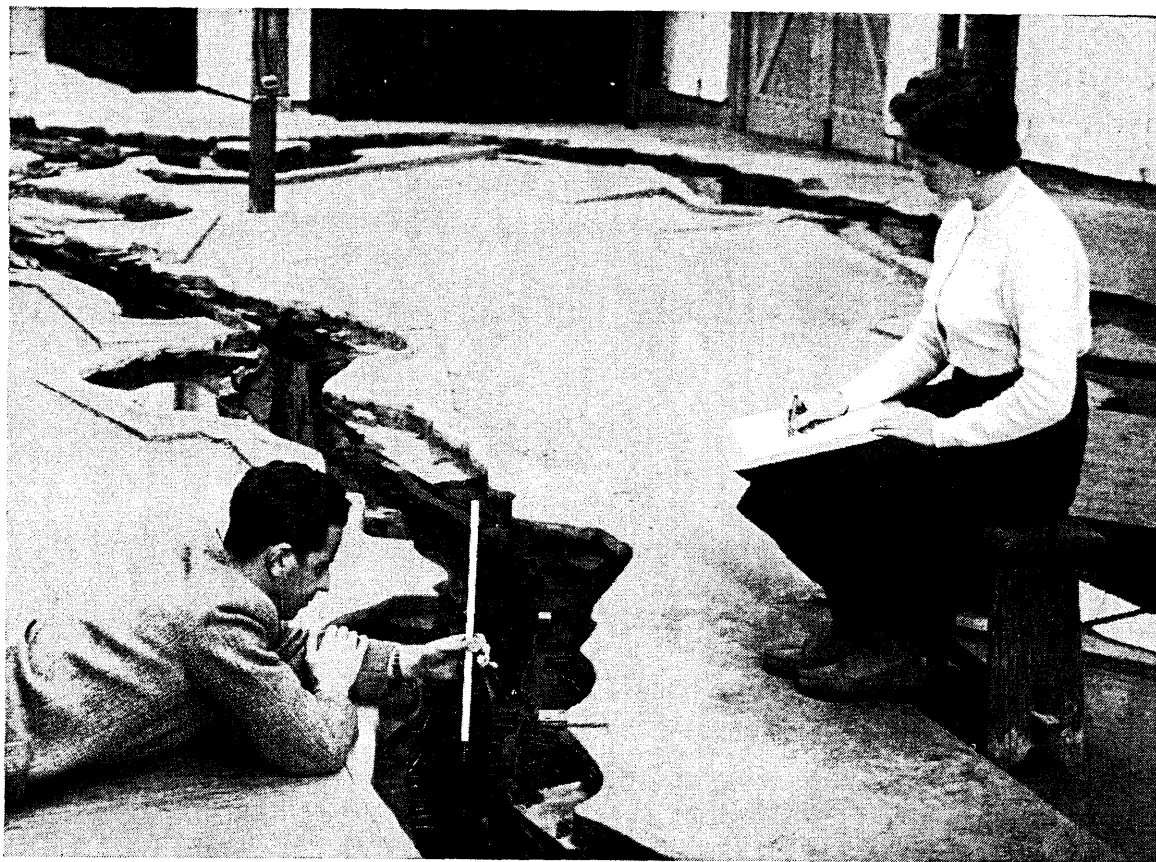
In het model worden waterstanden en stromen waargenomen.

### 7.1 Het waarnemen van waterstanden

Voor waterstanden is de klassieke peilnaald een uitstekend instrument. Men kan bij een niet te onrustige waterspiegel het contact van de punt van de naald met het water bepalen tot op één centimeter in het prototype, wat daar het uiterste voorstelt van de te bereiken nauwkeurigheid.

Een goed waarnemer, liggend bij de peilnaald (figuur 7.1.1), kan gemakkelijk elke zes seconden, dus elk half uur in het prototype, een goede waarneming doen. Hij heeft daarbij een opschrijver nodig en het resultaat is een tabel met „half-uur-waarnemingen”, die moeten worden „vertaald” van de indeling op de peilnaald tot centimeters onder of boven N.A.P. De methode is dus arbeidsintensief, zowel in waarnemen als uitwerken, en in de peilnaaldperiode moest telkens een groot deel van het laboratorimpersoneel worden gemobiliseerd als in model 284 een proef zou worden gedaan. Uiteraard mag men een waarnemer niet zo lang dienst laten doen, dat hij vermoeid raakt en daardoor minder nauwkeurig gaat werken.

Er is daarom vroeg uitgezien naar registratie.



Figuur 7.1.1. Peilnaaldaflezer

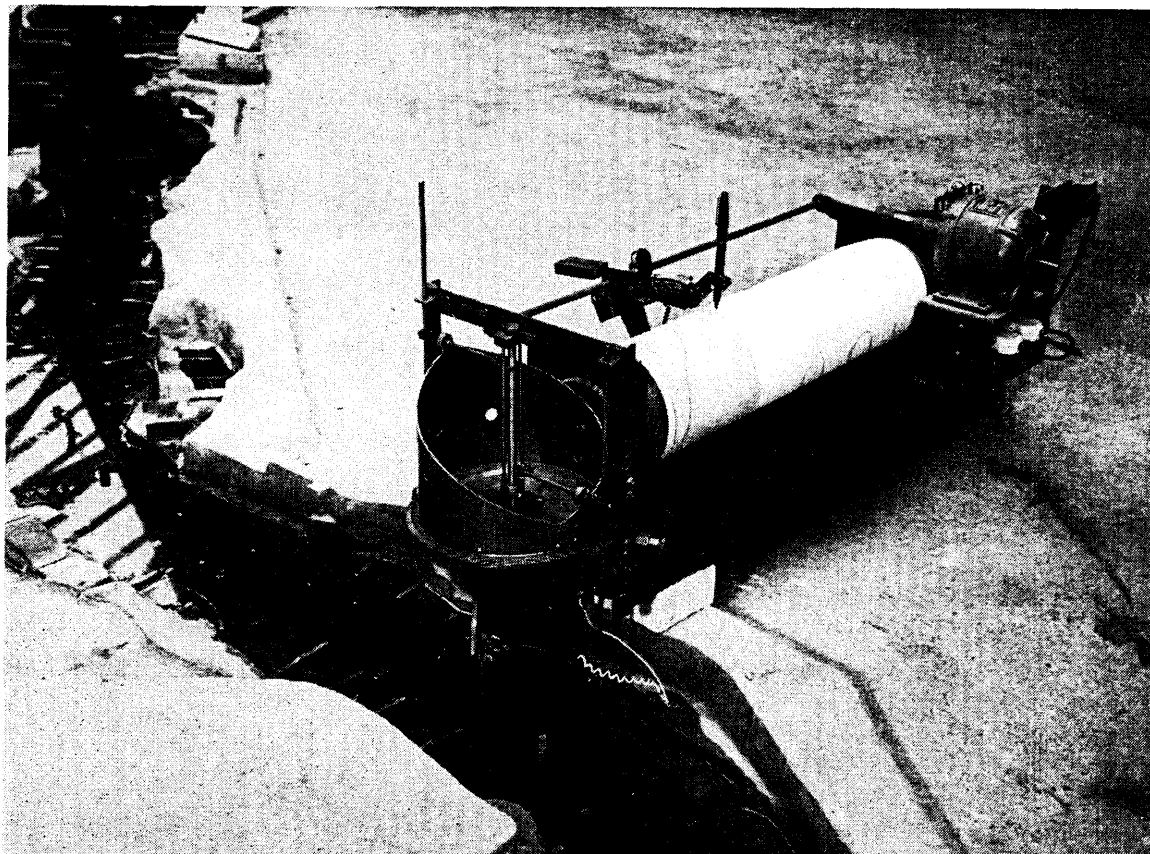
Die is eerst gezocht in de „pik-pik's”: instrumenten, voorzien van twee peilnaalden, die in een op- en neergaande beweging om de beurt met tussenruimten van 6 seconden ( $\frac{1}{2}$  uur in de werkelijkheid) het water raakten en daardoor een elektrisch contact sloten. Dit contact werd geregistreerd op een trommel, aangedreven door dezelfde motor, die zorgde voor het op- en neergaan van de naalden. Uit de plaatsen van de contactmerken op de trommel was het verloop van de waterstand af te leiden: er vormden zich op het registreerblad getijlijnen, die weer moesten worden „vertaald” (figuur 7.1.2).

De pik-pik's hebben jarenlang dienst gedaan. Er zijn twee typen van gemaakt: het oorspronkelijke en het verbeterde. In 1958 is deze methode verlaten, vooral omdat de nauwkeurigheid achterstond bij die van de rechtstreeks afgelezen peilnaalden.

Een elektronisch registrerende peilnaald is aangeschaft om ondervinding op te doen met een in Frankrijk door de Electricité de France in het Waterloopkundig Laboratorium te Chatou ontwikkeld systeem.

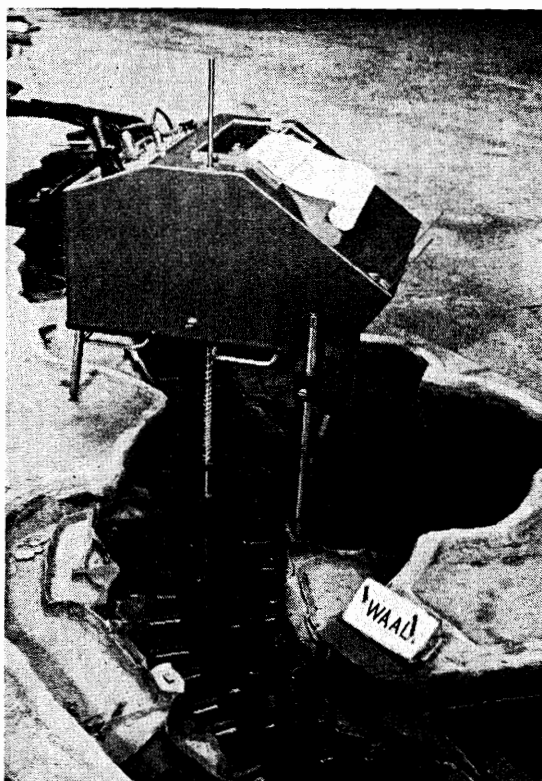
De niet geheel bevredigende ervaring leidde tot de ontwikkeling van een eigen elektronisch registrerende peilschaal. Hierin is de naaldpunt als contactorgaan vervangen door een bolletje, dat voor een klein deel is ondergedompeld. De diepte van de onderdompeling bepaalt de elektrische overgangswaarde tussen bolletje en water. Die overgangswaarde wordt constant gehouden door het bolletje met de daaraan bevestigde stang op en neer te bewegen. Het motortje dat dit doet, wordt aangedreven, wanneer de overgangswaarde te groot of te klein is. De stand van het bolletje wordt aangegeven op een registreerstroom; daar komt dus de getijlijn te voorschijn (figuur 7.1.3). Tijdens het schrijven van deze bijdrage werd voortgegaan met perfectioneren van het instrument.

Het diagram van deze waterstandsvolgers („Wavo's”) is gemakkelijker uit te werken („te vertalen”) dan dat van de pik-pik's. Ook de nauwkeurigheid van het nieuwe instrument is veel beter dan die van het oude. Er zijn omstreeks twintig van deze apparaten aangeschaft. Een elftal er van heeft twee



Figuur 7.1.2. Pik-pik

schrijfpennen: de normale en een extra-pen, waarmee een willekeurige grootte kan worden geregistreerd. Men kiest daarvoor veelal het verschil tussen de waterstanden op twee plaatsen en geeft dat weer op vergrote schaal. Zo krijgt men beschikking over het verloop van het verval tussen bijvoorbeeld Zierikzee en Brouwershaven, zonder gevaar te lopen fouten te maken doordat de voor beide stations opgenomen lijnen in de tijd ten opzichte van elkaar zouden zijn verschoven. Een verschil van vijf minuten (in het model een seconde) kan soms aanleiding geven tot ontoelaatbare fouten.



Figuur 7.1.3. Waterstandsvolger

Ook de pik-pik kan vervallen opschrijven, maar alleen tussen dicht bij elkaar liggende punten, bijvoorbeeld ter weerszijden van een afsluitdam. Men laat dan de ene naald prikken aan de buitenzijde van de dam, de andere aan de binnenzijde.

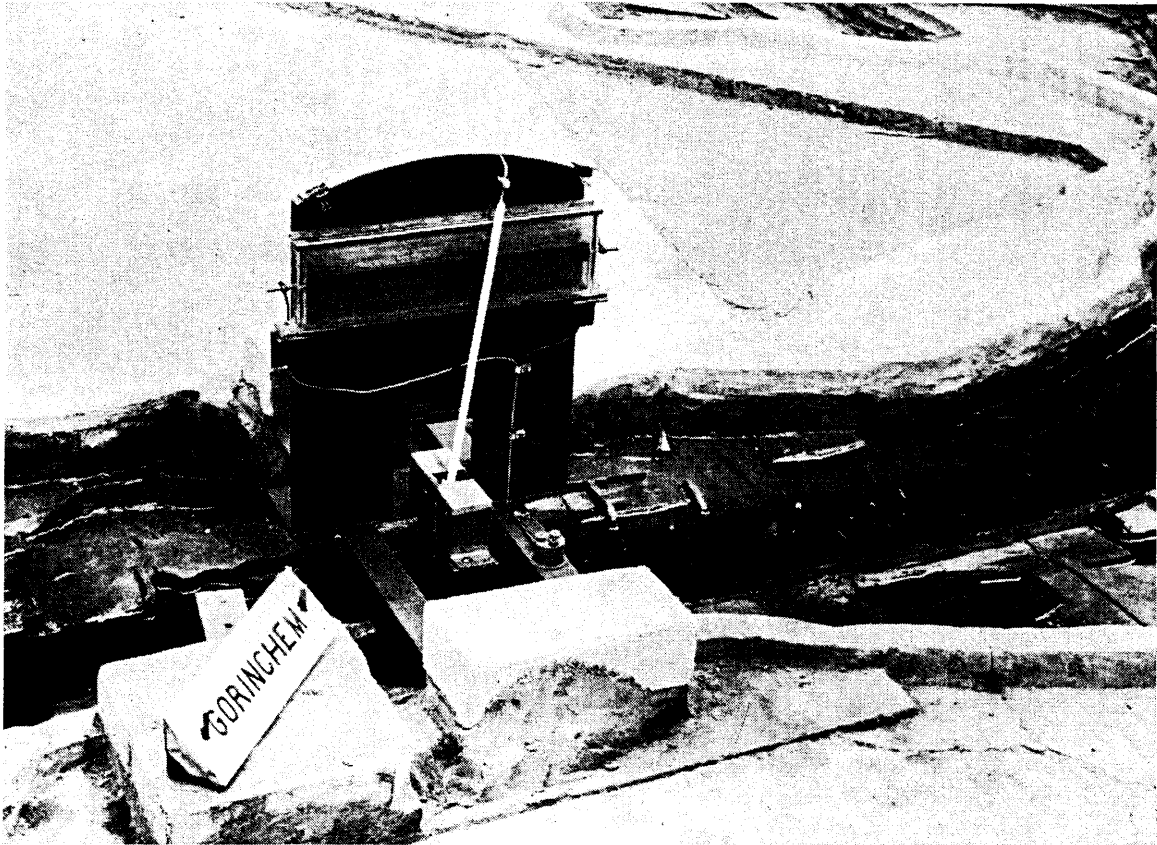
De schalen ten opzichte van „de werkelijkheid”, waarop wordt geregistreerd, zijn 16 voor de pik-pik's en 40 voor de getijlijnen van de Wavo's. Voor de vervallijnen van de Wavo's is de verkleining nader in te stellen; meestal kiest men 10 keer. De registrerende peilschalen van de „werkelijkheid” hebben in de regel 20 als schaalverhouding.

## 7.2 Het waarnemen van stromen

Stromen kan men op verschillende wijzen uitdrukken: als stroomsnelheid of als debiet. Wil men een goed overzicht krijgen van het mechanisme van het voortplanten van getijden en stormvloedgolven door het deltagebied, dan richt men zijn aandacht op debieten. Gaat het om overlast voor de scheepvaart of om het uitschuren van geulen en het vormen van zandbanken, dan staan de snelheden in het middelpunt van de belangstelling.

In model 284/600 zijn verschillende meetmethoden gebruikt, die alle zijn gebaseerd op het meten van snelheden. De meesten gaven geen voldoening. De zo voor de hand liggende drijfvermetingen kwamen niet in aanmerking door de aanwezigheid van de later te noemen weerstandstaven. Drijfvertjes worden alleen gebruikt om het (belangrijke!) ogenblik van kentering vast te stellen.

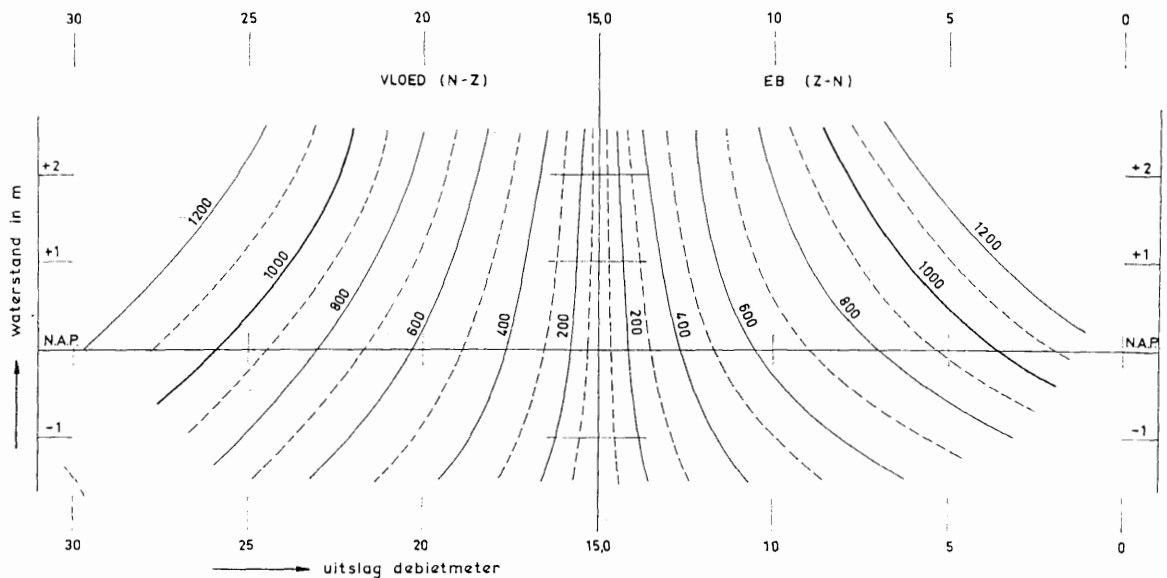
Het gekozen instrument is een slingerstroommeter (figuur 7.2.1). Het principe hiervan is eenvoudig. Een voorwerpje in het water is bevestigd aan een staaf, die kan draaien om een horizontale as. Wordt het voorwerpje – in de regel een vierzijdig prisma, waarvan één der diagonalen in de stroomrichting staat – door de stroom getroffen, dan zal het uitwijken tot een evenwichtstand is bereikt. Hoe sneller de stroom, des te verder wijkt het samenstel uit. De uitwijkhoek wordt afgelezen op een schaal: bij elke aflezing behoort een stroomsnelheid. Het verband wordt door ijken bepaald. Dit ijken van de stroommeter moet geschieden op de plaats, waar hij zal worden gebruikt, omdat de aanwijzing wordt beïnvloed door de aanstroming.



Figuur 7.2.1. Stroommeter

Wil men de stroommeter gebruiken om debieten te bepalen, dan moet de snelheid ter plaatse van het weerstandslichaam worden gereduceerd tot de gemiddelde snelheid van het dwarsprofiel waarin de meter staat, en vermenigvuldigd met de grootte van het dwarsprofiel. De laatste varieert met de waterstand. Voor de ijking wordt een permanente (niet met de tijd veranderende) stroom geleid door de geul, waarin de meter staat. Deze stroom wordt (buiten het model) gemeten, in de regel met behulp van een meetstuw. Behalve de stand van de stroommeter, wordt de waterhoogte opgetekend. Nadat deze veelvuldig is gevarieerd en ook het constante debiet achtereenvolgens op verschillende waarden is afgesteld, kan een diagram worden gemaakt, dat het debiet geeft als een functie van de waterstand en van de aflezing van de stroommeter (figuur 7.2.2). Men moet dus voor het vaststellen van het debiet door een geul een stroommeter en een Wavo (of een bemande peilnaald) ter plaatse opstellen.

Er schuilt een addertje onder het gras. Wanneer een waterbeweging in het model een periode geeft van dezelfde grootte als de eigen periode van de stroommeterslinger, worden fouten gemaakt. De perioden zijn echter zodanig, dat het gevaar hiervoor niet groot is. Men kan zich desgewenst tegen die resonantiefouten te weer stellen door de beweging van het instrument te dempen.



Figuur 7.2.2. IJkdiagram debietmeter in de Noord

Dit gebeurt veelal om een andere reden, namelijk wanneer men de uitwijking van het instrument registreert (figuur 7.2.1). Dit geschiedt elektrisch. Aan de draagstang van het weerstandslichaam is een vaantje bevestigd, dat is gedompeld in een bakje gevuld met water, waarin twee vaste elektroden geplaatst zijn. De positie van de stroommeter beïnvloedt diens gevolgde die van een brug van Wheatstone, die op zijn beurt de stand van een registratiepen bepaalt, doordat een motor automatisch met behulp van een variabele weerstand de brug in evenwicht houdt. Zo kan een diagram van het verloop van de stroomsnelheid op de plaats waar de stroommeter is opgesteld, worden geschreven, bijvoorbeeld met de tweede pen van een Wavo.

## 8.0 HET MODEL ALS INTEGRATIEMIDDEL VAN DE DIFFERENTIAALVERGELIJKINGEN DIE DE WATERBEWEGING BESCHRIJVEN

In principe is het model een middel om de differentiaalvergelijkingen die de beweging van het water in de zeearmen en rivieren beschrijven, met hun randvoorwaarden op te lossen.

Voor de randvoorwaarden is gezorgd door de regeling van rivierstromen en zeestanden bij de modelgrenzen en door de vorm van de oevers. Verder is het nodig, dat alle termen van de differentiaalvergelijkingen overal en aldoor de juiste waarde hebben. Zoals in alle modellen is, wordt de grondslag daarvan gelegd door het feit, dat de versnelling van de zwaartekracht ( $g$ ) en de dichtheid van de vloeistof ( $\rho$ ) in het model even groot zijn als in zee, het prototype.

Een groot deel van het weergegeven gebied bestaat uit betrekkelijk nauwe stroomgeulen, zijdelings begrensd hetzij door oevers, hetzij door ondiepe zandbanken. De richting van de stromen is daar grotendeels bepaald door die van de as van de geul. Dwarsstromen spelen slechts een ondergeschikte rol. Onder die omstandigheden kan men differentiaalvergelijkingen voor de („ééndimensionale”) stroming door een geul toepassen.

### 8.1 De differentiaalvergelijkingen

De eerste vergelijking is de continuïteitsvoorwaarde

$$B \cdot \frac{\partial z}{\partial t} = - \frac{\partial Q}{\partial s}$$

Hierin is  $B$  de breedte van de geul,  $z$  de waterstand, gemeten ten opzichte van een vast peil (bijvoorbeeld N.A.P.) en  $Q$  het door de geul stromende debiet. De onafhankelijke variabelen  $s$  en  $t$  zijn

respectievelijk de afstand in de geul ten opzichte van een vast punt (bijvoorbeeld een knooppunt met andere geulen) en de tijd.

Het is duidelijk, dat de breedte ter hoogte van de waterspiegel,  $B$ , de juiste waarde moet hebben: anders wordt bij stijgen of dalen van de waterstand niet de juiste hoeveelheid water geborgen of vrijgegeven. Zou men het model willen schematiseren, dan moet in elk geval de breedte juist worden weergegeven. Dit geldt voor de breedte op elk niveau boven dat van de laagste waterstand, die voorkomt. Daar beneden eist de continuïteitsvoorwaarde niet meer, dat de breedten in de juiste verhouding worden gereproduceerd.

De tweede vergelijking is de versnellingsvergelijking. Kiest men de  $s$ -as horizontaal, dan luidt deze vergelijking

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial s} = -g \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{g}{C^2} \frac{v |v|}{(h+z)} + \frac{f \rho_1 W |W|}{2\rho (h+z)}$$

Het eerste lid is de versnelling van het beschouwde waterdeeltje (eenheid van massa). De eerste twee termen geven aan, dat de snelheid  $v$  een functie is van  $t$  en van  $s$ .

## 8.2 Invloed van de samentrekking van het model

In het tweede lid staan de krachten per massa-eenheid, die de versnelling veroorzaken. De zwaartekracht zelf komt er niet aan te pas, daar zij loodrecht staat op de gekozen as. Zij veroorzaakt indirect wél de drukkrachten, die in de eerste term van het tweede lid tot uitdrukking worden gebracht. In deze term komt de invloed van de samentrekking van het model tot uiting:  $z$  (verticaal) en  $s$  (horizontaal) hebben immers verschillende schalen, namelijk 64 en 2400. Het quotiënt  $\frac{\partial z}{\partial s}$  (en dus ook de term  $g \frac{\partial z}{\partial s}$ ) is  $\frac{2400}{64} = 37,5$  keer zo groot als in het prototype. Wil het model de werkelijkheid goed weergeven, dan moet dat ook het geval zijn met de andere termen van de versnellingsvergelijking.

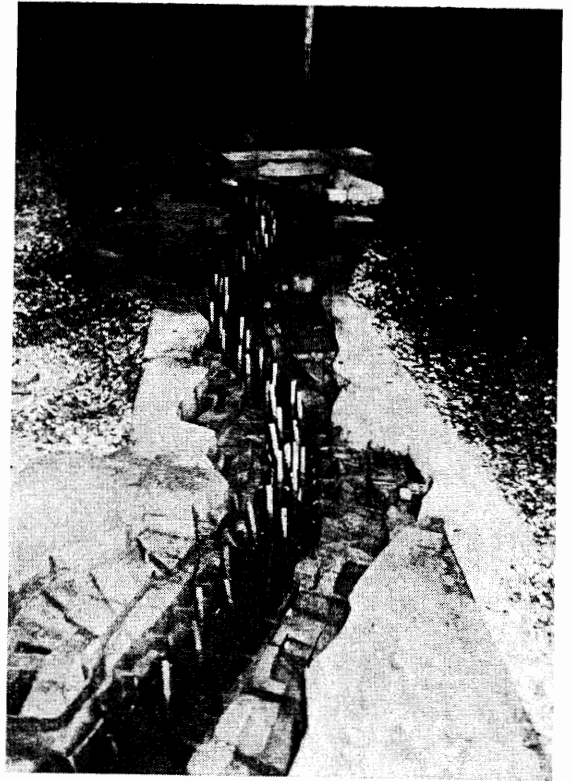
Voor  $\frac{\partial v}{\partial t}$  en  $v \frac{\partial v}{\partial s}$  is aan die voorwaarde voldaan door de keus van de schalen voor  $v$  en voor  $t$ , respectievelijk 8 en 300.

## 8.3 Bodemwrijving

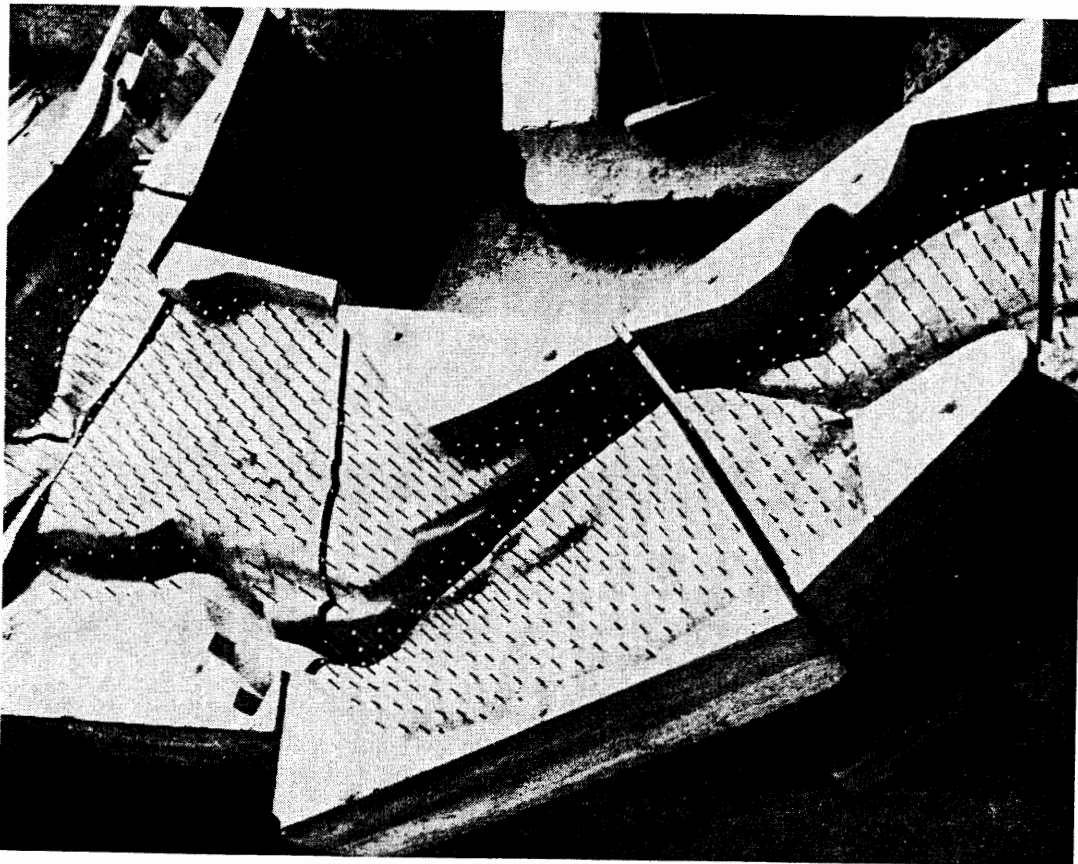
De tweede term van het tweede lid van de versnellingsvergelijking is de kracht per massa-eenheid uitgeoefend door de bodemwrijving. Hierin is  $h$  de afstand tussen de bodem en het vaste peil en  $C$  de coëfficiënt van De Chézy. Om deze term de gewenste grootte te geven, moet de waarde van  $C^2$  ten opzichte van die van het prototype 37,5 maal worden verkleind. Men moet dus denken aan grootten van 100 m per sec<sup>2</sup> in plaats van 3000 à 4000. Dat kan alleen als de oneffenheden van de wanden dezelfde orde van grootte hebben als de waterdiepte, wat natuurlijk onmogelijk is. Men kan dus slechts een deel van de wrijvingskracht laten leveren door de oneffenheden van de bodem. Het overige wordt gevonden door het aanbrengen van de reeds enige malen genoemde weerstandstaven. In een afzonderlijke opstelling is de kracht gemeten die één staaf op stromend water uitoefent, en de correctie die moet worden aangebracht als verscheidene staven dicht op elkander staan. Een deling leert dan het aantal staven kennen dat in een geul of op een zandplaat moet worden aangebracht. Daarbij moet worden gelet op de remmende invloed die in smalle geulen in het model uitgaat van de zijwanden. In het prototype is zelfs de sterkste helling nog bijna horizontaal, in het model worden sommige stroomgeulen vervormd tot nauwe spleten tussen steile wanden van cementmortel. In dergelijke geulen kan de wrijving langs de kanten zo groot zijn, dat maar weinig weerstandstaven hoeven te worden geplaatst.

Waar de stroomrichting constant is – heen en weer –, kunnen platte zinken strippen worden gebruikt (figuur 8.3.1). Kan de stroom van verschillende kanten komen, dan mag dat niet: dan bestaat de extra-weerstand uit messing staafjes met een vierkante dwarsdoorsnede (figuur 8.3.2).

Een voordeel van het gebruiken van weerstandstaven ligt in de mogelijkheid om achteraf de weerstand gemakkelijk te veranderen. Dit is nodig, omdat de waarde van  $C$  in het prototype slecht bekend is. Het aantal weerstandstaven waarmee het model oorspronkelijk was uitgerust, was gebaseerd op een



Figuur 8.3.1.  
Weerstandstripjes



Figuur 8.3.2.  
Weerstandstaafjes



zo goed mogelijke schatting van de coëfficiënten van De Chézy voor elke geul. Het daarmee verkregen resultaat werd beschouwd als verrassend goed. Toch waren er verschillen met het prototype die moesten worden toegeschreven aan onjuiste weerstanden. Na correctie is men ten slotte gekomen tot een bevredigend resultaat. Elke geul had een nieuwe waarde voor  $C$  gekregen, die achteraf altijd aannemelijk was.

Een enkele maal moest ook rekening worden gehouden met de schematisatie die werd aangebracht om al te steile kuilen te vermijden. Deze schematisatie beïnvloedt de wrijving en dat betekent soms een ander aantal staafjes. Bij die schematisatie werd ook gelet op de term  $v \frac{\partial v}{\partial s}$  uit het eerste lid van de versnellingsvergelijking. Het resultaat was, dat de kuilen werden verflauwd, zonder dat een fout van betekenis ontstond.

#### 8.4 Windwrijving

Blijft de windwrijving, weergegeven door de laatste term van de versnellingsvergelijking. In die term is  $f$  een wrijvingscoëfficiënt, van de orde van grootte van 0,01. De dichtheid van de lucht is  $\rho_1$ , de absolute waarde van de snelheid  $|W|$ . De component van de windsnelheid in de  $s$ -richting is aangeduid met  $W$ .

Bij de gewone getijden kan  $|W| = 0$  worden gesteld: de windterm doet dan niet mee. Bij storm is de term vooral van belang bij de wijde, ondiepe wateren ten westen van de meridiaan van Dordrecht. In smalle wateren is  $f$  klein en daar is die „opwaaiing” dan ook niet groot. Het door storm veroorzaakte verhang (dat is de laatste term, gedeeld door  $g$ ) bij een weinig veranderende wind is buiten wat minder dan  $10^{-5}$ , een centimeter per kilometer. De (statische) opwaaiing tussen de Noordzee en de meridiaan van Dordrecht bedraagt omstreeks drie tot vier decimeter.

Men kan de windkracht in het model op twee manieren weergeven: continu en discontinu.

Continu door wind over het model te blazen. Men overkapt dan de verschillende rivieren en zee-armen en zuigt met ventilatoren een luchtstroom door de tunnels. De sterkte van deze luchtstroom moet men niet gering schatten. Om de juiste wrijving te krijgen, moet  $W^2$  in het model 37,5 : 64 zijn van de waarde in het prototype, afgezien van een mogelijk verschil in de wrijvingscoëfficiënt  $f$ . Een stormwind van 20 m/sec zou in het model een luchtstroom vereisen van ruim 15 m/sec. Van deze methode is afgezien, niet alleen omdat men de kosten te hoog vond ten opzichte van het te bereiken effect, maar vooral omdat de metingen in het model vrijwel onmogelijk zouden worden door de aanwezigheid van de tunnels. Ook zouden windgolven in het model ontstaan met afmetingen, die veel te groot zouden zijn.

Een tweede methode bestaat in het aanbrengen van een tangentiële kracht in het wateroppervlak, die is geconcentreerd in een aantal gebieden van geringe uitgestrektheid. Men doet dan feitelijk hetzelfde als bij het aanbrengen van wandwrijving door middel van weerstandstaafjes. De min of meer gelijkmatig over de „wand” verdeelde wrijvingskracht is ook hier geconcentreerd op een – zij het zeer groot – aantal punten.

De wind kan worden voorgesteld door een aantal draaiende borstels met horizontale as, zoals ze worden gebruikt voor de reiniging van afvalwater (Kessenerborstels). Hun indompeling of hun toerental kan worden gevarieerd om het aanwakkeren en weer gaan liggen of het draaien van de wind voor te stellen. Het is niet onmogelijk, dat het model nog eens zal worden uitgerust met „windborstels”, maar op het ogenblik van het schrijven van deze bijdrage was dat nog niet het geval.

Tot dusverre heeft men er zich mee vergenoegd, de wind weg te laten. Om de stormstanden in het belangrijke gebied rondom Dordrecht goed weer te geven, moet men dan in het model de zeespiegel drie tot vier decimeter hoger laten oplopen dan overeenkomt met de werkelijkheid. Men ziet gemakkelijk in, dat hierdoor wordt gezondigd tegen de continuïteitsvoorwaarde, maar de veroorzaakte fout is niet groot. Het verschil tussen de gemaakte fout in één toestand (bijvoorbeeld de bestaande) en in een andere (bijvoorbeeld na het leggen van één der afsluitdammen) is zo klein, dat tot dusverre geen noodzaak aanwezig was om de wind in het model te reproduceren.

#### 8.5 Invloed van de aardrotatie

In de wijde gedeelten van de zeearmen en vooral in de Noordzee zelf is de stroomrichting niet meer bepaald door de topografie. Voor die gebieden moet de continuïteitsvoorwaarde worden uitgebreid

met twee termen. De versnellingsvergelijking wordt gecompleteerd door een tweede, die geldt voor de richting loodrecht op die, waarvoor de eerste is opgesteld.

De termen waarmee men nu te maken heeft, hebben hetzelfde karakter als die welke zojuist zijn besproken, en de beschouwingen over die termen blijven van kracht.

Er is echter één complicatie, die in de nauwe geulen geen rol van betekenis speelt. Deze complicatie wordt veroorzaakt door de aswenteling van de aarde. Om te maken, dat de vergelijkingen het gebeuren weergeven zoals het zich op de draaiende aarde afspeelt, moet aan de versnellingsvergelijkingen een term worden toegevoegd, die de versnelling van Coriolis weergeeft:

$$2\omega v_n.$$

De factor  $v_n$  is de stroomsnelheid loodrecht op de richting waarin de vergelijking geldt. Hij moet worden vermenigvuldigd met tweemaal  $\omega$ , waarbij  $\omega$  de ontbondene van de hoeksnelheid van de aarde om haar as langs de verticaal van de beschouwde plaats is. In Nederland, op 52 graden noorderbreedte, is  $\omega = 0,58 \cdot 10^{-4}$  radialen per seconde en daaruit volgt, dat bij een stroomsnelheid van 1 m/sec de Coriolis-term gelijkwaardig is met een verhang (helling van de waterspiegel)  $\frac{\partial z}{\partial s}$  van ruim een centimeter per kilometer. Dit mag niet worden verwaarloosd.

In geulen van beperkte breedte is het gevolg van de aardrotatie, dat de waterstand aan de rechteroever, gezien in de stroomrichting, enige millimeters of centimeters hoger staat dan aan de linkeroever. Men kan dit effect zien door Breskens te vergelijken met Vlissingen, Brouwershaven met Ouddorp, de oostpunt van Vlieland met de Noordvaarder op Terschelling (zie Bijlage 6 van [1]). In het oorspronkelijke Deltamodel mocht men van deze verschillen afzien.

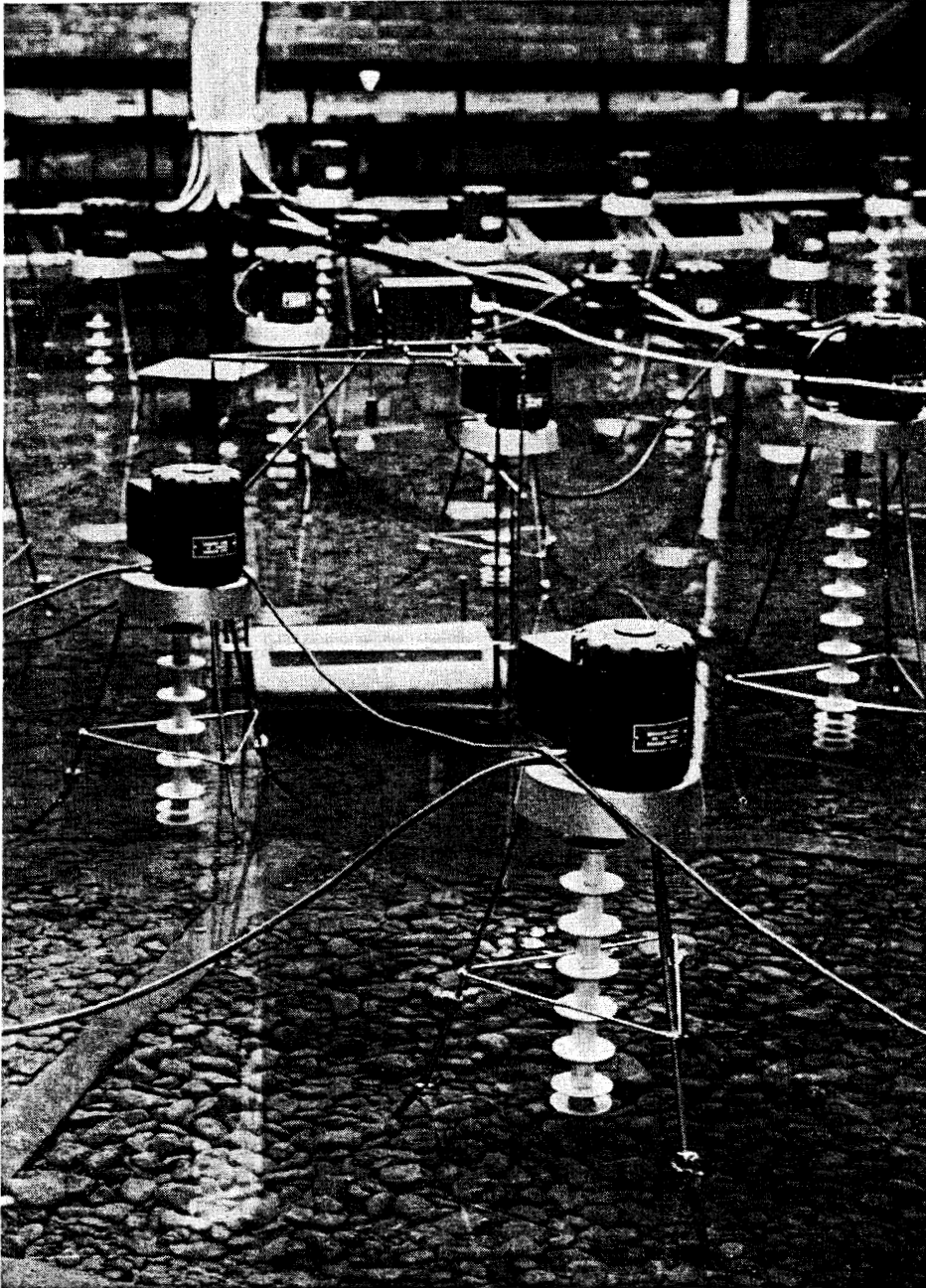
Anders wordt het in zeer wijde stroomgebieden, zoals het bankengebied buiten de zeegaten, dat in 1959 is toegevoegd aan het model. Daar wordt de waterbeweging in betekenende mate beïnvloed door de aardrotatie. Hier moet de Coriolis-term op zijn juiste grootte worden gereproduceerd.

Zonder hulpmiddelen is dat niet mogelijk. Zelfs al zou men het model aan de Noordpool bouwen, dan zou  $\omega$  slechts weinig groter zijn dan in het deltagebied (namelijk  $0,73 \cdot 10^{-4}$ ). Evenals de andere termen van de versnellingsvergelijkingen moet de versnelling van Coriolis 37,5 maal zo groot zijn als in het prototype. Daar de snelheid  $v_n$  acht maal zo klein is, moet  $\omega$  300 maal worden vergroot. Met andere woorden, het model moet op een draaischijf staan, die in ruim zes minuten zou moeten ronddraaien.

Dit is praktisch onuitvoerbaar. Er zijn wel kleine modellen op draaischijven geplaatst, maar naarmate de afmetingen toenemen, worden de moeilijkheden en vooral de kosten groter. Het Waterloopkundig Laboratorium heeft een plan uitgewerkt voor een ander model, waarbij een draaischijf van veertien meter middellijn te pas kwam. De kosten daarvoor werden geraamd op een half miljoen gulden. Bij het Deltamodel zou men misschien moeten rekenen op tien miljoen gulden. Er is dan ook nooit ernstig over gedacht.

Toch wordt de Coriolis-term in het model gerealiseerd. Ir. H. J. SCHOEMAKER, destijds adjunct-directeur van het Waterloopkundig Laboratorium, vestigde er de aandacht op, dat het Magnus-effect door dezelfde formule  $2\omega v$  wordt beschreven als de invloed van de aardrotatie op wind en op waterstromen [2]. Het Magnus-effect ontstaat, wanneer een om zijn as draaiende cylinder wordt blootgesteld aan een loodrecht op die as staande stroming van het medium, waarin hij is geplaatst. Er ontstaat dan een kracht, loodrecht op de as en loodrecht op de stroom, die evenredig is aan de rotatiefrequentie  $\omega$  van de cylinder en aan de snelheid van de stroming  $v$ .

In de twintiger jaren van deze eeuw is deze kracht gebruikt om schepen (de Flettner-rotorschepen) aan te drijven. Het ging toen om de kracht die werd uitgeoefend op de rotor, maar het is duidelijk, dat een even grote reactie wordt uitgeoefend op het stromende medium. Hier ligt de oplossing van het Coriolisprobleem in het model. Men maakt, evenals bij de bodemweerstand en bij de wind, gebruik van geconcentreerde krachten in plaats van gelijkmatig verdeelde en brengt een aantal rotoren – Coriolis-tollen – in het model aan (figuur 8.5.1). Elke tol levert een kracht in de juiste richting: loodrecht op de stroom. Het bleek, dat de tollen op onderlinge afstanden van omstreeks een meter kunnen worden geplaatst, zonder dat de invloed van het concentreren van de kracht in discrete punten hinderlijk wordt. De tollen zijn voorzien van horizontale schijfjes om het optreden van secundaire verschijnselen, o.a. een verticaal gerichte stroom langs de cylinderwand, te beperken. Hiermee wordt bereikt, dat de op-



Figuur 8.5.1. Coriolistollen

tredende kracht in een vaste verhouding staat met de theoretische waarde. In het zeegebied zijn 150 tollen geplaatst; hun toerental is 12 per seconde. Samen oefenen ze op het water de kracht uit, die overeenkomt met de versnelling van Coriolis.

#### 8.6 De invloed van dichtheid-verschillen van het water

Eén complicatie is in het model weggelaten: de wisselwerking tussen het zware zoute zeewater en het lichtere zoete water, dat wordt aangevoerd door de rivieren. De mogelijkheid bestaat om ook dit in rekening te brengen: in enkele modellen is met goed gevolg een slibsuspensie gebruikt in de plaats van zeewater. Bij het onder-water-schematiseren van de gebieden waar intensieve menging van zoet

en zout water plaats heeft (in het bijzonder de Rotterdamse Waterweg), is er op gelet, dat het reproduceren van de zoute ondervloed niet zal worden gestoord, als men er toe overgaat te werken met water van verschillende dichtheid.

## 9.0 DE NAUWKEURIGHEID

Geen enkel model geeft een exacte afspiegeling van wat in het prototype gebeurt en men moet zich dan ook steeds rekenschap geven van de afwijkingen („fouten”) die kunnen optreden. Bovendien moet de nauwkeurigheid van de waarnemingsmethoden in het oog worden gehouden.

### 9.1 De nauwkeurigheid van de waarnemingen

Over het laatstgenoemde punt kan het volgende worden opgemerkt.

De peilwaarnemingen zijn nauwkeurig tot op één à twee centimeters (werkelijkheid!); in de periode van de pik-pik's waren ze wellicht iets minder goed. Men moet nog rekening houden met afleesfoutjes van de diagrammen en met onzekerheden bij het waterpassen om de nulpunten van de peilschalen vast te stellen. Men komt alles bij alles tot een mogelijke fout van ten hoogste vijf centimeter.

Tijdens de perioden waarin de waterstand snel stijgt of daalt, komt daar nog een fout bij, die wordt veroorzaakt door onvolkomenheid in de tijdbepaling. Deze onvolkomenheid zal zelden meer zijn dan een seconde, dat is vijf minuten in het prototype. In die tijd kan de waterstand vijf tot tien centimeter veranderen.

Dezelfde onzekerheden heeft men in het prototype. Onnauwkeurigheden van enkele centimeters bij het aflezen van een peilschaal of bij het teruglezen van een geregistreerde getijlijn komen evengoed voor als onzekerheden van die grootte in de hoogteligging van het nulpunt van de peilschaal en tijd-fouten van een vijftal minuten. Men kan globaal zeggen, dat prototype en model in dit opzicht even nauwkeurig zijn.

Ten aanzien van stroomsnelheden geldt hetzelfde. Een gemeten snelheid kan, zowel buiten als in het model, nauwkeurig zijn tot op vijf procent of iets beter.

Bij debieten is de onzekerheid groter. Men moet hier rekening houden met verschillen tot tien procent en soms nog meer, tussen de gemeten waarde en de hoeveelheid die werkelijk door het dwars-profiel stroomt. In het prototype kan men groter nauwkeurigheid bereiken door omvangrijke metingen te doen, waarbij tegelijkertijd in een groot aantal punten wordt gemeten. In het model kan na de automatisatie hetzelfde worden bereikt door de meting een aantal malen te herhalen.

Steller dezès is geneigd de nauwkeurigheid in het model iets hoger aan te slaan dan die van het prototype, zowel ten aanzien van de waterstanden als van de stromen. Hij grondt die uitspraak op langjarige ondervinding, zowel „buiten” als in het laboratorium.

Sterk in het voordeel is het model bij het meten van een verval (verschil in gelijktijdige waterstanden op twee plaatsen). Met de tweede pen van de Wavo (zie 7.1) kan een nauwkeurigheid worden bereikt die in het prototype niet denkbaar is.

### 9.2 De nauwkeurigheid van het model

Thans moet de vraag worden beantwoord, in hoeverre het model de werkelijke toestand exact weergeeft.

Afwijkingen kunnen ontstaan door onjuiste vormgeving van het model, door foutieve hoogteligging, door een verkeerde stromingstoestand (laminair i.p.v. turbulent), door schematisering, door het weglaten in het model van factoren die in de werkelijkheid wèl invloed uitoefenen, of door het niet geheel voldoen aan de randvoorwaarden.

Er is – en dat zal zijn gebleken uit de voorafgaande hoofdstukken – ernstig getracht al deze foutenbronnen zo veel mogelijk te beperken. Het model is met zorg gebouwd en de afwijking tussen model en peilkaart is meestal kleiner dan het verschil tussen twee peilkaarten onderling. Met andere woorden, de uit dezen hoofde gemaakte fout is kleiner dan de variatie in de waterbeweging die optreedt wanneer één getijgeul dieper wordt en een andere verzandt. De ervaring in de werkelijkheid leert, dat deze variatie in den regel niet of nauwelijks kan worden geconstateerd.

De hoogteligging is het zwakste punt van het model. Dit is niet gefundeerd en bij het waterpassen blijkt herhaaldelijk, dat de hoogteligging van een deel van het model ietwat is veranderd ten opzichte van die van een ander deel. Plaatselijk kan de bodemligging wel bijna een centimeter van de bedoelde afwijken (in de werkelijkheid dus ongeveer een halve meter). Het gaat echter meestal om één of enige millimeters, dus niet veel meer dan een decimeter in de natuur: de nauwkeurigheid van de peilingen. Toch mag men de fout niet bagatelliseren, daar hij systematisch is. Hij is echter te beperken door een regelmatig toetsen en corrigeren van het model aan prototype-gegevens. Door in verzakte delen grind op de bodem te strooien, is correctie mogelijk.

Bij de gekozen schalen is de juiste stromingstoestand – turbulentie – verzekerd. De aanwezigheid van de weerstandstaven werkt, ten overvloede, gunstig in dit opzicht.

De invloed van schematisatie is moeilijk onder cijfers te brengen. Vergelijkt men de kleine vereenvoudigingen, die in het model zijn aangebracht, met de veel verder gaande schematisering, die nodig is bij het uitvoeren van getijberekeningen, die toch ook veelal goede resultaten geven, dan is de conclusie, dat fouten ten gevolge van schematiseren in dit model onbetekenend zijn.

Ten slotte de weggelaten factoren. Dit zijn de wind en de variaties in dichtheid van het water. Zoals reeds is vermeld, moeten daardoor fouten ontstaan. Het is niet goed doenlijk om ze te schatten.

### 9.3 Het ijken van het model

Toen het model voor het eerst in bedrijf werd gesteld, waren de foutenbronnen bekend. Men wist dus, dat het model zou afwijken van het prototype, maar men had er vertrouwen in, dat de afwijking niet groot zou zijn.

Bij het ijken bleek, dat dit vertrouwen niet misplaatst was. Getijden en rivierafvoeren die werkelijk waren voorgekomen (13–15 september 1936, later 30 maart–2 april 1937), zijn aan de modelgrenzen ingesteld en getijlijnen op verschillende plaatsen zijn gemeten en vergeleken met die van de werkelijkheid. Uiteraard kwam de situatie in het model overeen met de bestaande toestand, die in het laboratorium altijd wordt aangeduid met „toestand nul” of T0.

Er is reeds vermeld, dat het gevolg van die eerste meting was, dat de weerstanden in verscheidene geulen zijn veranderd. Na deze aanpassing was T0 voor de toenmalige begrippen uitstekend in orde. Men vond de afgeronde getijlijn van Dordrecht, de korte rijzing en lange daling van de waterspiegel bij Zaltbommel, de zaagtand-lijn beneden de stuw van Lith. Toch waren er op sommige plaatsen en sommige ogenblikken afwijkingen van enige decimeters.

In de loop van de jaren zijn ten gevolge van verbeteringen aan het model de afwijkingen kleiner geworden. Zij zijn thans zo klein, dat het de vraag is of verschillen tussen uitkomsten van waarnemingen in de natuur en in het model wel mogen worden toegeschreven aan onvolkomenheden van het laatste.

De controle voor het weergeven van stormvloed is gedaan aan de hand van de vloed van 2 december 1936. Deze vloed was bijna even hoog als de „Zuiderzeevloed” van januari 1916, maar er waren geen dijken bezweken. Wel was een deel van de Biesbosspolders ingelopen. Het resultaat was boven verwachting. Wel liepen in het model enige poldertjes in, die bij de vloed droog waren gebleven, maar het omgekeerde gebeurde ook: de werkelijke kadepoorten klopten niet geheel en al met die, welke op de kaarten waren aangegeven en die dus in het model waren overgenomen. Deze proef gaf vertrouwen in het weergeven van de stormwind door het te hoog opzetten van de modelzee.

### 9.4 De nauwkeurigheid van de uitkomsten

Uiteindelijk is het doel van het model niet het reproduceren van T0, maar het voorspellen van het gevolg van een wijziging in de situatie, die T0 doet veranderen tot een andere toestand, die wij zullen aanduiden met Tx. Met andere woorden, het gaat om (Tx – T0) en om de nauwkeurigheid, waarmee het model dit verschil weergeeft.

Wanneer Tx niet veel van T0 verschilt, mag men aannemen dat de fouten die worden gemaakt door de onvolkomenheden in het model, dezelfde zijn in beide situaties. Dat betekent, dat (Tx – T0) vrij is van die fouten en dat men bij de beoordeling van het gezochte effect alleen rekening moet houden met de nauwkeurigheid van de waarnemingen. Deze nauwkeurigheid is op te voeren door elk der toestanden T0 en Tx herhaaldelijk te meten.

Het is sterk aan te raden, de metingen in beide toestanden vlak na elkander uit te voeren en zelfs die in Tx onmiddellijk te laten voorafgaan en te laten volgen door metingen in T0. Sinds het model

is geautomatiseerd, kan een dergelijke serie metingen zonder onderbreking van de getijregeling worden gedaan.

Naarmate  $T_x$  meer verschilt van  $T_0$ , wordt de onderstelling, dat eventuele modelfouten in beide dezelfde zijn, minder houdbaar. Toch zal ook bij grote verschillen de nauwkeurigheid waarmede ( $T_x - T_0$ ) wordt gegeven, veel beter zijn dan die voor  $T_0$ . Hoeveel  $T_0$  afwijkt, kan men rechtstreeks opmaken door vergelijking tussen model en prototype (wanneer ten minste een werkelijk plaats gevonden getij of stormvloed wordt nagebootst). De onnauwkeurigheid van de metingen in het prototype mag daarbij niet worden vergeten.

De nauwkeurigheid van een voorspelling van de gevolgen van het uitvoeren van werken in het delta-gebied kan dus nagenoeg worden beoordeeld uit de strooiing van de waarnemingen die betrekking hebben op één bepaalde toestand,  $T_0$  of  $T_x$ . In het algemeen kan men zeggen, dat wijzigingen in de waterstand kunnen worden voorspeld met geen grotere fout dan 0,05 m voor het gewone getij en 0,1 m bij stormvloeden. Voor wijzigingen in de stroomsnelheid mag men een nauwkeurigheid verwachten van omstreeks 0,1 meter per seconde.

In vele gevallen kan men, met behulp van een groot aantal metingen, de nauwkeurigheid nog opvoeren.

#### **Naschrift**

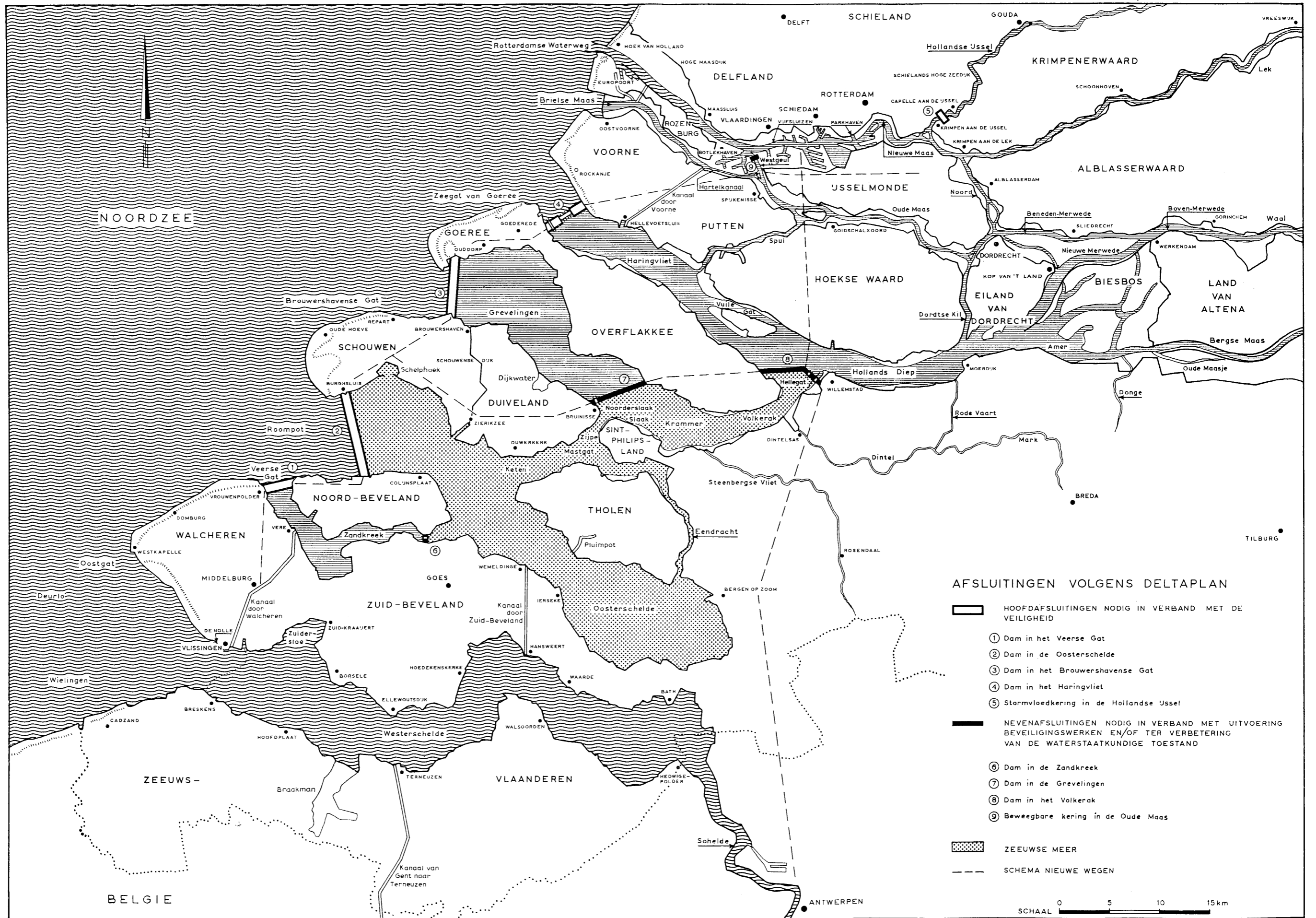
Ook na het schrijven van deze bijdrage is het model verder uitgebreid en verbeterd.

In het gebied tussen Rotterdamse Waterweg en Haringvliet, waar vroeger de Brielse Maas stroomde, zijn in 1960 de havenbekkens van Europoort gemaakt (4.0).

Het tast-orgaan van de waterstandsvolgers (7.1) is nu weer een scherpe punt geworden.

Voor het meten van stromen (7.2) wordt sinds enige tijd veel gebruik gemaakt van „micro-molentjes” van kunststof. Door een molentje te combineren met een waterstandsvolger, worden via een elektrisch systeem debieten geregistreerd.

Voor het snel en nauwkeurig ijken beschikt het laboratorium sinds 1960 over een elektromagnetische debietmeter.



Kaart van het door het deltamodel weergegeven gebied

BIJDRAGE IV.2

RIJKSWATERSTAAT

DE INVLOED VAN DE DELTAWERKEN  
OP DE GETIJBEWEGING  
EN DE  
STORMVLOEDSTANDEN LANGS DE KUST  
VAN ZUIDWEST-NEDERLAND



## INHOUDSOVERZICHT

0.1	Inhoudsoverzicht . . . . .	37
0.2	Overzicht van de tabellen . . . . .	37
0.3	Overzicht van de figuren . . . . .	38
0.4	Literatuur . . . . .	38
0.5	Summary . . . . .	39
0.6	Résumé . . . . .	42
<b>1.0</b>	<b>Samenstelling van de bijdrage . . . . .</b>	<b>45</b>
1.1	Inleiding en overzicht van de onderzoekingen . . . . .	45
1.2	Inhoud van de bijdrage . . . . .	46
1.3	Auteur . . . . .	46
<b>2.0</b>	<b>Theoretische grondslagen van de berekeningen . . . . .</b>	<b>46</b>
2.1	De getijvergelijkingen in een gebied onder invloed van de aardrotatie . . . . .	46
2.2	Oplossingen voor de getijvergelijkingen bij vereenvoudigde veronderstellingen . . . . .	47
<b>3.0</b>	<b>Gegevens over de getijbeweging in de Noordzee en de zeearmen bij de bestaande toestand . . . . .</b>	<b>64</b>
3.1	De waterbeweging naar de zeegaten in verhouding tot die in het Noordzeegebied . . . . .	64
3.2	De getijbeweging in de monden van Oosterschelde en Westerschelde . . . . .	64
<b>4.0</b>	<b>Gevolgen van de afsluiting voor de normale getijbeweging . . . . .</b>	<b>65</b>
4.1	Inleiding . . . . .	65
4.2	Berekeningen voor de bepaling van de indirecte invloeden in een zeer schematisch model . . . . .	66
4.3	Verbeterd mathematisch model van de stromingen bij de bestaande toestand . . . . .	68
4.4	De berekeningen van de veranderingen van het getij in de mondingen van de zeearmen en nabij de afsluitdammen . . . . .	70
4.5	De gecombineerde resultaten van de berekeningen betreffende de veranderingen van de getijbeweging langs de kust ten gevolge van de afsluitingen . . . . .	73
<b>5.0</b>	<b>De veranderingen, die de stormvloedstanden buiten de afsluitdammen zullen ondergaan . . . . .</b>	<b>74</b>
5.1	Inleiding . . . . .	74
5.2	Gegevens over de stormvloedstanden, die in het verleden zijn voorgekomen . . . . .	74
5.3	De wijzigingen in de waterstanden in het Noordzeegebied gedurende een storm . . . . .	75
5.4	De verhoging van de stormvloedstanden bij de afsluitdammen door de veranderde invloeden in het mondingsgebied van de zeearmen . . . . .	79
<b>0.2</b>	<b>OVERZICHT VAN DE TABELLEN</b>	
4.3.1	Berekende vervallen in de strook langs de kust, aangegeven in figuur 4.3.1, gerekend van Westkapelle naar Hoek van Holland . . . . .	69
5.2.1	Enige stormvloedstanden bij plaatsen aan de kust . . . . .	75

5.2.2	Hoogste windsnelheden te Vlissingen en Den Helder bij enige stormvloed . . . . .	75
5.3.1	Tijdstippen en waterstanden van het voorspelde astronomische getij en van de opgetreden stormvloed van 1 februari 1953 . . . . .	76
5.4.1	De opwaaiing bij de afsluitdammen bij een stormvloedstand van N.A.P. + 4 m . . . . .	80
5.4.2	Stormvloedstanden, gecorrigeerd voor plaatselijke windinvloeden . . . . .	82
5.4.3	Waterstandsverhogingen in cm vóór het tijdstip van H.W. te Vlissingen . . . . .	82

### 0.3 OVERZICHT VAN DE FIGUREN

4.2.1	Situatie van de 40 km-strook voor de kust van Ostende tot Scheveningen . . . . .	66
4.2.2	Notatie van de verschillende grootheden in de strook voor de kust . . . . .	67
4.3.1	Situatie van een strook voor de kust van Westkapelle tot IJmuiden . . . . .	69
4.4.1	De schematisatie van het gebied van de mond van de Oosterschelde en van de geulen langs het eiland Walcheren voor de getijberekening . . . . .	71
5.3.1	Het verloop van de stormvloed 1953 en van het astronomische getij te Hoek van Holland . . . . .	77
5.3.2	De schematisatie van het gebied van de monden van de Oosterschelde en de Westerschelde voor de berekening van de stormvloed 1953 . . . . .	78
5.4.1	De vakindeling voor de berekening van de opwaaiing bij afgesloten Oosterschelde . . . . .	80

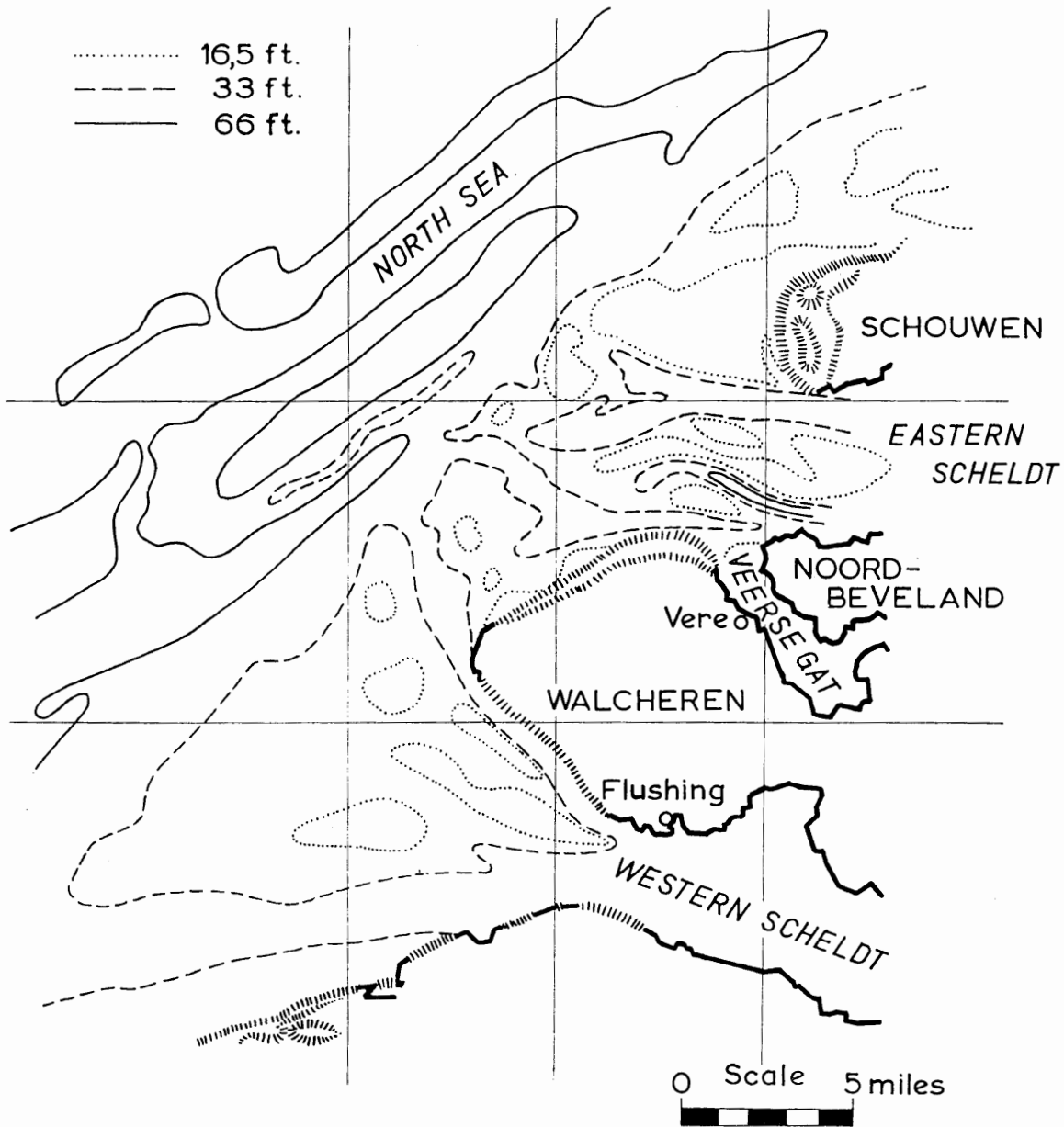
### 0.4 LITERATUUR De verwijzing in de tekst is aangegeven door [ ]

1. *J. J. Dronkers* De invloed van de afsluiting der zeegaten op de getijbeweging in de mond van de Westerschelde. Rapport Rijkswaterstaat, 1955.
2. *H. Holsters* Calcul d'une marée sinusoidale simple se propageant dans deux dimensions. Annales des Travaux Publics de Belgique, Brussel, 1959.
3. *Ministerie van Marine Afd. Hydrografie* Stroomatlas voor de Nederlandse kust. 's-Gravenhage, 1951.
4. *J. Proudman* Dynamical Oceanography. London, 1952.
5. *J. C. Schönfeld* Vergelijkingen van een lange golfbeweging in twee dimensies. Nota Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, 1954.
6. *Staatscommissie-Zuiderzee* Verslag 1918-1926. 's-Gravenhage, 1926.
7. *S. C. van Veen* Stark konvergente Entwicklungen für die vollständigen elliptischen Integrale erster und zweiter Art. Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Indagationes Mathematicae, Vol. III, Amsterdam, 1941.

### 0.5 SUMMARY

#### The effect of the Delta Works on the tides and the storm-surge levels along the coast of the southwestern part of the Netherlands

When the estuaries of the Eastern Scheldt, the Brouwershavense Gat and the Haringvliet are closed, appreciable changes will take place in the tidal currents of the coastal waters. The strong currents running to and from the estuaries will disappear and the currents running parallel to the coast will predominate. This will result in the gradual disappearance of the fan-shaped channels at the approaches to the estuaries and a flattening out of the coast line. A recession of



The contourlines of 16.5 ft, 33 ft and 66 ft below mean sea level

the sandy coast line of the islands is also to be expected. These developments may require the construction of protective works. Detailed studies for such works are needed which take into account the tidal mechanism, the action of waves and currents and their effect on sedimentary motion. The process of the reshaping of the coast line may be very prolonged, but it is quite possible that even in its first phase it will produce dangerous erosion. It is, in actual fact, difficult to predict in detail just what will occur.

Further investigations concern the determination of the rise in storm-surge levels following the closure. These are of special importance for the height of the dams and of the existing dikes. The investigations are based on the study of the tidal motion in the present situation. The pattern of the tidal currents in the mouths of the estuaries is very complex because of the interference provided by currents flowing in the direction of the estuaries to tidal currents which run parallel to the general trend of the coast. The latter currents are caused by the prevailing tidal motion in the North Sea, the greater the distance from the coast line the greater being the effect of the North Sea tide. Complications are also caused by the important phase differences between the North Sea currents and those of the estuaries: when the currents in the North Sea region are maximal the currents flowing towards the estuaries are small, and vice versa.

The accompanying figure shows the banks and channels found at the estuaries and along the coast line of the southern part of the Delta region. The shoals beyond the coast line are about 10 miles wide.

The vertical tidal motion has been determined at various points in the coastal area by means of an instrument which registers the pressure of the water column above the instrument. With these data and other observations made at certain points on the coast, the behaviour of tidal motion at other places in the coastal region can be derived by interpolation.

In addition, velocity measurements have been made at various locations for several years, in particular just outside the mouths of the estuaries and at some points in the channels situated in front of the islands. On the basis of these data the relation to the vertical tide can be established.

This contribution contains a further study of the changes which the closing of the Eastern Scheldt, the Brouwershavense Gat, and the Haringvliet will cause in the vertical tide and the currents along the Dutch coast. The modifications which will occur in the tides in the mouth of the Western Scheldt as a result of the closing of the Eastern Scheldt are also determined.

Since the currents towards the estuaries are relatively small in comparison with the tidal currents in the North Sea regions up to the English coast, the effect of the currents to and from the estuaries will be felt mainly in the coastal region. To obtain a general picture of the changes which will result from the closing of the estuaries, the calculation of the tide was limited to a strip along the coast. To determine to what extent the width of the strip affects the calculations, strips of 11 and 22 miles width were considered (see figs. 4.2.1 and 4.3.1). In order to determine the effect of the schematization of the bottom configuration as well, the tidal computations for both strips were considered first in a very rough schematization and then in a more detailed form. In these computation the propagation of a simple sinusoidal tidal wave (the so-called Kelvin wave) with a period of 12 hours and 25 minutes for the moon tide  $M_2$  was considered.

For the determination of the effect of the closing of the Eastern Scheldt on the tidal motion in the mouth of the Western Scheldt, more extensive computations were carried out for the sea area directly to the west of Walcheren by means of a more detailed schematization of this region (see fig. 5.3.2). In addition, the actual tide was considered, and this was computed with the quadratic-resistance term.

A system of channels lying behind and beside each other was assumed, in which the cross-current velocities could be neglected but not the Coriolis gradient in the cross direction.

The tidal motion in the sea is determined by the two equations of motion, the equation of continuity, and the boundary conditions.

Equations of motion:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Omega v + g \frac{su}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \Omega u + g \frac{sv}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial y}$$

Equation of continuity:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial au}{\partial x} + \frac{\partial av}{\partial y} = 0$$

In these equations  $t$  = time;  $x$  and  $y$  are plane co-ordinates;  $u$  = velocity component in the  $x$ -direction and  $v$  in the  $y$ -direction;  $h$  = water level with respect to an ordnance;  $g$  = acceleration of gravity;  $\Omega$  = Coriolis coefficient;  $C$  = resistance coefficient;  $a$  = depth. The value  $\rho$  of the density of the water is taken to be 1;  $s$  = magnitude of the velocity vector:

$$s = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$$

The mean sea depth in the coastal region is small compared to the mean depth in the North Sea itself. In the gullies between the shoals the depth varies between 25 and 60 feet. In the adjacent part of the North Sea, outside the coastal region, the depth varies between 70 and 90 feet. Hence, the resistance force in the equations of motion is much more important in the coastal region than it is in the North Sea, and special care must therefore be exercised in considering the effect of this force in tide calculations.

The value of the resistance coefficient  $C$  was determined from tide computations for the existing situation in the coastal area whose tidal motion is known from observations.

The computation of the propagation of the sinusoidal  $M_2$  tide requires a sinusoidal development of the quadratic resistance term with the same frequency as the  $M_2$  tide. An analogous development is also made in the calculation of the  $M_2$  tide in rivers (see Contribution III.7).

Thus the equations of motion for the  $M_2$  tide are:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} - \Omega v + \lambda u + m \frac{\partial v}{\partial t} &= -g \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \Omega u + \lambda v - m \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial h}{\partial y}\end{aligned}$$

in which it is supposed that

$$\begin{aligned}u &= U \cos(\omega t + \alpha) \\ v &= V \cos(\omega t + \beta)\end{aligned}$$

Here  $\lambda$  and  $m$  are numerical coefficients equal to:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{gS}{C^2 a} \left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) \\ m &= \mp \frac{gS}{\omega C^2 a} \frac{a_2}{2k_1} (1 - k_1^2)^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

where:

$$\begin{aligned}k_1^2 &= 1 - \frac{4U^2 V^2}{(U^2 + V^2)^2} \sin^2(\alpha - \beta) \\ S &= \left( \frac{U^2 + V^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

In  $m$  the negative sign holds if  $0 < \alpha - \beta < \pi$ ; in all other cases the positive sign holds.

Moreover,  $a_0$  and  $a_2$  are dependent upon  $k_1$ .

When  $0 < k_1 < 0.8$ , these quantities are determined by (30) and (31) of paragraph 2.2 of this Contribution.

If  $0.8 < k_1 < 1$ , (24a) and (25a) of paragraph 2.2 must be applied, in which case  $\delta = 1 - k_1$ .

The results of the computations indicate that the effect of the closures on the tides of the Western Scheldt will be negligible in connection with the relatively small currents in the direction of the estuaries compared with the currents in the southern basins of the North Sea. The high-water and low-water levels will change by only about one inch, with a probable drop in the high-water level.

The greatest changes will occur in the immediate vicinity of the closure dams. Here the normal high-water levels can be expected to rise by about 8 inches and the low-water levels to drop to a somewhat smaller extent. The changes along the existing coast will be minor.

The velocities in the outer estuaries of the sea arms which are to be closed will be reduced by about 30%, while this percentage will increase in the direction of the dams where the currents will disappear completely.

Although there are no detailed data concerning the course of the storm surges in the North Sea region available, computations based on the storm-surge curves measured on the coast have been made for the propagation of the storm surge of 1953 in the inlets of the estuary regions of the Eastern and Western Scheldt and the adjacent part of the North Sea. Fig. 5.3.1 shows the storm-surge curve at Hook of Holland.

It has been seemed possible to evaluate the probable effects of a repetition of this storm surge after the closure. A comparison was also made with other past storm surges. Because of the wind effect, for which velocities of 60 mph must be expected, the rise in the water level at the dam during storm surges can, as a result of the closures, amount to 20 inches.

The material treated in this contribution is divided as follows: in chapter 2.0 the theoretical bases of the computations are discussed, including the derivation of the equations for computing the propagation of the sinusoidal  $M_2$  tide. The suitable expression for the resistance term is discussed in detail in 2.2.2. In 2.2.5 the formulae for the propagation of Kelvin waves are derived. A method of calculation with quadratic resistance and actual tide for a system of channels lying behind and beside each other for which the cross-current velocities can be neglected but not the Coriolis gradients across the channels is discussed in 2.2.6. In 3.0 data concerning tidal motion in the North Sea and the estuaries are reported. In 4.0 the effects of the closures for the normal tidal motions are discussed in terms of the results of the computations, and 5.0 describes the changes in storm-surge levels.

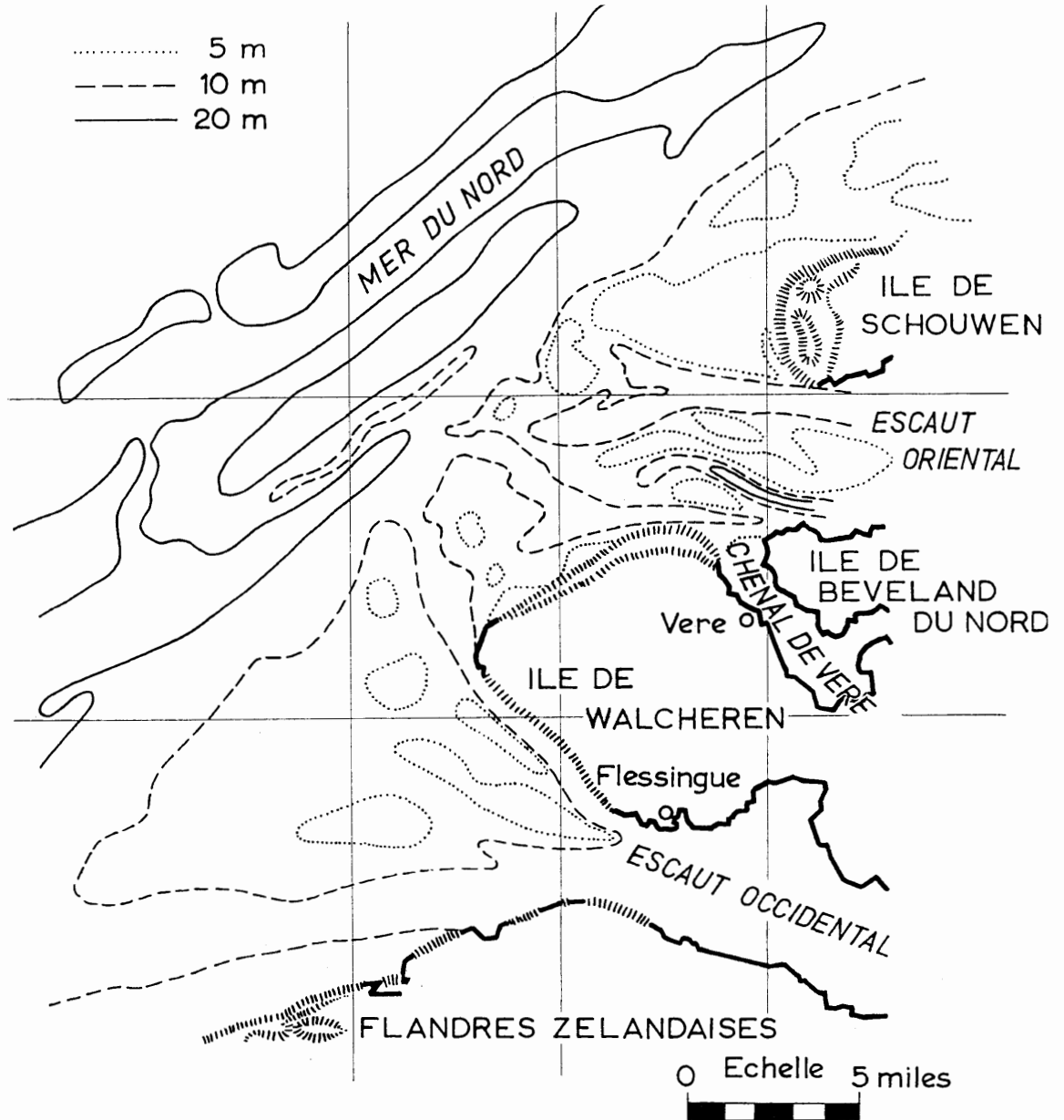
This contribution has been written bij Dr. J. J. Dronkers.

## 0.6 RÉSUMÉ

### L'influence des Travaux du Delta sur les marées et sur les niveaux à marées-tempête le long de la côte dans le sud-ouest des Pays-Bas

Lorsque les estuaires de l'Escaut Oriental, du Brouwershaven Gat et du Haringvliet seront fermés, des modifications considérables se produiront dans les courants de marées des eaux côtières.

Les courants puissants qui vont et viennent des estuaires disparaîtront et les courants parallèles à la côte prendront le dessus. Il en résultera la disparition progressive des passes disposées en éventail qui s'avancent vers le littoral et



Contours de 5 m, 10 m et 20 m au-dessous du niveau moyen de la mer

l'égalisation de la ligne côtière. On pourra s'attendre à un recul de la côte sablonneuse des îles. Cela nécessitera à l'avenir des ouvrages de défense. Pour la construction de tels ouvrages, il faudra faire des études détaillées qui devront tenir compte du mécanisme des marées, de l'action des vagues et des courants et de leur influence sur le mouvement des sédiments.

Le processus des modifications côtières peut être de longue durée, mais il est possible que cette évolution provoque, même dès le début, de dangereux effets d'érosion. En fait, il est difficile de prévoir ce qui se produira en détail.

D'autres études tentent de définir l'augmentation des niveaux des marées en cas de tempête, après la fermeture des embouchures. Ceci est particulièrement important pour déterminer la hauteur des barrages à construire et des digues déjà existantes.

La base de ces recherches consiste en l'étude du mouvement des marées tel qu'il existe dans la situation actuelle. Le dessin des mouvements de marées dans les embouchures est très compliqué par suite de l'interférence des divers courants qui se dirigent vers l'embouchure avec les courants de marées, parallèles à la ligne générale du littoral. Ces derniers courants sont causés par le mouvement général des marées dans la Mer du Nord et plus la distance à la côte est grande, plus l'influence de la marée de la Mer du Nord est considérable. D'autres complications sont causées par l'importante différence des phases entre les courants de la Mer du Nord et ceux des estuaires. Lorsque les courants ont atteints leur maximum dans la région de la Mer du Nord, ceux qui se dirigent vers les estuaires sont faibles, et inversement.

La figure donne un aperçu des bancs et des passes près des estuaires et en dehors de la ligne côtière de la partie méridionale de la région du Delta. Les bancs situés en dehors de la ligne côtière s'avancent au large jusque'à 20 km environ.

A plusieurs endroits de la région côtière, le mouvement vertical des marées est mesuré à l'aide d'un appareil indicateur de pression.

Au moyen de ces données et des résultats des observations faites à plusieurs endroits de la côte, l'évolution du mouvement des marées peut être déduite par interpolation pour d'autres points de la côte.

D'autre part, des mesures de vitesse ont été effectuées, pendant quelques années et à différents endroits, notamment à l'ouverture des estuaires et à certains points des passes se trouvant devant et entre les îles. Le rapport avec la marée verticale peut ainsi être déterminé.

Dans cette contribution, on examine les modifications qui se produiront dans la marée verticale et les courants parallèles au littoral néerlandais, par suite de la fermeture de l'Escaut Oriental, du Brouwershaven Gat et du Haringvliet.

On y définit aussi les changements qui se produiront dans les marées de l'embouchure de l'Escaut Occidental, à la suite de la fermeture de l'Escaut Oriental.

Etant donné que le courant se dirigeant vers les estuaires est relativement faible, comparé aux courants de marées existant dans la Mer du Nord, jusqu'à la côte de l'Angleterre, l'influence des courants allant et venant des différents bras se fera sentir principalement dans la région côtière.

Pour obtenir une idée générale des modifications qui se produiront à la suite de la fermeture des estuaires, le calcul de la marée a été limité à une bande longeant le littoral.

Afin de pouvoir se rendre compte de l'influence que peut avoir la largeur de la bande dans les résultats des calculs, on a considéré des bandes larges respectivement de 20 et de 40 km (voir fig. 4.2.1 et 4.3.1).

Pour déterminer ensuite l'influence de la schématisation de la configuration du fond, on a considéré - lors des calculs des marées pour les dites bandes - d'abord une schématisation très globale et ensuite une schématisation plus détaillée. Dans ces calculs, on a considéré la propagation d'une simple onde de marée sinusoïdale (l'onde dite de Kelvin) à une période de 12 heures et 25 minutes, la marée dite lunaire ( $M_2$ ).

Pour déterminer l'influence de la fermeture de l'Escaut Oriental sur le mouvement des marées dans l'embouchure de l'Escaut Occidental, on a effectué des calculs plus détaillés pour une partie située à l'ouest de l'île de Walcheren, en faisant une schématisation plus précise de cette région (voir fig. 5.3.2). De plus, on a considéré la marée telle qu'elle est en réalité et on l'a calculée avec le terme quadratique de résistance.

On a considéré un système de passes, situées les unes derrière les autres et les unes à coté des autres, dans lequel on pouvait négliger les vitesses latérales, mais non les forces de Coriolis en direction latérale.

Le mouvement des marées en mer est déterminé par les deux équations de mouvement, par l'équation de continuité et par des valeurs données de la marée sur le contour de la région.

Equations de mouvement:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Omega v + g \frac{su}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \Omega u + g \frac{sv}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial y}$$

Equation de continuité:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial au}{\partial x} + \frac{\partial av}{\partial y} = 0$$

où:

$t$  = temps;  $x$  et  $y$ : coordonnées planes;  $u$  = composante de vitesse dans la direction  $x$  et  $v$  = idem dans la direction  $y$ ;  $h$  = hauteur de l'eau par rapport à zéro;  $g$  = accélération de la force de gravité;  $\Omega$  = coefficient de Coriolis;  $C$  = coefficient de résistance;  $a$  = profondeur.

La valeur  $\rho$  de la densité de l'eau est supposée égale à un;  $s$  = valeur du vecteur de vitesse;

$$s = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$$

Dans la région côtière, la profondeur moyenne de la mer est petite, comparée à la profondeur moyenne de la Mer du Nord elle-même. Dans les passes situées entre les bancs, la profondeur varie de 8 à 20 mètres. Dans la partie voisine de la Mer du Nord, située en dehors de la région côtière, la profondeur varie de 25 à 30 mètres.

Par suite, pour la région côtière, l'influence de la résistance est bien plus considérable que pour la Mer du Nord. Il en résulte que dans le calcul des marées, une attention toute particulière doit être apportée à l'influence de cette force.

La valeur du coefficient de résistance  $C$  a été trouvée au moyen de calculs de marées effectués pour la situation actuelle dans la région côtière où les observations ont fait connaître le mouvement des marées. Pour le calcul de la propagation de la marée sinusoïdale de la marée  $M_2$ , il faut fixer, pour le terme quadratique de résistance, un développement sinusoïdal de la même fréquence que celle de la marée  $M_2$ . Un développement identique a lieu pour le calcul de la marée  $M_2$  dans les rivières (voir Contribution III.7).

Il apparaît alors que les équations de mouvement pour la marée  $M_2$  sont les suivantes:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} - \Omega v + \lambda u + m \frac{\partial v}{\partial t} &= -g \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \Omega u + \lambda v - m \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial h}{\partial y}\end{aligned}$$

où:

$$\begin{aligned}u &= U \cos(\omega t + \alpha) \\ v &= V \cos(\omega t + \beta)\end{aligned}$$

$\lambda$  et  $m$  sont des coefficients de nombres égaux respectivement à:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{gS}{C^2 a} \left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) \\ m &= \mp \frac{gS}{\omega C^2 a} \frac{a_2}{2k_1} (1 - k_1^2)^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

où:

$$\begin{aligned}k_1^2 &= 1 - \frac{4U^2 V^2}{(U^2 + V^2)^2} \sin^2(\alpha - \beta) \\ S &= \left( \frac{U^2 + V^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

Le signe devant  $m$  est négatif lorsque  $0 < \alpha - \beta < \pi$ ; sinon, il est positif.

De plus,  $a_0$  et  $a_2$  dépendent de  $k_1$ .

Si  $0 < k_1 < 0,8$  ces valeurs sont déterminées par (30) et (31) du paragraphe 2.2 de cette contribution.

Lorsque  $0,8 < k_1 < 1$ , il faut appliquer (24a) et (25a) du paragraphe 2.2; alors  $\delta = 1 - k_1$ .

Il résulte des résultats des calculs que la fermeture aura une influence minime sur les marées de l'Escaut Occidental, ceci par rapport aux courants relativement faibles dirigés vers les estuaires, comparés aux courants existants dans le sud de la Mer du Nord. Les niveaux de la haute mer et de la basse mer ne présenteront qu'une différence de quelques centimètres, une diminution du niveau de la haute mer est même probable.

Les changements les plus grands se feront néanmoins à proximité des barrages de fermeture. Ici le niveau normal de la haute mer pourra augmenter de 20 cm environ et celui du reflux pourra diminuer d'un peu moins. Le long du littoral actuel, les changements sont minimes.

Dans les embouchures extérieures des estuaires à fermer, les vitesses diminueront d'environ 30% tandis que ce pourcentage augmentera en direction des barrages où les courants disparaîtront complètement.

Bien que les données manquent au sujet de l'évolution des marées-tempête dans la Mer du Nord, on a calculé - en partant des courbes des marées-tempête mesurées à la côte - la propagation de la marée-tempête de 1953 pour les régions des embouchures de l'Escaut Oriental et de l'Escaut Occidental. L'évolution de cette marée-tempête à Hoek van Holland est reproduite à la figure 5.3.1.

Il a été possible de se faire une idée des changements qui se produiraient si une telle marée se répétait après la fermeture. On a également pu faire une comparaison avec d'autres marées semblables qui ont eu lieu jadis.

Par suite de l'influence du vent - où il faut tenir compte de vitesses atteignant 30 m/sec - il peut arriver que, à proximité du barrage de protection, par le fait de la fermeture, le niveau de l'eau, pendant la marée-tempête, monte de 50 cm.

Le contenu de cette contribution est divisé comme suit:

En 2.0, on expose les données théoriques des calculs, entre autres celles qui ont servi à établir les équations pour le calcul de la propagation de la marée sinusoïdale  $M_2$ .

En 2.2.2 on déduit la formule de résistance pour la marée sinusoïdale  $M_2$ .

En 2.2.5 on déduit les formules pour le calcul de la propagation des ondes de Kelvin.

En 2.2.6 on traite une méthode de calcul, compte tenu de la résistance quadratique et d'une marée existant réellement pour un système de passes situées les unes derrière les autres et les unes près des autres, en négligeant les vitesses latérales, mais en tenant compte des forces de Coriolis en direction latérale.

Ensuite 3.0 indique des données concernant le mouvement des marées dans la Mer du Nord et les estuaires.

En 4.0 on expose les conséquences des fermetures pour le mouvement normal des marées selon les résultats des calculs.

Enfin 5.0 est consacré aux changements dans les niveaux de marées-tempête.

Cette contribution a été écrite par le Dr. J. J. Dronkers.



## 1.0 SAMENSTELLING VAN DE BIJDRAGE

### 1. Inleiding en overzicht van de onderzoeken

Het doel van deze bijdrage is, de veranderingen, die door de afsluiting van de Oosterschelde, het Brouwershavense Gat en het Haringvliet in het verticale getij, de stormvloedstanden en de stromen langs de Nederlandse kust zullen ontstaan, nader te bepalen.

Ook is getracht de wijzigingen, die in de getijden in de mond van de Westerschelde zullen optreden door de afsluiting van de Oosterschelde, vast te stellen.

Hoewel over het verloop van de stormvloeden in het Noordzeegebied zelf geen nadere gegevens bekend zijn, werd toch voor de mondingsgebieden van Oosterschelde en Westerschelde de voortplanting van de stormvloed van 1953 nader berekend. Hierbij werd uitgegaan van de gemeten stormvloedkrommen aan de kust. Het bleek dan mogelijk om een indruk te verkrijgen van de veranderingen, die kunnen optreden, indien deze stormvloed zich na de afsluitingen zou herhalen. Ook werd een vergelijking gemaakt met andere voorgekomen stormvloeden.

De wijze, waarop het normale getij zich in het zuidelijke bekken van de Noordzee voortplant, is in algemene zin bekend. Ook over de stromingen van en naar de zeearmen in de mondingsgebieden van de zeegaten en in het ondiepe, met geulen doorsneden plateau voor de kust is uit snelheidsmetingen veel bekend. Het is echter niet mogelijk om uit de waarnemingen een begrenzing in de Noordzee aan te geven, waar de invloed van de stroming naar en van de zeearmen van betekenis begint te worden. Deze totale stroming is relatief klein in vergelijking met de getijstromen in het Noordzeegebied tussen de Nederlandse en de Engelse kust. De invloed van de stromen naar en van de zeearmen doet zich hoofdzakelijk in het kustgebied gevoelen.

Na de afsluiting van een zeearm verdwijnen in het mondingsgebied de stromen, die thans daarheen gericht zijn, en zullen de getijstromen meer evenwijdig met de kust gaan lopen en bepaald worden door de getijbeweging in het Noordzeegebied en de aanwezige banken en geulen.

Bij hoogwater is ook de stroming over de aanwezige banken van betekenis. Bij laagwater heeft de stroming hoofdzakelijk door de geulen plaats. Geleidelijk zullen bestaande banken en geulen worden vervormd. Op dit verschijnsel wordt niet nader ingegaan.

Voor het verkrijgen van een algemeen inzicht in de veranderingen, die door de afsluiting van de zeegaten zullen ontstaan, werd derhalve de berekening van het getij beperkt tot een strook langs de kust.

Om na te kunnen gaan, in hoeverre de breedte van de strook van invloed is op de resultaten van de berekeningen, werden stroken beschouwd, die respectievelijk 20 en 40 km breed waren. Om voorts de invloed te bepalen van de schematisatie van de bodemfiguratie, werd bij de getijberekeningen voor de genoemde stroken eerst een zeer grove schematisatie beschouwd en daarna een meer gedetailleerde. Bij deze berekeningen werd de voortplanting van een eenvoudige sinusoidale getijgolf beschouwd met een periode van 12 uur en 25 minuten, het zg. maangetij  $M_2$ .

Voor de bepaling van de invloed van de afsluiting van de Oosterschelde op de getijbeweging in de mond van de Westerschelde werden echter meer uitvoerige berekeningen uitgevoerd voor het zeegebied onmiddellijk ten westen van Walcheren, bij een nauwkeuriger schematisatie van dit gebied. Bovendien werd het werkelijk voorkomende getij beschouwd en werd gerekend met de kwadratische weerstandsterm.

Uit de resultaten van de berekeningen blijkt, dat de invloed van de afsluitingen op de getijden van de Westerschelde gering zal zijn omdat de stromen, die naar de zeegaten gericht zijn, klein zijn in vergelijking met de stromen in het zuidelijke bekken van de Noordzee. De H.W.- en L.W.-standen zullen slechts met enkele centimeters veranderen, waarbij een daling van de H.W.-stand waarschijnlijk is. Bij stormvloeden kan eventueel een kleine verhoging optreden.

Als gevolg van getij en windinvloed, waarbij snelheden van 30 m/sec voorkomen, kunnen bij stormvloeden de verhogingen bij de dammen als gevolg van de afsluitingen tot 50 cm oplopen.

De grootste veranderingen zullen in de onmiddellijke omgeving van de afsluitdammen voorkomen. Hier kunnen de normale H.W.-standen met ongeveer 20 cm toenemen en de L.W.-standen met een wat kleiner bedrag dalen. Langs de bestaande kust zijn de veranderingen weer gering.

Van Belgische zijde werden door HOLSTERS [2] getijberekeningen uitgevoerd in het Noordzeegebied voor de Nederlandse delta. Hierbij werd de voortplanting van het sinusoidale  $M_2$ -getij berekend, terwijl een gedetailleerde schematisatie van het bodemprofiel werd beschouwd.

Voor de berekening van de voortplanting van het sinusoidale  $M_2$ -getij moet voor de kwadratische weerstandsterm een sinusoidale ontwikkeling worden bepaald met dezelfde frequentie als het  $M_2$ -getij. Hiervoor paste HOLSTERS het bekende principe van LORENTZ toe, zoals dit is aangegeven in het Verslag van de Staatscommissie-Zuiderzee [6]. Dit principe berustte op de fysische veronderstelling, dat de op iedere plaats gedurende het getij verrichte arbeid van de weerstand, indien deze evenredig is met het kwadraat van de snelheid, gelijk moet zijn aan de arbeid, indien de weerstand lineair evenredig zou zijn met de snelheid.

Men kan echter voor de weerstandsformule ook op wiskundige wijze de sinusoidale ontwikkeling, ook wel harmonische ontwikkeling genoemd, afleiden, dus op analoge wijze als is uitgevoerd voor de berekening van het  $M_2$ -getij op rivieren <sup>1)</sup>. Uit een onderzoek van de auteur van deze bijdrage (zie 2.2.2) blijkt, dat deze harmonische ontwikkeling van de weerstandsterm in het geval van het  $M_2$ -getij niet in alle gevallen tot dezelfde formule leidt als die, welke wordt gevonden met behulp van het bovenvermelde principe van LORENTZ (zie 2.2.1).

## 1.2 Inhoud van de bijdrage

In 2.0 worden de theoretische grondslagen van de berekeningen behandeld, waaronder de opstelling van de vergelijkingen voor de berekening van de voortplanting van het sinusoidale  $M_2$ -getij. De aanpassing van de bijbehorende weerstandsformule wordt nader behandeld in 2.2.2. Een berekening met kwadratische weerstand en werkelijk voorkomend getij voor een stelsel achter en naast elkaar gelegen geulen, waarbij de dwarssnelheden verwaarloosd kunnen worden, maar niet de Coriolisvervalen in dwarsrichting, wordt in 2.2.6 besproken. Daarna worden in 3.0 gegevens vermeld over de getijbeweging in de Noordzee en de zeearmen.

In 4.0 worden behandeld de gevolgen van de afsluitingen voor de normale getijbeweging volgens de resultaten van de berekeningen en in 5.0 de veranderingen in de stormvloedstanden.

## 1.3 Auteur

Deze bijdrage is samengesteld door Dr. J. J. Dronkers.

## 2.0 THEORETISCHE GRONDSLAGEN VAN DE BEREKENINGEN

### 2.1 De getijvergelijkingen in een gebied onder invloed van de aardrotatie

De bewegingsvergelijkingen van de waterbeweging in een tweedimensionaal gebied, dat aan de aardrotatie onderworpen is, zijn, als de dichtheid van het water ( $\rho$ ) gelijk aan 1 is gesteld:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Omega v + g \frac{su}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial x} - g i_x \quad (1)$$

en

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \Omega u + g \frac{sv}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial y} - g i_y \quad (2)$$

De verschillende krachten per volume-eenheid in deze vergelijkingen zijn respectievelijk: links de versnellingskracht, de kracht van Coriolis en de weerstandskracht en rechts de verhangkracht en de windschuifkracht, welke laatste in het algemeen ook afhankelijk is van  $x$ ,  $y$  en  $t$ , met de componenten  $-g i_x$  en  $-g i_y$ .

De continuïteitsvergelijking is in het geval van een variabele diepte

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (a u) + \frac{\partial}{\partial y} (a v) = 0 \quad (3)$$

Bij constante diepte is deze vergelijking:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + a \frac{\partial u}{\partial x} + a \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3a)$$

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage III.7.

De betekenis van de symbolen is:

- $t$  = tijd;  
 $x, y$  = coördinaten van een punt in het zeegebied t.o.v. een rechthoekig coördinatenstelsel. De positieve  $y$ -richting wordt bepaald door draaiing tegen de wijzers van een uurwerk in vanuit de positieve  $x$ -richting;  
 $u, v$  = componenten van de snelheid, respectievelijk in  $x$ - en  $y$ -richting;  
 $s$  =  $(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$ ;  
 $h$  = hoogte van de waterspiegel t.o.v. een gekozen nulvlak (bijv. N.A.P.);  
 $a$  = diepte;  
 $\Omega$  = coëfficiënt van Coriolis; de termen  $-\Omega v$  en  $\Omega u$  geven de invloed van de aardrotatie op de waterbeweging aan;  
 $C$  = weerstandscoefficiënt;  
 $g$  = versnelling van de zwaartekracht.

Voor de afleiding van deze vergelijkingen wordt verwezen naar § 121—§ 128 van [6] en voor een nadere beschouwing van de kracht van Coriolis naar § 33 van dezelfde publikatie (zie ook [4]).

Verschillende veronderstellingen betreffende de waterbeweging in het tweedimensionale gebied, die betrekking hebben op het verwaarlozen van de tweede-ordetermen in de bewegingsvergelijkingen in (1) en (2), worden ook vermeld in een andere bijdrage<sup>1)</sup> en uitvoerig behandeld in [5]. Een van de belangrijke veronderstellingen is, dat de verticale versnellingen te verwaarlozen zijn ten opzichte van  $g$  en dat de verticale watersnelheden klein zijn ten opzichte van de horizontale snelheden.

In de vergelijkingen (1) en (2) zijn de weerstandstermen evenredig met het kwadraat van de snelheid verondersteld. Evenals in het geval van de harmonische oplossing van de getijvergelijkingen op een rivier, is het mogelijk om overeenkomstige getijvergelijkingen in een tweedimensionaal gebied aan te geven.

In 2.2.2 wordt de sinusoidale ontwikkeling van de weerstandsterm in het geval van het sinusoidale  $M_2$ -getij nader behandeld.

Oplossingen voor de vergelijkingen (1), (2) en (3) kunnen bepaald worden als in de punten van een gesloten randkromme, hetzij het verloop van het verticale getij, hetzij de normale component van de snelheid bekend is en deze functies continu en een voldoende aantal malen differentieerbaar zijn. Exacte oplossingen kunnen bepaald worden, als de randkromme, waarop deze randwaarden betreffende waterstanden of snelheden gegeven zijn, een niet te ingewikkelde vorm heeft. Voor dergelijke gevallen, waarbij echter niet het getijdenprobleem werd beschouwd, maar de invloed van windeffecten op het wateroppervlak van de Noordzee, zijn in een andere bijdrage<sup>2)</sup> oplossingen aangegeven.

## 2.2 Oplossingen voor de getijvergelijkingen bij vereenvoudigde veronderstellingen

### 2.2.1 Inleiding

Voor het bepalen van exacte oplossingen van de getijvergelijkingen zonder windinvloed, waaraan randvoorwaarden worden toegevoegd, moeten de vergelijkingen

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Omega v + g \frac{su}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \Omega u + g \frac{sv}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2)$$

en

$$\frac{\partial h}{\partial t} + a \frac{\partial u}{\partial x} + a \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

lineair zijn in de onafhankelijke variabelen  $h$ ,  $u$  en  $v$ . Verder is de windinvloed buiten beschouwing gelaten.

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage II.4 (Inleiding).

<sup>2)</sup> Zie Bijdrage II.4.

Dan moeten de weerstandstermen in (1) en (2), die vanwege de geringe diepten langs de Nederlandse kust een belangrijke invloed hebben, vervangen worden door respectievelijk  $\lambda u$  en  $\lambda v$ , waarbij  $\lambda$  een nader te bepalen grootte is, die onafhankelijk is van  $h$ ,  $u$  en  $v$ . Dit zal slechts in bijzondere gevallen bij benadering mogelijk zijn, nl. als de invloed van de weerstandskrachten op de waterbeweging relatief klein is ten opzichte van de Corioliskrachten en de versnellingskrachten (bijv. in diepe zeeën). Dan zou men bijvoorbeeld de gemiddelde waarde van de weerstandskracht over het beschouwde tijdsinterval volgens de kwadratische weerstandswet ongeveer gelijk kunnen stellen aan die volgens de lineaire wet.

De veronderstelling, die door LORENTZ voor de linearisatie van de weerstandsterm in de bewegingsvergelijking in ééndimensionale getijgeulen is toegepast [6], is, dat gedurende een volle getijperiode de negatieve arbeid van de weerstand, die evenredig met de snelheid verondersteld is, gelijk is aan die van de werkelijk bestaande, die evenredig is met de snelheid in het kwadraat.

Zoals in de inleiding is medegedeeld, werd bij de berekeningen van HOLSTERS [2] voor de berekening van de voortplanting van het  $M_2$ -getij ook het principe van LORENTZ toegepast.

Voor de berekening van het  $M_2$ -getij kan ook de wiskundige methode worden gevolgd om de weerstandstermen in (1) en (2) te ontwikkelen in een harmonische reeks met de frequentie van het  $M_2$ -getij als grondfrequentie, dus op analoge wijze als is geschied voor de weerstandsterm in de bewegingsvergelijking voor rivieren<sup>1)</sup>. Voorts werd verondersteld, dat de diepte constant is.

De bewegingsvergelijkingen voor

$$u = U(x, y) \cos(\omega t + \alpha(x, y))$$

$$v = V(x, y) \cos(\omega t + \beta(x, y))$$

en

$$h = H(x, y) \cos(\omega t + \gamma(x, y))$$

die te zamen met (3) de voortplanting van het  $M_2$ -getij in een zeegebied bepalen, hebben dan de volgende vorm:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \Omega v + \lambda u + m \frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1a)$$

en

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \Omega u + \lambda v - m \frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2a)$$

Bij de berekening van de hogere harmonische termen in de weerstandsformule worden de formules dermate ingewikkeld, dat deze niet nader in deze bijdrage zijn weergegeven.

In 2.2.2 zijn de harmonische termen van de weerstand, die de frequentie hebben van het  $M_2$ -getij en dus ook de waarden van de coëfficiënten  $\lambda$  en  $m$ , nader aangegeven.

In de volgende subparagrafen zijn de formules vermeld voor de praktische berekeningen, waarvan in de volgende hoofdstukken de resultaten zijn behandeld.

Voor een inzicht in de veranderingen, die de getijbeweging langs de kust zal ondergaan door de afsluitingen, is in 2.2.5 de methode behandeld, die kan worden toegepast als de snelheden in een rechthoekige strook langs de kust evenwijdig aan deze kust verlopen en dus de invloed van de dwarssnelheden verwaarloosd mag worden. Verder is de eventuele windinvloed buiten beschouwing gelaten. De waterbeweging in de strook wordt dan bepaald door de zg. Kelvingolven. Aan deze veronderstelling zal na de afsluitingen voldaan zijn, als de breedte van de strook niet te groot wordt aangenomen. Vóór de afsluitingen is dit uiteraard niet het geval. Over de invloed van de dwarssnelheden op de waterbeweging wordt in 4.0 een nader onderzoek ingesteld. Bij deze eenvoudige berekeningen werd langs de gehele kust een gemiddelde constante diepte aangenomen en werd de voortplanting van het sinusoïdale  $M_2$ -getij beschouwd.

In 2.2.6 wordt een numerieke methode aangegeven voor het geval het zeegebied langs de kust wordt verdeeld in vakken met constante diepte met eventueel onderling verschillende afmetingen. Bij deze schematisatie wordt zoveel mogelijk rekening gehouden met de aanwezigheid geulen. Bij deze methode

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage III.7.

werden de vergelijkingen (1) en (2) toegepast, dus vergelijkingen met kwadratische weerstandsterm, terwijl ook het werkelijk voorkomende getij werd beschouwd. In verband met de schematisatie volgens de aanwezige geulen, werden weer de dwarsnelheden buiten beschouwing gelaten. Deze methode werd ook toegepast voor de berekening van de toestand na de afsluiting van de zeearmen.

### 2.2.2 De bepaling van de componenten van de weerstandstermen met de frequentie van het sinusoidale $M_2$ -getij

2.2.2.1 *De afleiding van de algemene formules.* De componenten van de snelheid,  $u$  en  $v$ , kunnen bij het sinusoidale getij worden voorgesteld in reële, respectievelijk imaginaire vorm door:

$$u = U \cos(\omega t + \alpha) = \frac{1}{2} U [e^{i(\omega t + \alpha)} + e^{-i(\omega t + \alpha)}] = u_1 e^{i\omega t} + u_{-1} e^{-i\omega t} \quad (4)$$

en

$$v = V \cos(\omega t + \beta) = \frac{1}{2} V [e^{i(\omega t + \beta)} + e^{-i(\omega t + \beta)}] = v_1 e^{i\omega t} + v_{-1} e^{-i\omega t} \quad (5)$$

De positieve getallen  $U$  en  $V$  zijn de amplituden van de componenten van de snelheid,  $\alpha$  en  $\beta$  de respectievelijke fasehoeken. De frequentie van het sinusoidale  $M_2$ -getij is door  $\omega$  aangegeven.

Volgens (4) en (5) doorloopt de snelheidsvector ( $u, v$ ) gedurende het getij een ellips. Dit blijkt direct na eliminatie van de tijd. In het bijzondere geval, dat  $U = V$  en  $\alpha - \beta = \pm \frac{\pi}{2}$  is, is deze ellips een cirkel. In de gevallen  $\alpha = \beta$  of  $\alpha - \beta = \pi$ , terwijl dan  $U$  ongelijk of gelijk aan  $V$  kan zijn, verloopt de snelheid gedurende de helft van het getij in dezelfde richting en daarna in tegengestelde richting. Dit is ook het geval als  $U = 0$  of  $V = 0$  is.

Na enige berekening wordt voor de grootte van de snelheid,  $s = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$ , gevonden:

$$s = S(1 + p)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

waarin:

$$p = \frac{U^2 e^{2i\alpha} + V^2 e^{2i\beta}}{2(U^2 + V^2)} e^{2i\omega t} + \text{c.c.}$$

en

$$S = \left( \frac{U^2 + V^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Hierin wordt door c.c. de toegevoegd complexe term aangegeven.

In het vervolg wordt de hoek  $\varphi$  ( $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ ) gedefinieerd door:

$$\cos \varphi = \frac{U}{(U^2 + V^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

Dan blijkt na enige berekening dat

$$p = k_1 \cos(2\omega t + \alpha + \beta + \varphi) \quad (8)$$

waarin  $\varphi$  en  $k_1$  bepaald zijn door:

$$\text{tg } \varphi = \cos 2\varphi \text{ tg }(\alpha - \beta) \quad (9)$$

en

$$k_1 = \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos \varphi}$$

Voor  $k_1^2$  kan nog geschreven worden:

$$k_1^2 = 1 - \sin^2 2\varphi \sin^2(\alpha - \beta)$$

of ook:

$$k_1^2 = 1 - \frac{4U^2V^2}{(U^2 + V^2)^2} \sin^2(\alpha - \beta) \quad (10)$$

Ook  $\text{tg } \varphi$  kan op analoge wijze worden uitgedrukt:

$$\text{tg } \varphi = \frac{U^2 - V^2}{U^2 + V^2} \text{tg }(\alpha - \beta) \quad (11)$$

Indien  $U > V$  is, kan  $\psi$  volgens (11) in hetzelfde kwadrant van  $\alpha - \beta$  bepaald worden. Als  $U < V$  is, ligt  $\psi$  in hetzelfde kwadrant als  $\beta - \alpha$ . Indien bij deze gevallen  $\alpha = \beta$  of  $\alpha = \beta \pm \frac{\pi}{2}$  is, wordt respectievelijk  $\psi = 0$  en  $\psi = \pm \frac{\pi}{2}$  aangenomen. Is  $U$  of  $V$  gelijk aan nul, dan is  $\psi = \beta$  of  $\psi = \alpha$ . In het bijzondere geval dat  $U = V$  en  $\alpha - \beta \neq \frac{\pi}{2}$  is, wordt  $\psi = 0$  of  $\psi = \pi$  gesteld, al naar gelang  $\cos(\alpha - \beta)$  positief of negatief is.

In al de voornoemde gevallen is dan  $k_1$  volgens (9) positief. Voor willekeurige  $U$  en  $V$ , maar  $\alpha = \beta$  of  $\alpha = \beta + \pi$ , is  $k_1 = 1$ . Dit is ook het geval als  $U$  of  $V = 0$  is. Als  $U = V$  en tevens  $\alpha - \beta = \pm \frac{\pi}{2}$  is, is  $k_1 = 0$ .

Uitgaande van de voorgaande formules, worden nu voor de weerstandstermen in (1) en (2),  $g \frac{s u}{C^2 a}$  en  $g \frac{s v}{C^2 a}$ , in het geval van een sinusoidaal getij, waarbij  $u$  en  $v$  door (4) en (5) worden voorgesteld, de termen met de frequentie van het  $M_2$ -getij bepaald met behulp van de Fourier-ontwikkeling.

In het geval, dat de snelheidsvector een cirkel doorloopt, behoeft deze ontwikkeling niet bepaald te worden, daar dan  $k_1 = 0$  en dus  $p = 0$  is. In dat geval is dan, vanwege  $U = V$ ,  $S = U$ .

Nu wordt, als  $\alpha + \beta + \psi$  door  $2\xi$  wordt aangeduid, gesteld:

$$(1 + p)^{\frac{1}{2}} = [1 + k_1 \cos(2\omega t + 2\xi)]^{\frac{1}{2}} = a_0 + a_1 \cos(\omega t + \xi) + a_2 \cos(2\omega t + 2\xi) \quad (12)$$

Dan is

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} [1 + k_1 \cos(2\omega t + 2\xi)]^{\frac{1}{2}} d\omega t = \\ &= \frac{2}{\pi} (1 + k_1)^{\frac{1}{2}} E\left(\frac{2k_1}{1+k_1}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{2^{\frac{3}{2}}}{\pi} (2 - k^2)^{-\frac{1}{2}} E(k) \end{aligned} \quad (13)$$

als gesteld wordt:

$$k = \left(\frac{2k_1}{1+k_1}\right)^{\frac{1}{2}}$$

terwijl  $0 < k^2 \leq 1$  is, vanwege  $0 < k_1 \leq 1$ .

Hierin is  $E(k)$  gelijk aan de volledige elliptische integraal van de tweede soort:

$$E(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - k^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}} dz$$

waarin

$$z = \omega t + \xi$$

Verder is:

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} [1 + k_1 \cos(2\omega t + 2\xi)]^{\frac{1}{2}} \cos(\omega t + \xi) d\omega t = 0$$

Ten slotte is:

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} [1 + k_1 \cos(2\omega t + 2\xi)]^{\frac{1}{2}} \cos(2\omega t + 2\xi) d\omega t = \frac{2^{\frac{5}{2}}}{3\pi} (2 - k^2)^{-\frac{1}{2}} \\ &\cdot \left\{ E(k) + \frac{2}{k^2} (1 - k^2) (E(k) - F(k)) \right\} = \frac{4}{3\pi} (1 + k_1)^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{1}{k_1} (E(k) - F(k)) + F(k) \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

terwijl  $F(k)$  de volledige elliptische integraal van de eerste soort is:

$$F(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{dz}{(1 - k^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}}}$$

Bij de berekening van  $a_2$ , waarvoor geschreven kan worden:

$$a_2 = \frac{2^{\frac{5}{2}}}{\pi} (2 - k^2)^{-\frac{1}{2}} \left[ \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - k^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}} dz - 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 z (1 - k^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}} dz \right]$$

is de tweede integraal gelijk aan:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sin^2 z}{(1 - k^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}}} dz - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{k^2 \sin^4 z}{(1 - k^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}}} dz$$

Verder is de tweede integraal hiervan, vóór de substitutie van de integratiegrenzen, vervangen door:

$$\frac{1}{3} \cos z \sin z (1 - k^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{3} \int \frac{2(1 + k^2) \sin^2 z - 1}{(1 - k^2 \sin^2 z)^{\frac{1}{2}}} dz$$

Na enige verdere berekening wordt dan de aangegeven uitdrukking (14) voor  $a_2$  gevonden.

Opgemerkt wordt, dat de formules (13) en (14) ook gelden voor  $k = 0$  en  $k = 1$ . Als  $k = 0$  is, is  $E(k) = F(k) = \frac{\pi}{2}$ . Dan is  $a_0 = 1$  en  $a_2 = 0$  vanwege

$$\lim_{k \rightarrow 0} \frac{2}{k^2} [E(k) - F(k)] = -\frac{\pi}{2}$$

Indien  $k = 1$  is, is  $E(k) = 1$  en dus  $a_0 = \frac{3}{\pi}$ , terwijl  $a_2 = \frac{2^{\frac{5}{2}}}{3\pi}$  is, vanwege  $\lim_{k \rightarrow 1} (1 - k^2) F(k) = 0$ .

Uit de formules, die in het vervolg voor  $E(k)$  en  $F(k)$  worden vermeld, zijn de aangegeven waarden voor de bovengenoemde limieten direct af te leiden.

Volgens (4), (5), (6) en (12) worden voor  $su$  en  $sv$  de volgende termen met de frequentie van het  $M_2$ -getij gevonden:

$$su = US [a_0 \cos(\omega t + \alpha) + \frac{1}{2} a_2 \cos(\omega t + \beta + \psi)] \quad (15)$$

$$sv = VS [a_0 \cos(\omega t + \beta) + \frac{1}{2} a_2 \cos(\omega t + \alpha + \psi)] \quad (16)$$

waarin:

$$S = \left( \frac{U^2 + V^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

De formules voor  $a_0$  en  $a_2$  zijn in (13) en (14) aangegeven. Voor de vormen tussen haken in (15) en (16) kan in verband met (9) en (10) nog geschreven worden respectievelijk:

$$\left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) \cos(\omega t + \alpha) + \frac{a_2}{2k_1} (1 - \cos 2\varphi) \sin(\alpha - \beta) \sin(\omega t + \beta)$$

en

$$\left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) \cos(\omega t + \beta) + \frac{a_2}{2k_1} (1 + \cos 2\varphi) \sin(\beta - \alpha) \sin(\omega t + \alpha)$$

Uit (7) en (10) volgt nog:

$$(1 - \cos 2\varphi) \sin(\alpha - \beta) = \pm (1 - k_1^2)^{\frac{1}{2}} \frac{V}{U}$$

en

$$(1 + \cos 2\varphi) \sin(\beta - \alpha) = \mp (1 - k_1^2)^{\frac{1}{2}} \frac{U}{V}$$

Het bovenste teken geldt als  $0 < \alpha - \beta < \pi$ , het onderste teken als  $\pi < \alpha - \beta < 2\pi$  is. In het eerste geval beweegt de snelheidsvector bij toenemende  $t$  tegengesteld aan de wijzers van een uurwerk, in het tweede geval andersom. Volgens het voorgaande kan dus voor (15) en (16) ook geschreven worden:

$$su = S \left[ \left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) U \cos(\omega t + \alpha) + \frac{a_2}{2k_1} P_1 V \sin(\omega t + \beta) \right] \quad (15a)$$

en

$$sv = S \left[ \left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) V \cos(\omega t + \beta) - \frac{a_2}{2k_1} P_1 U \sin(\omega t + \alpha) \right] \quad (16a)$$

waarin

$$P_1 = \pm (1 - k_1^2)^{\frac{1}{2}}$$

waarbij de tekens volgens het voorgaande bepaald zijn. Opgemerkt wordt nog, dat  $\lim_{k_1 \rightarrow 0} \frac{a_2}{2k_1} = \frac{1}{4}$ . (zie (34) in het vervolg).

2.2.2.2 *Bijzondere gevallen.* De volgende bijzondere gevallen kunnen uit (15a) en (16a) worden afgeleid:

a.  $V = 0$

Dan wordt, vanwege  $k_1 = 1$  (zie (10)) en de in het voorgaande hiervoor aangegeven waarden van  $a_0$  en  $a_2$ :

$$su = 2^{-\frac{1}{2}} U^2 (a_0 + \frac{1}{2} a_2) \cos(\omega t + \alpha) = \frac{8}{3\pi} U^2 \cos(\omega t + \alpha) \quad (17)$$

en

$$sv = 0 \quad (18)$$

b.  $U = 0$

Dan gelden analoge formules als (17) en (18).

c<sub>1</sub>.  $U \neq V$  of  $U = V$ ,  $\alpha = \beta$

Nu is:

$$su = US [(a_0 + \frac{1}{2} a_2) \cos(\omega t + \alpha)] \quad (19)$$

en

$$sv = VS [(a_0 + \frac{1}{2} a_2) \cos(\omega t + \alpha)] \quad (20)$$

daar weer  $k_1 = 1$  is. Verder is  $a_0 + \frac{1}{2} a_2 = 2^{\frac{1}{2}} \frac{8}{3\pi}$

c<sub>2</sub>.  $U \neq V$  of  $U = V$ , maar  $\alpha = \beta + \pi$

Dan zijn de formules voor  $su$  en  $sv$  analoog aan (19) en (20). Voor het rechterlid van (20) moet dan echter een minteken geplaatst worden.

d.  $U = V$  en  $\alpha - \beta \neq \pm \frac{\pi}{2}$

Dan is, volgens (7),  $2\varphi = \frac{\pi}{2}$  en dus  $\psi = 0$  (zie (9)). Uit (15) en (16) volgt dan:

$$su = U^2 [a_0 \cos(\omega t + \alpha) + \frac{1}{2} a_2 \cos(\omega t + \beta)] \quad (21)$$

en

$$sv = U^2 [a_0 \cos(\omega t + \beta) + \frac{1}{2} a_2 \cos(\omega t + \alpha)] \quad (22)$$

De waarde van  $k_1$  is tussen 0 en 1 gelegen, zodat  $a_0$  en  $a_2$  volgens (13) en (14) bepaald moeten worden.

e.  $U = V$  en  $\alpha - \beta = \pm \frac{\pi}{2}$

In dit geval is  $k_1 = 0$ . Zoals reeds is aangegeven, is dan  $a_0 = 1$  en  $a_2 = 0$ .

Volgens (15) en (16) is dus

$$su = U^2 \cos(\omega t + \alpha) \quad (23)$$

en

$$sv = \pm U^2 \sin(\omega t + \alpha) \quad (24)$$

al naarmate voor  $\frac{\pi}{2}$  het plus- of het minteken staat.



De getijgolven, waarbij de snelheid in de punten van het tweedimensionale gebied gedurende het getij een gelijke of tegengestelde richting heeft, worden Kelvingolven genoemd. Dit komt voor bij de gevallen a, b en c. De getallencoëfficiënt in de formule voor de weerstand bij het sinusoidale  $M_2$ -getij is dan  $\frac{8}{3\pi}$ . Dit is dezelfde coëfficiënt, die door LORENTZ werd afgeleid voor het geval van het  $M_2$ -getij op rivieren, waarbij het water zich rechtlijnig beweegt <sup>1)</sup>.

Uiteraard zijn de formules (19) en (20) voor het geval c door eenvoudige transformatie te brengen in de vorm (17) en (18).

Langs een gesloten rechte kust, waarbij dus de snelheid gedurende het getij evenwijdig daaraan verloopt, kan de getijgolf tot op een bepaalde afstand van de kust als een Kelvingolf worden beschouwd. Meer buitenwaarts zal echter de snelheidscomponent loodrecht op de kust van betekenis kunnen worden, maar deze zal aanvankelijk nog klein zijn in vergelijking met de snelheidscomponent evenwijdig aan de kust.

2.2.2.3 *Benaderingsformules voor  $a_0$  en  $a_2$  als  $k \leq 1$  ( $k_1 \leq 1$ ) is.* Daar in het geval van Kelvingolven de waarden van  $k$  en  $k_1$  gelijk aan 1 zijn, zullen bij kleine waarden van  $V$  ten opzichte van die van  $U$ , de waarden van  $k$  en  $k_1$  in de nabijheid van 1 zijn gelegen. Dan kunnen  $E(k)$  en  $F(k)$  benaderd worden door:

$$E(k) = \left( \frac{1 + \sqrt{k}}{2} \right)^2 + \frac{1}{4} (3+k) m \quad (25)$$

en

$$F(k) = \frac{m}{1-k} \quad (26)$$

Hierin is:

$$m = 2 \frac{1 - \sqrt{k}}{1 + \sqrt{k}} \log 2 \left[ \frac{1 + \sqrt{k}}{1 - \sqrt{k}} \right]$$

Deze formules zijn de eenvoudigste benaderingen voor  $E(k)$  en  $F(k)$ , die door VAN VEEN zijn afgeleid (zie [7], blz. 385, 507 en 534). Ze zijn voor de beschouwde praktische doeleinden voldoende nauwkeurig. Zelfs voor  $k = \frac{1}{2}\sqrt{2} \approx 0,7$ , waarbij dan  $k_1 = \frac{1}{3}$  is, is de fout nog kleiner dan  $2 \cdot 10^{-5}$ , zodat de formules praktisch ook kunnen worden toegepast voor  $k$ -waarden, kleiner dan 0,7.

Na substitutie van (25) en (26) in (13) en (14) wordt na enige berekening gevonden:

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{2}{2-k^2} \right)^{\frac{1}{2}} [(1 + \sqrt{k})^2 + (3+k) m] \quad (27)$$

en

$$a_2 = \frac{1}{3\pi} \frac{1}{k^2} \left( \frac{2}{2-k^2} \right)^{\frac{1}{2}} [(1 + \sqrt{k})^2 (2 - k^2) - (2 + 6k + 3k^2 + k^3) m] \quad (28)$$

Voor  $k = 1$  zijn de waarden van  $a_0$  en  $a_2$  identiek aan die volgens (13) en (14), respectievelijk  $\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$  en  $\frac{4\sqrt{2}}{3\pi}$ .

Voor numerieke berekening van  $a_0$  en  $a_2$  worden nog de volgende benaderingsformules vermeld. Hierin is dan  $\delta = 1 - k_1$ , terwijl uit (13a) volgt:

$$k = 1 - \frac{1}{4}\delta - \frac{5}{32}\delta^2 - \frac{13}{128}\delta^3$$

Na een langdurige berekening, waarbij op de bekende wijze reeksontwikkelingen voor de verschillende termen in (27) en (28) ingevoerd worden, wordt voor  $a_0$  en  $a_2$ , gaande tot en met de termen in  $\delta^2$  ten slotte gevonden:

$$a_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \left[ 1 + \left( \frac{5 \log 2 - 3}{8} \right) \delta + \left( \frac{70 \log 2 - 45}{256} \right) \delta^2 - \frac{\delta}{8} \left( 1 + \frac{7}{16} \delta \right) \log \delta \right] \quad (27a)$$

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage III.7.

en

$$a_2 = \frac{4\sqrt{2}}{3\pi} \left[ 1 - \frac{15 \log 2 - 5}{8} \delta - \frac{330 \log 2 - 211}{256} \delta^2 + \frac{3}{8} \delta \left( 1 + \frac{11}{16} \delta \right) \log \delta \right] \quad (28a)$$

In het volgende overzicht zijn enkele waarden van  $a_0$  en  $a_2$  vermeld, zowel de meer precieze waarden volgens (13) en (14) als die volgens (27a) en (28a). Dan blijkt, dat voor het interval  $0,8 \leq k_1 \leq 1$  de benaderingsformules toegepast kunnen worden. Voor kleinere  $k_1$  worden de afwijkingen groter. De benaderingsformules, die in de volgende sub-paragraaf voor  $a_0$  en  $a_2$  worden afgeleid (zie (33) en (34)), kunnen voor  $0 \leq k_1 < 0,8$  worden toegepast. Ze geven dan nauwkeuriger uitkomsten dan (27a) en (28a).

$k_1$	$a_0$ volgens (13)	$a_0$ volgens (27a)	$a_2$ volgens (14)	$a_2$ volgens (28a)
0,6	0,975	0,972	0,312	0,326
0,7	0,965	0,963	0,370	0,377
0,8	0,951	0,951	0,433	0,435
0,9	0,933	0,933	0,504	0,504
1	0,900	0,900	0,600	0,600

2.2.2.4 *Benaderingsformules voor  $a_0$  en  $a_2$  voor  $k > 0$  ( $k_1 > 0$ ).* Als  $U$  en  $V$  weinig van elkaar verschillen en  $\alpha - \beta$  in de nabijheid van  $\frac{\pi}{2}$  of  $-\frac{\pi}{2}$  is gelegen, hebben  $k$  en  $k_1$  kleine waarden.

Door VAN VEEN (zie [7], blz. 457 en 531) zijn ook voor waarden van  $k > 0$  benaderingsformules aangegeven voor  $E(k)$  en  $F(k)$ . Voor de praktische toepassingen zijn de aangegeven eenvoudigste benaderingsformules voldoende. Deze zijn:

$$E(k) = \frac{\pi (1 + \sqrt{\cos \varepsilon})^4 - 8 \cos \varepsilon}{4 (1 + \sqrt{\cos \varepsilon})^2} \quad (29)$$

en

$$F(k) = \frac{2\pi}{(1 + \sqrt{\cos \varepsilon})^2} \quad (30)$$

als  $k = \sin \varepsilon$  is gesteld.

$E(0)$  en  $F(0)$  hebben de precieze waarde  $\frac{\pi}{2}$ ; zelfs als  $\varepsilon = 45^\circ$  is, is de fout in de benaderde waarden van  $E$  en  $F$  nog kleiner dan  $3 \cdot 10^{-5}$ . Deze formules kunnen dus hier zelfs worden toegepast als  $\varepsilon > 45^\circ$  is.

Voor de berekening van  $a_0$  en  $a_2$  moeten (29) en (30) in (13) en (14) worden gesubstitueerd.

Nu worden nog de eerste termen van reeksonthwikkelingen voor  $a_0$  en  $a_2$  gegeven met behulp van de bekende reeksonthwikkelingen voor  $E(k)$  en  $F(k)$ . Om de eerste vier termen van hun ontwikkeling te kunnen bepalen, moeten van die van  $E(k)$  en  $F(k)$  de volgende termen worden beschouwd.

$$E(k) = \frac{\pi}{2} \left( 1 - \frac{1}{2^2} k^2 - \frac{3}{2^6} k^4 - \frac{5}{2^8} k^6 - \frac{175}{2^{14}} k^8 - \frac{441}{2^{16}} k^{10} - \frac{4851}{2^{20}} k^{12} \right)$$

$$F(k) = \frac{\pi}{2} \left( 1 + \frac{1}{2^2} k^2 + 3 \cdot \frac{3}{2^6} k^4 + 5 \cdot \frac{5}{2^8} k^6 + 7 \cdot \frac{175}{2^{14}} k^8 + 9 \cdot \frac{441}{2^{16}} k^{10} + 11 \cdot \frac{4851}{2^{20}} k^{12} \right)$$

Verder is:

$$\left( 1 - \frac{1}{2} k^2 \right)^{-\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2^2} k^2 + \frac{3}{2^5} k^4 + \frac{5}{2^7} k^6 + \frac{35}{2^{11}} k^8$$

Ook uit (29) en (30) kunnen reeksonthwikkelingen voor  $E$  en  $F$  worden afgeleid. De eerste vier termen hiervan blijken met de hierboven genoemde termen overeen te stemmen. In de vijfde term zijn de getalfactoren volgens de reeksonthwikkeling afgeleid uit de formule van VAN VEEN, 176 respectievelijk 1224 in plaats van de hiervoren opgegeven precieze waarden 175 in  $E(k)$  en 1225 in  $F(k)$ .

Na enige berekeningen wordt voor de eerste vier termen van de ontwikkeling van  $a_0$  en  $a_2$  gevonden:

$$a_0 = 1 - \frac{1}{64}k^4 - \frac{1}{64}k^6 - \frac{207}{16384}k^8 \quad (31)$$

en

$$a_2 = \frac{1}{4}k^2 \left( 1 + \frac{1}{2}k^2 + \frac{35}{128}k^4 + \frac{41}{256}k^6 + \frac{1635}{16384}k^8 \right) \quad (32)$$

Uitgedrukt in  $k_1$  (zie 13a) zijn de eerste termen van de ontwikkelingen:

$$a_0 = 1 - \frac{1}{16}k_1^2 - \frac{15}{1024}k_1^4 \quad (33)$$

en

$$a_2 = \frac{1}{2}k_1 \left( 1 + \frac{3}{32}k_1^2 + \frac{35}{1024}k_1^4 \right) \quad (34)$$

De formules (33) en (34) kunnen praktisch worden toegepast voor een interval  $0 \leq k_1 < 0,8$  zoals blijkt uit het volgende overzicht:

$k_1$	$\varepsilon$	$a_0$ volgens (13)	$a_0$ volgens (33)	$a_2$ volgens (14)	$a_2$ volgens (34)
0	0	1	1	0	0
0,1	25°	0,999	0,999	0,050	0,050
0,2	35°	0,997	0,997	0,100	0,100
0,3	43°	0,994	0,994	0,151	0,151
0,4	49°	0,990	0,990	0,203	0,203
0,5	55°	0,983	0,983	0,256	0,256
0,6	60°	0,975	0,976	0,312	0,312
0,7	65°	0,965	0,966	0,370	0,369
0,8	70°	0,951	0,954	0,433	0,430
0,9	77°	0,933	0,940	0,504	0,494
1	90°	0,900	0,923	0,600	0,564

#### 2.2.2.5 Bepaling van de waarden van $a_0$ en $a_2$ en van $a_0 + \frac{a_2}{2k_1}$ en $\frac{a_2}{2k_1} P_1$ , die in (15a) en (16a) voorkomen.

Voor de bepaling van  $a_0$  en  $a_2$  moeten de waarden van  $k$  of van  $k_1$  bekend zijn en moeten dus volgens (10) de waarden van  $U$ ,  $V$  en van  $\alpha - \beta$  gegeven zijn. Indien dit het geval is, kunnen de grootheden  $a_0 + \frac{a_2}{2k_1}$  en  $\frac{a_2}{2k_1} P_1$  met behulp van de formules, die in 2.2.2.3 en 2.2.2.4 zijn aangegeven, voldoende nauwkeurig worden berekend. In de praktijk zijn echter  $U$ ,  $V$  en  $\alpha - \beta$  meestal niet bekend, maar volgen ze pas na afloop van de berekeningen. Reeds bij grove schattingen van deze grootheden en dus van  $k_1$  blijkt uit het volgende overzicht, dat het vaak mogelijk is om  $a_0$  en  $a_2$  voorlopig toch voldoende nauwkeurig te bepalen. Achtereenvolgens worden dan als voorbeeld beschouwd de intervallen  $0 < k_1 < 0,6$  en  $0,6 \leq k_1 < 1$ , terwijl voor  $k_1 = 0$  en  $k_1 = 1$  de exacte waarden worden opgegeven.

1. Als  $k_1 = 0$  en dus ook  $k = 0$  is, moeten in (15) en (16),  $a_0 = 1$  en  $a_2 = 0$  gesteld worden. Als echter (15a) en (15b) worden beschouwd, moet voor  $\frac{a_2}{2k_1}$ , de waarde  $\frac{1}{4}$  worden gesubstitueerd, terwijl  $P_1 = 1$ ,  $U = V$  en  $\alpha - \beta = \frac{\pi}{2}$  is, of  $P_1 = -1$  en  $\alpha - \beta = -\frac{\pi}{2}$ .

2. Indien  $0 < k_1 < 0,6$  is, worden  $a_0$  en  $a_2$  volgens (33) en (34) berekend.

Bij toenemende  $k_1$  tot 0,6 daalt volgens de tabel in 2.2.2.4 de waarde van  $a_0$  van 1 tot 0,975. Als dan  $a_0 = 1$  gesteld wordt, is de fout hoogstens 2,5%.

De waarde van  $a_2$  neemt dan toe van 0 tot 0,312. De grootheid  $\frac{a_2}{2k_1}$  verschilt echter steeds weinig van 0,250. Bij toenemende  $k_1$  neemt ze toe tot 0,260 als  $k_1 = 0,6$  is. De waarde van  $\frac{a_2}{2k_1} P_1 = \frac{a_2}{2k_1} (1 - k_1^2)^{\frac{1}{2}}$  daalt echter continu van 0,250 tot 0,208.

In de praktijk kunnen dus voor het beschouwde interval van  $k_1$  voor de coëfficiënten  $a_0 + \frac{a_2}{2k_1}$  en  $\frac{a_2}{2k_1} P_1$  respectievelijk de waarden 1,250 en 0,230 gesubstitueerd worden. De fout bedraagt dan hoogstens respectievelijk 1,5% en 10%.

Als echter het geval  $k_1 \rightarrow 0$  beschouwd moet worden, is het gewenst om in plaats van 0,230 toch 0,250 te substitueren. Dan gaan de formules (15a) en (16a) continu over in (23) en (24) voor  $k_1 \rightarrow 0$  en  $(\alpha - \beta) \rightarrow \frac{\pi}{2}$  of  $-\frac{\pi}{2}$  (zie geval 1).

3. Als  $0,6 < k_1 < 1$  is, kunnen  $a_0$  en  $a_2$  volgens (27), (28) of volgens (33) en (34) als  $0,6 < k_1 < 0,8$  is en volgens (27a) en (28a) als  $0,8 < k_1 < 1$  is, berekend worden. De waarde van  $a_0$  neemt dan bij toenemende  $k_1$  af van 0,975 tot 0,900, terwijl die van  $a_2$  toeneemt van 0,312 tot 0,600.

De grootheid  $\frac{a_2}{2k_1}$  varieert weer minder, nl. van 0,260 tot 0,300.

Als bij de praktische toepassingen voor  $a_0$  de waarde 0,94 wordt gesubstitueerd, wordt een fout gemaakt van hoogstens 5%. Wordt verder voor  $\frac{a_2}{2k_1}$  de waarde 0,28 aangenomen, dan kan de fout in deze grootheid hoogstens 8% bedragen.

Van  $a_0 + \frac{a_2}{2k_1}$  is de fout hoogstens 2%, indien 1,22 wordt gesubstitueerd, daar bij toenemende  $k_1$  de waarde van  $a_0$  daalt en die van  $\frac{a_2}{2k_1}$  toeneemt.

Een even nauwkeurige schatting is echter niet voor  $\frac{a_2}{2k_1} P_1$  aan te geven, omdat zijn waarde kan variëren van 0,208 tot 0 als  $k_1$  varieert van 0,6 tot 1. Verschillende waarden van deze term zijn:

$k_1$	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,975	1
$\frac{a_2}{2k_1} P_1$	0,208	0,189	0,162	0,122	0,090	0,065	0

4. Als  $k_1 = 1$  ( $k = 1$ ) is, is  $a_0 = \frac{3}{2^2\pi}$ ,  $a_2 = \frac{5}{3\pi}$  en dus  $a_0 + \frac{a_2}{2k_1} = 2^2 \frac{8}{3\pi} = 1,200$ .

Opgemerkt wordt, dat bij de vaststelling van de waarde van de weerstandscoefficiënt vaak grotere variaties mogelijk zijn dan bij de schattingen van de waarden voor  $a_0 + \frac{a_2}{2k_1}$  en  $\frac{a_2}{2k_1} P_1$ , zelfs indien de voorlopige schatting voor  $k_1$  zeer globaal is. Alleen de laatste term is moeilijker te schatten als  $0,6 < k_1 < 1$  is.

De aangenomen grens tussen de intervallen,  $k_1 = 0,6$ , berust op praktische overwegingen. Deze grens kan naar behoefte worden gewijzigd in verband met het feit, dat de benaderingsformules (33) en (34) voor een interval  $0 < k_1 < 0,8$  toegepast kunnen worden.

### 2.2.3 De getijvergelijkingen in een tweedimensionaal gebied voor een sinusoidaal getij

In (1a) en (1b) zijn reeds de bewegingsvergelijkingen aangegeven, die te zamen met de continuïteitsvergelijking (3) de voortplanting van het  $M_2$ -getij bepalen.

De waarden van de coëfficiënten  $\lambda$  en  $m$  volgen uit het onderzoek van de voorgaande subparagraaf 2.2.2.

Volgens (1), (2), (15a) en (16a) is dan, als weer  $S = \left(\frac{U^2 + V^2}{2}\right)^{\frac{1}{2}}$  gesteld wordt:

$$\lambda = \frac{gS}{C^2 a} \left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) \quad (35)$$

en

$$m = \mp \frac{gS}{C^2 a \omega} \frac{a_2}{2k_1} (1 - k_1^2)^{\frac{1}{2}} \quad (36)$$

De grootte  $k_1$  is in (10) gedefinieerd en  $a_0$  en  $a_2$  in (13) en (14).

Het bovenste teken geldt, als de snelheidsvector op een plaats in het verloop van de tijd tegengesteld aan de wijzers van een uurwerk beweegt; anders geldt het tegengestelde teken.

De numerieke waarden, die de coëfficiënten van  $\frac{gS}{C^2 a}$  bij verschillende waarden van  $k_1$  kunnen hebben, zijn in 2.2.2.5 behandeld.

In deze subparagraaf worden nog nader aangegeven de vergelijkingen voor de complexe amplituden van de componenten van de snelheid bij het  $M_2$ -getij, die in (4) en (5) zijn gedefinieerd en voor de complexe amplitude van het verticale getij  $h(x, y, t)$ , bepaald volgens

$$h = H \cos(\omega t + \gamma) = \frac{1}{2} H [e^{i(\omega t + \gamma)} + e^{-i(\omega t + \gamma)}] = h_1 e^{i\omega t} + h_{-1} e^{-i\omega t} \quad (37)$$

waarin  $H$  en  $\gamma$  functies zijn van  $x$  en  $y$ .

Na substitutie van (4), (5) en (37) in (1a) en (1b), waarbij voor  $\lambda$  en  $m$  (35) en (36) moeten worden gesubstitueerd, worden de volgende vergelijkingen voor  $h_1$ ,  $u_1$  en  $v_1$  gevonden:

$$\left[ i\omega + \frac{gS}{C^2 a} \left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) \right] u_1 - \left[ \Omega + \frac{1}{2} i \frac{gP_1 S}{C^2 a k_1} a_2 \right] v_1 = -g \frac{\partial h_1}{\partial x} \quad (38)$$

en

$$\left[ i\omega + \frac{gS}{C^2 a} \left( a_0 + \frac{a_2}{2k_1} \right) \right] v_1 + \left[ \Omega + \frac{1}{2} i \frac{gP_1 S}{C^2 a k_1} a_2 \right] u_1 = -g \frac{\partial h_1}{\partial y} \quad (39)$$

waarin:

$$P_1 = \pm (1 - k_1^2)^{\frac{1}{2}}$$

De waarden van  $S$  moeten bij de berekeningen aanvankelijk worden geschat, zoals ook geschiedt bij de berekening van het  $M_2$ -getij op rivieren met de waarde van de maximumsnelheid. In de loop van de berekeningen worden deze geschatte waarden, eventueel ook die van  $\frac{a_2}{2k_1} P_1$ , verbeterd (zie 2.2.2.5).

Uit de continuïteitsvergelijking voor het geval van constante diepte (3a) volgt:

$$i\omega h_1 + a \frac{\partial u_1}{\partial x} + a \frac{\partial v_1}{\partial y} = 0 \quad (40)$$

De functies  $u_{-1}$ ,  $v_{-1}$  en  $h_{-1}$  moeten dan voldoen aan de toegevoegd complexe vergelijkingen van (38), (39) en (40).

Voor de bijzondere gevallen a tot en met e, die vermeld zijn in 2.2.2.2, kunnen de vergelijkingen (38), (39) en (40) worden vereenvoudigd. In de gevallen a, b en c, die betrekking hebben op Kelvin-golven, worden deze vergelijkingen als volgt:

a. Als  $V = 0$  is, is in verband met (17) en (18):

$$\left( i\omega + \frac{8gU}{3\pi C^2 a} \right) u_1 = -g \frac{\partial h_1}{\partial x} \quad (41)$$

en

$$\Omega u_1 = -g \frac{\partial h_1}{\partial y} \quad (42)$$

Bij de berekeningen moeten dan de waarden van  $U$  voorlopig worden geschat (zie nader 2.2.5).

De continuïteitsvergelijking is:

$$i\omega h_1 + a \frac{\partial u_1}{\partial x} = 0 \quad (43)$$

c. Als  $U \neq V$  of  $U = V$  maar  $\alpha = \beta$  is, worden de vergelijkingen (38) en (39):

$$\left[ i\omega + 2^{\frac{1}{2}} \frac{8}{3} \frac{gS}{\pi C^2 a} \right] u_1 - \Omega v_1 = -g \frac{\partial h_1}{\partial x} \quad (44)$$

en

$$\left[ i\omega + 2^{\frac{1}{2}} \frac{8}{3} \frac{gS}{\pi C^2 a} \right] v_1 + \Omega u_1 = -g \frac{\partial h_1}{\partial y} \quad (45)$$

waarbij weer de waarden van  $S$  voorlopig moeten worden geschat.

d. Indien  $U = V$  en  $\alpha - \beta \neq \pm \frac{\pi}{2}$  is, wordt  $S = U$ .

In dit geval doorloopt de snelheidsvector een ellips. De zijden van het vierkant met lengte  $2U$ , die evenwijdig zijn met de coördinaatassen en waarvan het middelpunt samenvalt met dat van de ellips, zijn dan raaklijnen aan deze ellips.

Daar  $k_1$  alle waarden tussen 0 en 1 kan aannemen, zijn de vergelijkingen overigens analoog aan (38) en (39), terwijl voor de waarden van  $a_0 + \frac{a_2}{2k_1}$  en  $\frac{a_2}{2k_1} P_1$  weer naar 2.2.2.5 wordt verwezen.

e. In het geval ten slotte, dat de snelheidsvector een cirkel doorloopt, moeten in (38) en (39) de waarden  $a_0 = 1$ ,  $a_2 = 0$  en  $S = U$  gesubstitueerd worden.

De bewegingsvergelijkingen zijn dan:

$$\left[ i\omega + \frac{gU}{C^2 a} \right] u_1 - \Omega v_1 = -g \frac{\partial h_1}{\partial x} \quad (46)$$

en

$$\left[ i\omega + \frac{gU}{C^2 a} \right] v_1 + \Omega u_1 = -g \frac{\partial h_1}{\partial y} \quad (47)$$

#### 2.2.4 De vergelijkingen voor de berekening van het $M_2$ -getij volgens Holsters

Zoals reeds in 1.1 en 2.2.1 is opgemerkt, werd door HOLSTERS [2], het bekende principe van LORENTZ toegepast voor de bepaling van de weerstandstermen in het geval van het  $M_2$ -getij.

De termen  $g \frac{su}{C^2 a}$  en  $g \frac{sv}{C^2 a}$  in (1) en (2) werden door hem vervangen door  $\lambda_1 u$  en  $\lambda_1 v$ .

Hierin stelde hij

$$\lambda_1 = \frac{gS}{C^2 a} \psi(k_1)$$

waarin

$$S = \left( \frac{U^2 + V^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

terwijl

$$\psi(k_1) = 1 + \frac{3}{16} k_1^2 + \frac{9}{1024} k_1^4 + \frac{35}{16384} k_1^6 + \dots$$

waarbij weer  $k_1$  volgens (10) is gedefinieerd.

Bij HOLSTERS komen in de bewegingsvergelijkingen voor het  $M_2$ -getij, die in (1a) en (1b) zijn aangegeven, de termen met  $m \frac{\partial v}{\partial t}$  en  $m \frac{\partial u}{\partial t}$  niet voor.

Bij de analyse, die in 2.2.2 is behandeld, zijn  $\lambda$  en  $m$  volgens (35) en (36) gedefinieerd.

Indien  $k_1 = 1$ , is  $\psi(k_1) = 2^{\frac{1}{2}} \frac{8}{3\pi}$ . Dit is ook te verwachten, daar in het geval van Kelvingolven het principe van LORENTZ dezelfde uitkomst geeft als de wiskundige analyse.

Voor  $k_1 = 0$  is  $\psi(k_1) = 1$ . Ook dan zijn de vergelijkingen van HOLSTERS analoog aan die, welke in het voorgaande voor het geval van de cirkelbeweging zijn afgeleid (zie (46) en (47)).

Indien echter  $k_1 \neq 0$  is, leiden de beide methoden tot verschillende vergelijkingen, daar volgens de wiskundige analyse nu  $m \neq 0$  is. Zo is voor  $k_1 = 0,5$ ;  $\psi(k_1) \approx 1,05$ . Dan is echter  $a_0 + \frac{a_2}{2k_1} = 1,24$  en heeft de analoge coëfficiënt in  $m$  de waarde 0,22. Dan worden de verschillen belangrijker.

### 2.2.5 De elementaire oplossing voor Kelvingolven

Bij de volgende oplossing van de getijvergelijkingen wordt verondersteld, dat de snelheid in de lengterichting van de geul verloopt en de  $x$ -coördinaat in die richting wordt gelegd.

De continuïteitsvergelijking is dan (zie (3)):

$$-a \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial t} \quad (48)$$

en de bewegingsvergelijkingen (1) en (2) gaan over in:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{|u|u}{C^2 a} = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (49)$$

en

$$\Omega u = -g \frac{\partial h}{\partial y} \quad (50)$$

Het doel is elementaire oplossingen te bepalen, die met de tijd sinusoidaal verlopen als het  $M_2$ -getij. Hiervoor moet de kwadratische term worden vervangen door  $\lambda u$ , waarbij  $\lambda$  de aangepaste weerstandscoefficiënt is, welke dan afhankelijk is van de maximumsnelheid, die door het  $M_2$ -getij wordt veroorzaakt. Daar nu de snelheid een eendimensionale richting heeft als op de rivieren, moet volgens 2.2.2 gesteld worden:

$$\lambda = \frac{8}{3\pi} \frac{gU}{C^2 a}$$

Hierin is  $U$  de amplitude van de snelheid van het  $M_2$ -getij, terwijl  $C$  de weerstandscoefficiënt is. Daar  $U$  zowel in de lengte als in de breedte van een strook verandert, worden bij de praktische toepassingen vakken met beperkte afmetingen beschouwd, waarin  $U$  in beperkte mate varieert.

De vergelijking (49) wordt dus vervangen door:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \lambda u = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (51)$$

De hoogte van de waterspiegel  $h$  wordt bepaald ten opzichte van de gemiddelde waterstand, waarvan het verloop horizontaal wordt aangenomen.

Dan worden in het geval van het  $M_2$ -getij oplossingen bepaald van de vorm:

$$h = H \exp [a_1 x + a_2 y + i(b_1 x + b_2 y) + i\omega t] \quad (52)$$

en

$$u = u_0 \exp [a_1 x + a_2 y + i(b_1 x + b_2 y) + i\omega t] \quad (53)$$

In (41) en (42) zijn de vergelijkingen voor de analoge complexe functies  $u_1$  en  $h_1$  (zie (4) en (37)) in het geval van Kelvingolven voor het  $M_2$ -getij reeds aangegeven.

Nu zijn in (52) en (53),  $a_1, \dots, b_2$  constanten, die nader bepaald moeten worden, terwijl  $\omega$  de frequentie van het  $M_2$ -getij is. Na substitutie in (48), (50) en (51) wordt na enige berekening gevonden, dat aan deze vergelijkingen voldaan wordt, indien:

$$a_1 = \left[ \frac{\omega}{2ga} (q - \omega) \right]^{\frac{1}{2}}; a_2 = \frac{\Omega}{q} \left[ \frac{\omega}{2ga} (q + \omega) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (54)$$

en

$$b_1 = \left[ \frac{\omega}{2ga} (q + \omega) \right]^{\frac{1}{2}}; b_2 = \frac{\Omega}{q} \left[ \frac{\omega}{2ga} (q - \omega) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (55)$$

waarin

$$q = (\omega^2 + \lambda^2)^{\frac{1}{2}}.$$

In reële vorm luidt dan de oplossing voor het  $M_2$ -getij:

$$h = H_1(x, y) \cos \omega t + H_2(x, y) \sin \omega t \quad (56)$$

Hierin is:

$$H_1(x, y) = e^{(a_1x + a_2y)} [A_1 \cos(b_1x + b_2y) + B_1 \sin(b_1x + b_2y)] + e^{-(a_1x + a_2y)} [C_1 \cos(b_1x + b_2y) + D_1 \sin(b_1x + b_2y)] \quad (57)$$

De grootheden  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  en  $D_1$  zijn constanten, die nader berekend moeten worden.

Voor  $H_2(x, y)$  geldt een analoge formule, waarbij  $A_1$  door  $B_1$  vervangen moet worden,  $B_1$  door  $-A_1$ ,  $C_1$  door  $-D_1$  en  $D_1$  door  $C_1$ .

Het getij kan beschouwd worden als de resultante van twee in tegengestelde richting lopende Kelvingolven.

De verschillende constanten moeten met behulp van de randvoorwaarden bepaald worden. Het verticale getij moet dan gegeven zijn voor twee plaatsen, die of op de lijn  $x = 0$ , loodrecht op de kust, zijn gelegen, of op  $x = l$  (einde van het vak), of bij een plaats op ieder van beide lijnen. Bij de praktische toepassingen zijn de twee plaatsen aan de kust gelegen, respectievelijk aan het begin en einde van één vak of van een reeks van vakken.

Als  $h$  bekend is, is de snelheid direct te berekenen volgens (50). Ook is de totale stroom  $Q(x)$  in de dwarsdoorsnede bij  $x$  te bepalen. Als  $b$  de breedte van het vak is, is volgens (50):

$$Q(x) = a \int_0^b u(x, y) dy = -\frac{ag}{\Omega} [h(x, b) - h(x, 0)] \quad (58)$$

De gemiddelde amplitude van de snelheid  $\bar{U}$  in een vak is volgens (50) en (56):

$$\bar{U} = \frac{g}{\Omega bl} \int_0^l dx \int_0^b \left[ \left( \frac{\partial H_1}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial H_2}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} dy$$

Deze integraal is niet exact te berekenen na substitutie van de formules voor  $\frac{\partial H_1}{\partial y}$  en  $\frac{\partial H_2}{\partial y}$ .

Gevonden wordt:

$$\bar{U} = \frac{g(a_2^2 + b_2^2)^{\frac{1}{2}}}{\Omega bl} \int_0^l \int_0^b \left\{ (A_1^2 + B_1^2) \exp 2(a_1x + a_2y) + (C_1^2 + D_1^2) \exp -2(a_1x + b_2y) + \right. \\ \left. - 2[(A_1C_1 - B_1D_1) \cos 2(b_1x + b_2y) + (A_1D_1 + B_1C_1) \sin 2(b_1x + b_2y)] \right\}^{\frac{1}{2}} dx dy \quad (59)$$

De berekening van deze dubbele integraal moet op numerieke wijze geschieden, nadat de eerste berekening van het getij met geschatte waarden voor  $\bar{U}$  heeft plaats gehad.

De formules zullen het getij in het tweedimensionale vak voldoende benaderen, indien dit van zo beperkte afmetingen is, dat de maximumsnelheden in het vak niet al te veel afwijken van hun gemiddelde waarden.

In verband hiermede zal de strook langs een gesloten kust, waarin de snelheden overal evenwijdig aan de kust verlopen, in meerdere vakken moeten worden verdeeld.

Als dan het verticale getij bekend is bij twee kustplaatsen, resp. gelegen aan het begin van het eerste en aan het einde van het laatste vak, terwijl voor de vakken onderling de diepten  $a$  en de gemiddelde maximale snelheden  $\bar{U}$  verschillend zijn en dus de coëfficiënten  $a_1$  t/m  $b_2$  voor opvolgende vakken ongelijk zijn, is het niet meer mogelijk om met behulp van Kelvingolven een oplossing te verkrijgen, die op alle grenzen van de vakken continu verloopt. Dit blijkt direct, als (57) wordt beschouwd voor twee opvolgende vakken, waarvoor de coëfficiënten  $a_1$  t/m  $b_2$  verschillend zijn.

Stel dat aan het begin van het eerste en het einde van het tweede vak aan de kust de randvoorwaarden  $h_0(t)$  en  $h_2(t)$  gegeven zijn en dat ook bij de tussengrens van de vakken aan de kust het verticale getij  $h_1(t)$  bekend is. Dan is door  $h_0(t)$  en  $h_1(t)$  in vak 1 de getijbeweging door Kelvingolven volledig bepaald en in vak 2 door  $h_1(t)$  en  $h_2(t)$ . Op de grens van vak 1 en vak 2 (loodrecht op de kust) verloopt bij de kust  $h(t)$  continu, maar in de overige punten van deze grens behoeft dat niet het geval te zijn



d.w.z. de snelheid en het verticale getij aan het einde van vak 1 en het begin van vak 2, die door de respectieve Kelvingolven in de beide vakken bepaald zijn, zijn daar verschillend. Door de verschillende Coriolisinvoeden op de Kelvingolven in de beide vakken sluiten deze niet op elkaar aan.

Het voorgaande is ook het geval als op de grenzen van de beide vakken,  $x = l$ , een stroom  $Q_0(t)$ , die sinusoidaal verloopt met de frequentie van het  $M_2$ -getij, aan de strook wordt toegevoegd. Bij deze grens moet dan gelden:

$$Q \text{ (einde vak 1)} + Q_0 = Q \text{ (begin vak 2)},$$

terwijl voor de  $x$ -waarden direct boven en beneden de grens ook voldaan moet zijn aan (58). Indien  $h(x, b)$  en  $h(x, 0)$  continu zouden veranderen op de grens  $x = l$ , zou dit ook het geval moeten zijn met  $Q$ , hetgeen in strijd is met de voorgaande betrekking. Als dus bijvoorbeeld  $h(x, 0)$  wel continu verloopt, kan dat met  $h(x, b)$  niet het geval zijn. Door de ongelijke Corioliskrachten ter weerszijden van de grens  $x = l$ , verschillen daar ook de waarden van  $h(x, b)$ , indien de getijbeweging alleen met behulp van Kelvingolven wordt beschreven en dus de snelheden loodrecht op de kust worden verwaarloosd.

De grootte van de verschillen in de berekende waarden voor  $h$  en  $u$  bij de grenzen van de vakken geven aan in hoeverre het geoorloofd is om de waterbeweging in de gehele strook met dergelijke Kelvingolven te beschrijven. Zijn de verschillen voldoende klein, dan zullen de berekende verticale getijden en snelheden op de grenzen een voldoende benadering zijn voor de getijbeweging in de strook. Anders is het niet geoorloofd om de dwarsnelheden in de strook te verwaarlozen. De vergelijkingen (1a) en (2a) moeten dan beschouwd worden, waarbij de waarde van  $m$  ongelijk aan nul is (zie 2.2 en in het bijzonder 2.2.3).

Het is ook mogelijk, behalve één strook, twee naast elkaar gelegen stroken langs de kust te beschouwen, die ieder weer in verschillende achter elkaar gelegen vakken kunnen zijn onderverdeeld.

Dan wordt eerst de getijbeweging benaderd met behulp van de Kelvingolven in de strook, die aan de kust aansluit. Het berekende verticale getij op twee plaatsen van de buitengrens bepaalt dan de getijbeweging in de naastliggende strook. Behalve bij deze plaatsen zullen de verticale getijden en snelheden van de Kelvingolven ter weerszijden van de overgang van de beide stroken in het algemeen verschillend zijn. Zijn deze verschillen weer klein, dan kunnen de gemiddelden als representatief voor  $h$  en  $u$  worden beschouwd. Zo kunnen meerdere stroken aan elkaar verbonden worden, totdat blijkt, dat de afwijkingen op de grenzen tussen opvolgende stroken zo groot worden, dat de dwarsnelheden verder niet meer verwaarloosd mogen worden.

De grootte van het gebied, waarvoor de methode kan worden toegepast, volgt ook uit vergelijking van het berekende getij met de eventueel bekende getijgegevens. Worden de afwijkingen van het berekende getij te groot, dan heeft verdere uitbreiding van het gebied geen zin meer.

#### 2.2.6 Een numerieke methode voor de bepaling van het getij in het geval dat de kwadratische weerstandswet wordt beschouwd

Terwijl in de vorige subparagraaf de voortplanting van het  $M_2$ -getij in een strook langs de kust werd berekend met behulp van Kelvingolven, wordt in deze subparagraaf een numerieke methode behandeld voor het analoge geval van een stromingsrichting, die samenvalt met de lengterichting van een vak. In ieder vak wordt de diepte weer constant verondersteld; in de bewegingsvergelijkingen wordt echter de kwadratische weerstandswet gehandhaafd, terwijl het werkelijk voorkomende getij wordt beschouwd. Deze methode is speciaal van belang als de waterbeweging in een zeegebied hoofdzakelijk in geulen met beperkte breedte verloopt. Ze kan ook worden toegepast voor de bestudering van het verloop van stormvloed langs een gesloten kust.

De formules worden afgeleid voor het geval van twee naast elkaar gelegen geulen, waarin de stromingsrichting hoofdzakelijk samenvalt met de lengterichting, terwijl de diepte verschillend kan zijn. Voor het tijdstip  $t$  zijn de volgende grootheden gedefinieerd voor het eerste vak.

$O_1$  = profielsoppervlakte;

$u_{11}$  en  $u_{12}$  = gemiddelde snelheden, respectievelijk op de beneden- en de bovengrens;

$s_{11}$  en  $s_{12}$  = totale stromen door de betreffende profielen;

$\Delta h_1$  = het verval in lengterichting;

- $\Delta h_{11}$  = Coriolisverval in dwarsrichting aan het begin van het vak;  
 $\Delta h_{12}$  = Coriolisverval aan het einde van het vak;  
 $a_1$  = gemiddelde diepte van het vak;  
 $b_1$  = breedte van het vak;  
 $l$  = lengte van het vak.

Voor het naastliggende vak wordt voor de overeenkomstige grootheden de linkerindex 1 door de index 2 vervangen, dus  $u_{21}$  en  $u_{22}$ ,  $\Delta h_2$  enz. De lengte  $l$  van beide vakken is echter dezelfde, de breedte kan verschillend zijn.

Dan gelden de volgende betrekkingen, respectievelijk voor de beide geulen:

$$O_1 u_{11} = s_{11}, O_1 u_{12} = s_{12}, O_2 u_{21} = s_{21}, O_2 u_{22} = s_{22} \quad (a)$$

Uit de bewegingsvergelijking (1a) volgen voor de lengterichting de differentiebetrekkingen:

$$\pm \frac{(u_{11} + u_{12})^2}{4C^2 a_1} l + \frac{(\dot{u}_{11} + \dot{u}_{12})}{2g} l = \Delta h_1, \text{ (waarin } \dot{u}_{11} = \frac{\partial u_{11}}{\partial t}, \text{ enz.)} \quad (b)$$

en

$$\pm \frac{(u_{21} + u_{22})^2}{4C^2 a_2} l + \frac{(\dot{u}_{21} + \dot{u}_{22})}{2g} l = \Delta h_2 \quad (c)$$

Voor het Coriolisverval in dwarsrichting geldt:

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_{11} &= \frac{\Omega}{g} b_1 u_{11}; \quad \Delta h_{21} = \frac{\Omega}{g} b_2 u_{21} \\ \Delta h_{12} &= \frac{\Omega}{g} b_1 u_{12}; \quad \Delta h_{22} = \frac{\Omega}{g} b_2 u_{22} \end{aligned} \right\} \quad (d)$$

terwijl uit de continuïteitsvergelijking volgt:

$$s_{12} = s_{11} + \frac{1}{2} b_1 l (\dot{h}_{11} + \dot{h}_{12}) \quad (e)$$

en

$$s_{22} = s_{21} + \frac{1}{2} b_2 l (\dot{h}_{21} + \dot{h}_{22}) \quad (f)$$

Als voor  $x = 0$  in het midden van het begin van elk der naast elkaar gelegen vakken het verticale getij, respectievelijk  $h_{11}(t)$  en  $h_{21}(t)$  bekend zijn, geldt:

$$2(h_{11} - h_{21}) = \Delta h_{11} + \Delta h_{21} \quad (g)$$

Verder geldt langs de as van de beide vakken:

$$h_{12} = h_{11} + \Delta h_1, \quad h_{22} = h_{21} + \Delta h_2 \quad (h)$$

aan het einde:

$$2(h_{12} - h_{22}) = \Delta h_{12} + \Delta h_{22} \quad (i)$$

Als bijvoorbeeld  $h_{11}(t)$  en  $h_{21}(t)$  of  $h_{11}(t)$  en  $h_{12}(t)$  gegeven zijn, komen in de twaalf vergelijkingen, die uit (b)—(i) gevonden worden door met behulp van (a) de snelheden te elimineren, evenveel onbekenden voor. Deze vergelijkingen zijn gemakkelijk tot zes terug te brengen door  $\Delta h_1$ ,  $\Delta h_2$ ,  $\Delta h_{11}$ ,  $\Delta h_{21}$ ,  $\Delta h_{12}$  en  $\Delta h_{22}$  te elimineren. Deze zes betrekkingen zijn:

$$\pm \frac{[s_{11} + s_{12}]^2}{4C^2 a_1 O_1^2} l + \frac{[\dot{s}_{11} + \dot{s}_{12}]}{2g O_1} l = h_{12} - h_{11} \quad (b_1)$$

$$\pm \frac{[s_{21} + s_{22}]^2}{4C^2 a_2 O_2^2} l + \frac{[\dot{s}_{21} + \dot{s}_{22}]}{2g O_2} l = h_{22} - h_{21} \quad (c_1)$$

$$s_{12} = s_{11} + \frac{1}{2} b_1 l (\dot{h}_{11} + \dot{h}_{12}) \quad (e_1)$$

$$s_{22} = s_{21} + \frac{1}{2} b_2 l (\dot{h}_{21} + \dot{h}_{22}) \quad (f_1)$$

$$2(h_{11} - h_{21}) = \frac{\Omega}{g O_1 O_2} [b_1 s_{11} O_2 + b_2 s_{21} O_1] \quad (g_1)$$

$$2(h_{12} - h_{22}) = \frac{\Omega}{g O_1 O_2} [b_1 s_{12} O_2 + b_2 s_{22} O_1] \quad (i_1)$$

Uit deze zes vergelijkingen kunnen  $s_{12}$  en  $s_{22}$  geëlimineerd worden. De volgende vier vergelijkingen worden dan verkregen:

$$\pm \frac{[2 s_{11} + \frac{1}{2} b_1 l (\dot{h}_{11} + \dot{h}_{12})]^2 l}{4 C^2 a_1 O_1^2} + \frac{2 \dot{s}_{11} l + \frac{1}{2} b_1 l^2 (\ddot{h}_{11} + \ddot{h}_{12})}{2 g O_1} = h_{12} - h_{11} \quad (b_2)$$

$$\pm \frac{[2 s_{21} + \frac{1}{2} b_2 l (\dot{h}_{21} + \dot{h}_{22})]^2 l}{4 C^2 a_2 O_2^2} + \frac{2 \dot{s}_{21} l + \frac{1}{2} b_2 l^2 (\ddot{h}_{21} + \ddot{h}_{22})}{2 g O_2} = h_{22} - h_{21} \quad (c_2)$$

$$2(h_{11} - h_{21}) = \frac{\Omega}{g} \left( \frac{b_1 s_{11}}{O_1} + \frac{b_2 s_{21}}{O_2} \right), \quad (g_2)$$

$$2(h_{12} - h_{22}) = 2(h_{11} - h_{21}) + \frac{\Omega b_1^2 l}{2g O_1} (\dot{h}_{11} + \dot{h}_{12}) + \frac{\Omega b_2^2 l}{2g O_2} (\dot{h}_{21} + \dot{h}_{22}) \quad (i_2)$$

Ten slotte kan nog  $s_{21}$  in (c<sub>2</sub>) met behulp van (g<sub>2</sub>) geëlimineerd worden, zodat drie vergelijkingen overblijven, nl. (b<sub>2</sub>), (i<sub>2</sub>) en:

$$\pm \frac{\left[ -\frac{2 b_1 O_2}{b_2 O_1} s_{11} + \frac{4g O_2}{\Omega b_2} (h_{11} - h_{21}) + \frac{1}{2} b_2 l (\dot{h}_{21} + \dot{h}_{22}) \right]^2 l}{4 C^2 a_2 O_2^2} + \frac{-\frac{2 b_1 O_2 l}{b_2 O_1} s_{11} + \frac{4g O_2 l}{\Omega b_2} (\dot{h}_{11} - \dot{h}_{21}) + \frac{1}{2} b_2 l^2 (\ddot{h}_{21} + \ddot{h}_{22})}{2 g O_2} = h_{22} - h_{21} \quad (c_3)$$

Indien  $h_{11}$  en  $h_{12}$  bekend zijn, zijn  $s_{11}$ ,  $h_{21}$  en  $h_{22}$ , de onbekenden in (b<sub>2</sub>), (i<sub>2</sub>) en (c<sub>3</sub>), en als  $h_{11}$  en  $h_{21}$  bekend zijn, zijn dit  $s_{11}$ ,  $h_{12}$  en  $h_{22}$ . Deze beide gevallen zijn praktisch het belangrijkste.

Op de volgende wijze kan een numerieke oplossing van deze vergelijkingen, waarvan (b<sub>2</sub>) en (c<sub>3</sub>) niet-lineair zijn, worden verkregen.

Aangezien de waterstanden en snelheden gedurende het getij relatief langzaam veranderen, kunnen de termen met  $\ddot{h}_{11}$ ,  $\ddot{h}_{12}$ ,  $\ddot{h}_{21}$  en  $\ddot{h}_{22}$  bij eerste benadering worden weggelaten.

Verder worden de differentiaalquotienten  $\dot{h}_{11}$ ,  $\dot{h}_{12}$  enz. vervangen door hun differenties  $\frac{\Delta h_{11}}{\Delta t}$ , enz.

De periodieke oplossing voor de onbekende functies  $s_{11}$ ,  $h_{12}$  en  $h_{22}$ , wordt als volgt bepaald, als verondersteld is, dat  $h_{11}$  en  $h_{21}$  gegeven periodieke functies van de tijd zijn.

Op een begintijdstip  $t_0$  worden voor  $s_{11}$ ,  $h_{12}$  en  $h_{22}$  waarden aangenomen, die zo dicht mogelijk bij de te verwachten periodieke integraalkrommen worden gekozen. Verder wordt voor  $\Delta t$  een tijdsinterval, bijv. een kwartier aangenomen. Na de substitutie van de aangenomen waarden en de bekende waarden van  $h_{11}$  en  $h_{21}$  voor  $t = t_0$  en hun differentiequotienten zijn (b<sub>2</sub>), (i<sub>2</sub>) en (c<sub>3</sub>) overgegaan in drie lineaire vergelijkingen voor  $\Delta s_{11}$ ,  $\Delta h_{12}$  en  $\Delta h_{22}$ . Deze laatste grootheden kunnen dan worden berekend, waarna voor het tijdstip  $t_0 + \Delta t$ , de waarden voor  $s_{11}$ ,  $h_{12}$  en  $h_{22}$  bekend zijn. De berekening wordt daarna op dezelfde wijze voortgezet. Bij voortgezette berekening worden dan krommen voor de onbekende functies verkregen, die blijken te convergeren naar de periodieke oplossing van de differentiaalvergelijkingen, d.w.z. de waarden van  $s_{11}$ ,  $h_{12}$  en  $h_{22}$  gaan bij toenemende tijd steeds minder verschillen van de corresponderende waarden van de periodieke oplossingen.

Deze methode is een uitbreiding van die, welke beschreven is voor de oplossing van de niet-lineaire differentiaalvergelijking in een andere bijdrage <sup>1)</sup>. Op het wiskundige bewijs van de convergentie van de methode wordt hier echter niet nader ingegaan.

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage III.7 (hoofdstuk 8.0).

Indien in plaats van  $h_{11}(t)$  en  $h_{21}(t)$  de functies  $h_{11}(t)$  en  $h_{12}(t)$  bekend zijn, verloopt de oplossing op analoge wijze.

De methode kan ook worden uitgebreid tot een systeem van vakken, die naast en achter elkaar zijn gelegen. Dan moet een stelsel lineaire differentievergelijkingen worden opgelost, hetgeen een omvangrijk werk is. Het is vaak mogelijk – door gebruik te maken van voorlopige schattingen van getijden en stromen op bepaalde plaatsen en door deze daarna met behulp van berekeningen te verbeteren – om de uitkomsten sneller te verkrijgen dan langs de hiervoren aangegeven oplossingsmethode.

Bij de voorgaande methode wordt de voortplanting van het getij in het midden van de geulen berekend. Daarna kan met behulp van (a) en (d) het verloop van het getij ook op de randen van de geulen worden bepaald. De verticale getijden en de stroomsnelheden, die dan berekend worden op de grens tussen twee vakken, respectievelijk vanuit het ene en het andere vak, zullen in het algemeen niet dezelfde zijn.

De analoge kwestie is besproken in 2.2.5 bij de toepassing van de Kelvingolven. Indien de verschillen op de grenzen klein zijn, kunnen de resultaten als voldoende worden beschouwd. Als dat niet het geval is, kunnen de dwarssnelheden niet worden verwaarloosd.

### 3.0 GEGEVENS OVER DE GETIJBEWEGING IN DE NOORDZEE EN DE ZEEARMEN BIJ DE BESTAANDE TOESTAND

#### 3.1 De waterbeweging naar de zeegaten in verhouding tot die in het Noordzeegebied

De hoeveelheid water, die gedurende een getij van of naar de af te sluiten zeegaten stroomt, draagt ter plaatse van de afsluitdammen bijna 2 miljard  $m^3$ , terwijl door een dwarsdoorsnede van de Noordzee in een lijn van Westkapelle naar Harwich een vloedvolume van ongeveer 50 miljard  $m^3$  stroomt, dus ongeveer 25 maal zoveel. Daar de waterverplaatsing naar de zeegaten hoofdzakelijk in het aan de Nederlandse kust aansluitende Noordzeegebied zal plaats hebben, is ook nog het vloedvolume bepaald door een raai van 50 km lengte, die in Westkapelle loodrecht op de kust staat. Deze hoeveelheid bedraagt ongeveer 16 miljard  $m^3$ , dus ongeveer 8 maal zoveel als de stroming naar de zeegaten.

Uit deze cijfers blijkt, dat de invloed van de afsluiting van de zeegaten op het getijverloop in het aansluitende Noordzeegebied beperkt moet zijn. Langs de Nederlandse kust zullen de veranderingen het grootst zijn. In zeewaartse richting zullen zij afnemen.

Voorts blijkt er een belangrijk verschil te bestaan in het verloop van de snelheden in de Noordzee en dat in de zeegaten. De tijdstippen van de maximale stroomsnelheden in de mondingsgebieden van de zeegaten verschillen ongeveer twee uur van die in zee en treden ongeveer een half uur vóór of na de tijdstippen van de kenteringen in zee op, afhankelijk van eb of vloed. Als de stromingen in de mondingen kenteren van vloed naar eb of omgekeerd, zijn de vloed-, c.q. ebsnelheden in het Noordzeegebied bijna maximaal.

Bij hoogwater in de zeegaten zijn de vloedsnelheden kleiner dan tevoren, terwijl dan de snelheden in de Noordzee nog toenemen. Deze lopen dan hoofdzakelijk evenwijdig met de lijn, die de koppen van de eilanden verbindt. Als daarentegen de snelheden in de mondingen maximaal zijn, zijn de dan voorkomende geringe snelheden in zee in het algemeen niet evenwijdig aan de kustlijn gericht.

#### 3.2 De getijbeweging in de monden van Oosterschelde en Westerschelde

Daar het doel van het onderzoek ook betrof de bepaling van de invloed van de afsluiting van de Oosterschelde op de getijbeweging in de mond van de Westerschelde, wordt over de getijbeweging in de monden van deze zeearmen het volgende medegedeeld. De invloed van de afsluiting van Brouwershavense Gat en Haringvliet op de Westerschelde is uiteraard van veel geringere betekenis dan die van de Oosterschelde.

In de zeearmen wordt de richting van de waterbeweging hoofdzakelijk bepaald door de geulen, terwijl dit in de mondingsgebieden in zeewaartse richting in steeds mindere mate het geval is. Wel worden geulen aangetroffen, die bij lagere waterstanden de richting van de stromen min of meer bepalen, maar bij hogere waterstanden is ook de waterbeweging over de banken van betekenis.

Voor de Westerschelde kan men de lijn Vlissingen–Breskens als grens kiezen tussen zeearm en mondingsgebied. Bij de Oosterschelde is dit de lijn Burgh–Vrouwenpolder. Buitenwaarts van deze grenzen verandert de snelheid gedurende het getij steeds meer van richting. Het vectoriële snelheidsverloop in een punt, stroomroos genoemd, is dicht bij de oevers en de grenzen van de zeearmen langgerekkt, met de lange as in de richting van de zeearm. Buitenwaarts gaande, worden de stroomrozen steeds meer cirkelvormig, daar de getijstromen naar de zeearmen relatief afnemen ten opzichte van de getijstromen van de Noordzee. In de Noordzee zelf is de vorm van de stroomroos weer langgerekkt, waarbij de lange as ongeveer evenwijdig aan de kust verloopt.

Door de faseverschillen, die tussen de horizontale getijden van de Noordzee en de zeearmen voorkomen (zie 3.1), is het stroomverloop in de buitenmonden van de zeearmen gecompliceerd.

In deze buitenmonden komen uitgestrekte banken voor, die door geulen worden doorsneden. De belangrijkste geulen zijn voor de Westerschelde: de Wielingen, het Deurlo en het Oostgat. Hiervan is de Wielingen, die langs de Vlaamse kust verloopt, het belangrijkste. Het Oostgat is een betrekkelijk smalle en diepe geul langs de Walcherse oever. Het Deurlo verloopt tussen beide in en is vrij onregelmatig van vorm.

In het mondingsgebied van de Oosterschelde zijn de belangrijkste geulen de Roompot, het Westgat en een smalle geul langs de Schouwense oever. De Roompot, die langs de Walcherse oever is gelegen, heeft ongeveer hetzelfde getijvolume als het Westgat.

Het vloed- of ebvolume door de lijn Vlissingen–Breskens bedraagt bij gemiddeld getij ongeveer 1,1 miljard m<sup>3</sup>, het overeenkomstige bedrag in de lijn Burgh–Vrouwenpolder is ruim 1 miljard m<sup>3</sup>.

De overgang van de mond van de Westerschelde naar die van de Oosterschelde bevindt zich in het zeegebied ten westen van Westkapelle.

Uit de snelheidsmetingen blijkt, dat de fase van de stroming – tijdstippen van maximumsnelheid en kenteringen – in het grootste deel van dit gebied verschillend is van die van de zeearm zelf en veel overeenkomst heeft met de fase in de Noordzee. De stroming in dit gebied wordt slechts in beperkte mate beïnvloed door de stroming van en naar de zeearmen. De geul, die in het verlengde van het Oostgat voorkomt en als zijn buitenmond kan worden beschouwd, mondt ook uit in de buitenmond van de Roompot. In verband hiermede zal vooral de buitenmond van de Oostgeul invloed van de afsluiting van de Oosterschelde ondervinden. Zeer dicht bij de Walcherse oever is er nog een ondiepe verbinding met de zuidelijke tak van de Roompot aanwezig; deze geul is echter van weinig betekenis.

Daar het Deurlo door de uitgestrekte banken, Rassen en Kalo, van het Oostgat is afgeschermd, zal de invloed van de afsluiting van de Oosterschelde op het Deurlo van minder belang zijn dan die voor het Oostgat.

## 4.0 GEVOLGEN VAN DE AFSLUITING VOOR DE NORMALE GETIJBEWEGING

### 4.1 Inleiding

De invloed van de afsluitingen op de getijbeweging in de mond van de Westerschelde en langs de Nederlandse kust is van tweeërlei aard, waarbij van een directe en indirecte invloed gesproken kan worden.

De directe invloed wordt veroorzaakt door de wijzigingen van de getijbeweging in de mondingsgebieden van de zeearmen tot aan de afsluitdammen. Deze invloed is dus van lokaal karakter. Verder zullen veranderingen optreden in de horizontale en verticale getijbeweging van het geulenstelsel onmiddellijk ten westen van Westkapelle, dat het mondingsgebied van de Oosterschelde direct met dat van de Westerschelde verbindt. Ook onmiddellijk ten westen van de koppen van de andere eilanden zullen veranderingen in de daar aanwezige geulen voorkomen. Deze zijn echter van nog minder betekenis dan die ten westen van Westkapelle.

De indirecte invloed ten gevolge van de afsluitingen wordt teweeggebracht door de veranderingen in de waterbeweging in het aansluitende gebied van de Noordzee, waar eveneens de bestaande waterbeweging naar en van de afgesloten zeearmen komt te vervallen. Hierdoor worden de waterstanden langs het deltagebied zelf ook weer beïnvloed, vooral door de wijzigingen in de Corioliskrachten.

In het vervolg zal blijken, dat de directe lokale invloeden op de waterstanden belangrijker zijn dan de indirecte. Deze laatsten worden het eerst behandeld.

## 4.2 Berekeningen voor de bepaling van de indirecte invloeden door de afsluitingen op de waterstanden in een zeer schematisch model

### 4.2.1 Overzicht van de berekeningen

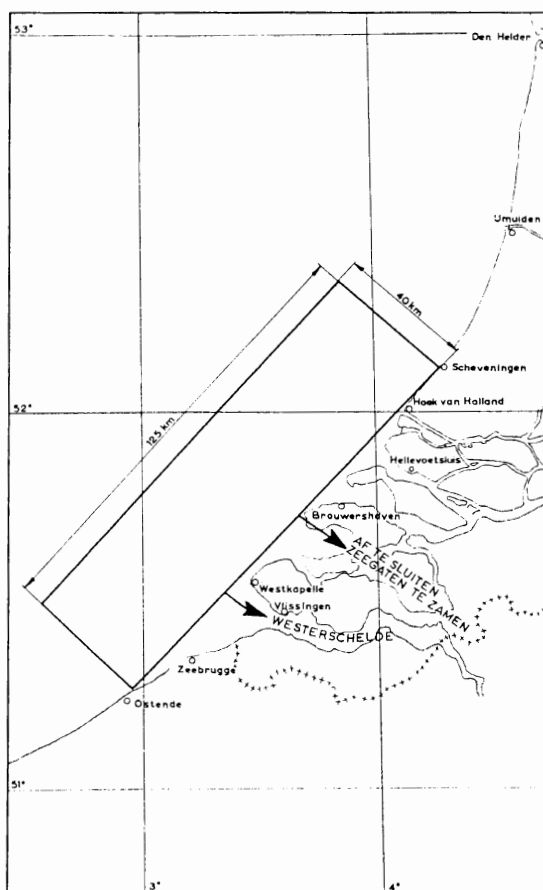
Om een inzicht te verkrijgen in de wijzigingen, die de getijbeweging in het Noordzeegebied door de afsluitingen zal ondergaan, werden eerst berekeningen uitgevoerd in een strook langs de kust bij zeer grove veronderstellingen. In de volgende paragraaf wordt een minder schematisch model beschouwd.

Langs de gesloten kust kan bij benadering worden aangenomen, dat de snelheden in de gehele strook evenwijdig zijn. Hoe smaller de strook, des te meer is deze veronderstelling aannemelijk.

Voor de berekening van de voortplanting van het  $M_2$ -getij kan de methode van 2.2.5 worden toegepast met behulp van heen en weer lopende Kelvingolven.

In het zeegebied vóór het deltagebied komen bij de bestaande toestand evenwijdige snelheden in de strook slechts gedurende een deel van het getij voor, namelijk bij H.W. en L.W. Bij halftij zijn de snelheden, die dan in de mondingen ongeveer maximaal zijn, vooral naar de zeearmen gericht.

In verband hiermede werd een nog verdergaande schematisatie toegepast, door de af te sluiten zeearmen te zamen als één geheel te beschouwen. De wijze van in- en uitstroming in de zeearmen wordt hierbij niet nader beschouwd. In figuur 4.2.1 is aangegeven op welke wijze het zeegebied vóór het deltagebied werd geschematiseerd.



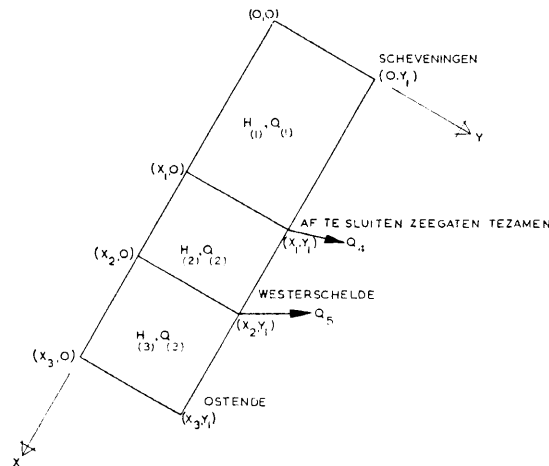
Figuur 4.2.1. Situatie van de 40 km-strook voor de kust van Ostende tot Scheveningen

Op de twee aangegeven plaatsen wordt gedurende het getij water naar de strook toegevoerd of er aan onttrokken, respectievelijk de hoeveelheden water van de Westerschelde en die van de af te sluiten zeearmen ten noorden van de Westerschelde.

Verder werd verondersteld, dat de gehele strook een constante diepte heeft, die ongeveer gelijk is aan de gemiddelde diepte in dit zeegebied. De waarde van de weerstandscoefficiënt is op  $60 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}$  gesteld.

Voor het nagaan van de invloed van wijzigingen in de veronderstellingen werden de volgende gevallen beschouwd: voor de breedte van de stroken werd respectievelijk 20 km en 40 km aangenomen, voor de gemiddelde diepte 15 m en 18 m. Als randvoorwaarden werden aangenomen het bestaande  $M_2$ -getij van het verticale getij te Scheveningen en dat te Ostende.

In figuur 4.2.2 is deze strook apart aangegeven met de twee aftakkingen respectievelijk voor de stroming naar de Westerschelde en naar de andere zeearmen te zamen genomen. De notatie van de belangrijkste punten ten opzichte van het assenstelsel is aangegeven.



Figuur 4.2.2. Notatie van de verschillende grootheden in de strook voor de kust

De oorsprong van het assenstelsel werd in zee gekozen op een afstand van  $y_1$  km van Scheveningen. Op de plaatsen  $(x_1, y_1)$  en  $(x_2, y_1)$  bevinden zich de vermelde aftakkingen. Er werden dus drie vakken beschouwd, waarin  $H_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) het verticale getij voorstelt en  $Q_i$  de totale stroom, die door een dwarsprofiel loodrecht op de as gaat.

De formules, waarmee de getijbeweging in een vak van de strook berekend werd, zijn in 2.2.4 weergegeven.

Op de grenzen  $((x_1, 0), (x_1, y_1))$  en  $((x_2, 0), (x_2, y_1))$  geldt dan voor de stromen respectievelijk:

$$\begin{aligned} Q_1(x_1, t) &= Q_2(x_1, t) + Q_4(t) \\ \text{en} \quad Q_2(x_2, t) &= Q_3(x_2, t) + Q_5(t) \end{aligned}$$

$Q_4$  is de stroom van de af te sluiten zeegaten te zamen;  $Q_5$  is de stroom naar de Westerschelde. Daar ook de  $M_2$ -getijden te Scheveningen  $(0, y_1)$  en te Ostende  $(x_3, y_1)$  bekend verondersteld zijn, zijn er dan voldoende voorwaarden om de twaalf grootheden  $A_i, B_i, C_i$  en  $D_i$  ( $i = 1, 2$  en  $3$ ), die in de zes functies  $H_{1i}(x, y)$  en  $H_{2i}(x, y)$  voorkomen, te bepalen. Zoals in 2.2.5 is opgemerkt, zullen dan de waarden, die op de grenzen van de vakken voor  $H$  en  $Q$  worden berekend, discontinu verlopen, d.w.z. dat de waarden, die aan het einde van het eerste vak worden bepaald, ongelijk zijn aan die van het begin van het tweede vak. In één punt op iedere vakgrens, nl. in  $(x_1, 0)$  en  $(x_2, 0)$  respectievelijk, verloopt echter  $H$  in  $x$ -richting continu. In de overige punten op de grens, dus ook langs de kust, is dat dan niet het geval. Indien de waarden van de sprongen in  $H$  op deze vakgrens klein zijn, kan het berekende getijverloop toch als een voldoende benadering worden beschouwd, omdat dit betekent, dat de dwarsnelheden, die voor het verkrijgen van een continue oplossing ingevoerd zouden moeten worden, klein zijn.

De berekening van de getijbeweging in de strook werd daarna herhaald bij de veronderstelling, dat de stroming naar de zeegaten vervalt ( $Q_4 = 0$ ). Er werden dan twee vakken beschouwd zodat dan

op deze vakgrens  $(x_1, y)$  geen discontinu verloop van  $H$  en  $Q$  in  $x$ -richting meer voorkomt. Als randvoorwaarden werden dan niet de verticale getijden in  $(0, y_1)$  en  $(x_3, y_1)$  aangenomen, maar die van de in zee gelegen punten  $(0, 0)$  en  $(x_3, 0)$ , waar het getij bij de vorige berekening bepaald is. Immers door de afsluiting van de zeearmen zullen ook de getijden in de kuststations  $(0, y_1)$  en  $(x_3, y_1)$  veranderen. Op de zeewaartse rand van de strook zullen deze veranderingen het geringst zijn. De redelijkste veronderstelling is dus om op deze lijn de twee plaatsen te kiezen, waar het verticale getij bekend moet worden verondersteld.

#### 4.2.2 Resultaten van de berekeningen

Bij de berekeningen werd de amplitude van het  $M_2$ -getij te Scheveningen op 0,75 m gesteld en die te Ostende op 1,90 m. Bij de 40 km-strook werd voor de amplitude te Westkapelle 1,65 m berekend en te Goeree 1,15 m. Deze waarden zijn gemiddeld volgens de waarnemingen bij de bestaande toestand resp. 1,65 en 1,00 m. De verschillen tussen model en werkelijkheid zijn dus minder groot dan verwacht kon worden bij dit zeer eenvoudige mathematische model. Verder blijkt het verschil in amplitude loodrecht op de kust, als gevolg van de Corioliswerking, bij de 40 km brede strook gemiddeld 30 cm te bedragen, hetgeen overeenkomstig is aan de waarde volgens de beschikbare gegevens. De amplitude langs de kust is dan groter dan zeewaarts loodrecht op de kust.

Voor de smalle strook van 20 km breedte werd voor de voornoemde amplituden gevonden respectievelijk 1,70 en 1,20 m, dus ongeveer 5 cm meer dan bij de bredere strook. Hoewel de breedte van de strook niet van belangrijke invloed is op de te berekenen grootheden, verschillen de berekende resultaten bij de brede strook toch nog minder van de werkelijkheid, dan bij de smallere strook.

In de vorige subparagraaf is vermeld, dat discontinuïteiten voorkomen in de berekende waarden van de amplitude in de raaien loodrecht op de kust, ter plaatse van de stromen van en naar de Westerschelde en respectievelijk de overige zeearmen. Bij deze plaatsen bleek volgens de berekeningen de sprong in de amplitude kleiner te zijn dan 3 cm. Daar dit bedrag van geen praktisch belang is, is het geoorloofd om ter plaatse de gemiddelde waarden te beschouwen.

De afsluiting van de zeearmen heeft tot gevolg, dat voor de 40 km-strook de amplitude te Westkapelle met 4 cm afneemt en die te Goeree met 2 cm. Voor de 20 km-strook zijn deze dalingen resp. 5 cm en 4 cm. Er zal dus een verlaging optreden in de H.W.-standen langs de kust. Deze wordt teweeggebracht door de afname van de snelheden in de strook. Hierdoor worden de Corioliskrachten, die vervallen veroorzaken loodrecht op de kust, kleiner en dus ook de amplituden langs de kust.

De belangrijkste schematisatie in het hiervoren beschouwde mathematische model betrof het buiten beschouwing laten van de wijze waarop de stroming naar en van de zeearmen plaats heeft bij de berekening voor de bestaande toestand. Deze kwestie wordt in de volgende paragraaf behandeld.

### 4.3 Verbeterd mathematisch model van de stromingen bij de bestaande toestand

Hierbij werd een strook langs de kust beschouwd vanaf Westkapelle tot IJmuiden.

Deze laatste plaats is zover noordwaarts gelegen, dat daar geen invloed van de afsluitingen verwacht behoeft te worden. De niet af te sluiten mond van de Westerschelde werd niet in deze strook opgenomen. De stroming daarheen zal na afsluiting van de zeearmen praktisch niet veranderen.

De strook werd onderverdeeld in vier vakken van 30 km lengte en 25 km breedte.

Met behulp van de beschikbare metingen in de mondingen van de zeearmen en die van de buitengebieden, die verwerkt zijn in de Stroomatlas voor de Nederlandse kust [3], werden van uur tot uur de stroombanen en in bepaalde punten op de grenzen van de vakken de snelheden bepaald. Bovendien werd op iedere grens de daar voorkomende gemiddelde diepte bepaald. Daarna werden met behulp van de bewegingsvergelijkingen (1) en (2) van 2.2 de vervallen langs de grenzen van de vakken, die evenwijdig aan en loodrecht op de kust staan, numeriek van uur tot uur bepaald. De stroming naar de zeegaten, die de snelheden in de grenzen van de vakken mede bepalen, werd bij deze berekeningen in rekening gebracht.

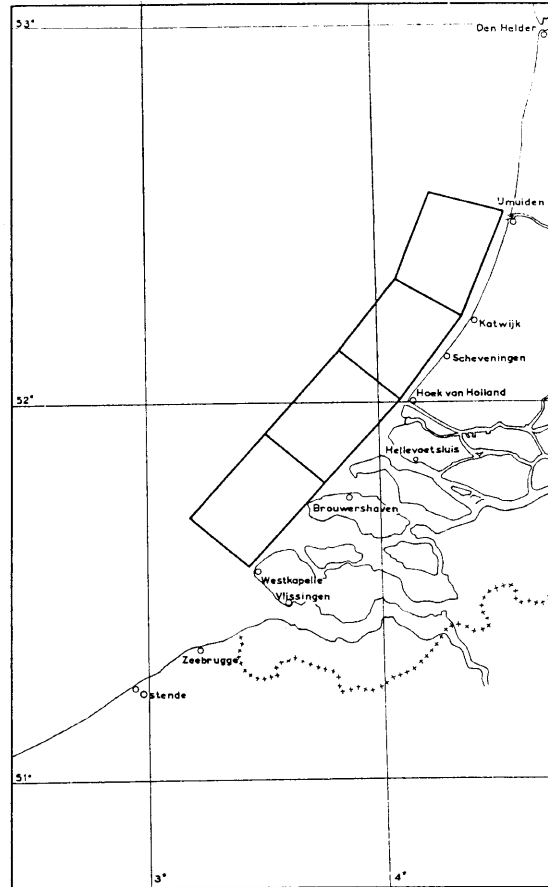
Verder werd uitgegaan van de gemeten getijlijnen te IJmuiden en Westkapelle (H.W. resp. N.A.P. + 0,80 m en N.A.P. + 1,65 m).

Op de grens, die onmiddellijk langs de kust verloopt, werden de volgende H.W.-standen berekend: Hoek van Holland N.A.P. + 0,95 m (gemeten N.A.P. + 0,91 m), Goeree N.A.P. + 1,12 m (gemeten



N.A.P. + 1,14 m), Repart N.A.P. + 1,30 m (gemeten N.A.P. + 1,20 m). De resultaten van deze berekeningen wijken niet op een ontoelaatbare wijze af van de gemeten waarden.

Voor een nader inzicht in de grootte van de krachten, die de waterbeweging bij de bestaande toestand in de strook tussen Westkapelle en IJmuiden beheersen, wordt in tabel 4.3.1 een overzicht gegeven van de vervallen, die op de grenzen van de vakindeling van figuur 4.3.1 zijn berekend voor het Coriolisverval, het weerstandsverval en het traagheidsverval. Ze zijn aangegeven op één uur vóór H.W., op de tijd van H.W. en op één uur na H.W. te Hoek van Holland.



Figuur 4.3.1. Situatie van een strook voor de kust van Westkapelle tot IJmuiden

Tabel 4.3.1

Berekende vervallen in de strook langs de kust, aangegeven in figuur 4.3.1, gerekend van Westkapelle naar Hoek van Holland

	Coriolisverval in cm			Weerstandsverval in cm			Traagheidsverval in cm		
	1 uur vóór H.W.	H.W.	1 uur na H.W.	1 uur vóór H.W.	H.W.	1 uur na H.W.	1 uur vóór H.W.	H.W.	1 uur na H.W.
Buitengrens strook . . . . .	- 1	0	+ 1	- 61	- 80	- 59	-86	+13	+57
Binnengrens strook . . . . .	-18	- 6	+ 6	-122	-104	- 60	-26	+35	+42
Dwarsgrens bij Westkapelle . . .	+22	+20	+16	0	+ 0,2	+ 1	+ 8	+ 4	+ 9
Dwarsgrens bij Hoek van Holland	+16	+16	+13	- 0,4	- 0,4	- 0,2	- 1,6	+ 1,6	+ 2,6

Het blijkt, dat op de grenzen, evenwijdig langs de kust, het verval hoofdzakelijk bepaald wordt door de weerstands- en traagheidskrachten. Op de buitengrens bleek het Coriolisverval van geen betekenis, terwijl op de binnengrens direct langs de Nederlandse kust vervallen voorkomen van resp. — 18, — 6 en + 6 cm, gerekend van Westkapelle naar Hoek van Holland. Deze Coriolisvervallen, die langs de kust gericht zijn, worden veroorzaakt door de stroming naar de zeearmen. Op de genoemde tijdstippen zijn ze echter niet belangrijk in vergelijking met de vervallen, die door de andere krachten worden veroorzaakt. Wel is dat het geval ongeveer 3 uur vóór en 3 uur na H.W. te Hoek van Holland, omdat dan de stromen naar de zeearmen belangrijker zijn dan die, welke evenwijdig aan de kust zijn gericht. In het verval tussen Hoek van Holland en Westkapelle is dan de betekenis van het Coriolisverval groter, dit bedraagt dan respectievelijk 25 cm en 35 cm. Het overige deel van het verval wordt dan hoofdzakelijk bepaald door de traagheidskrachten.

Uit tabel 4.3.1 volgt verder, dat in het beschouwde tijdsinterval omstreeks H.W. te Hoek van Holland de Corioliskrachten hoofdzakelijk het totale verval loodrecht op de kust bepalen.

Na de afsluiting van de zeearmen worden de stromen, die naar de buitenwaarts van de dammen overgebleven mondingsgebieden gericht zijn, zo klein, dat de Corioliskrachten in de lengterichting van de stroken langs de kust praktisch van geen betekenis zijn. Op de dwarsgrenzen blijven de vervallen hoofdzakelijk bepaald door de Corioliskracht.

De H.W.-standen langs de kust tussen Westkapelle en IJmuiden zullen dan geringe wijzigingen ondergaan, in verband met de relatief geringe waarden van de Corioliskracht langs de kust bij de bestaande toestand in het beschouwde tijdsinterval omstreeks H.W.

Uit de berekening volgde, dat het verschil in H.W.-stand tussen Westkapelle en Hoek van Holland kleiner zal worden dan nu het geval is, en wel hoogstens 5 cm.

De veranderingen in de H.W.-standen bij de plaatsen, tussen Westkapelle en Hoek van Holland gelegen, zullen geleidelijk verlopen. Te Hoek van Holland zal de H.W.-stand met enkele cm kunnen stijgen. Verder noordwaarts nemen de veranderingen weer af tot aan IJmuiden. Analooq aan het resultaat van de berekeningen met Kelvingolven voor het zeer schematische model, zijn de veranderingen echter gering. Ook bleek het buiten beschouwing laten van de stroming van de Rotterdamse Waterweg in 4.2.1 geoorloofd.

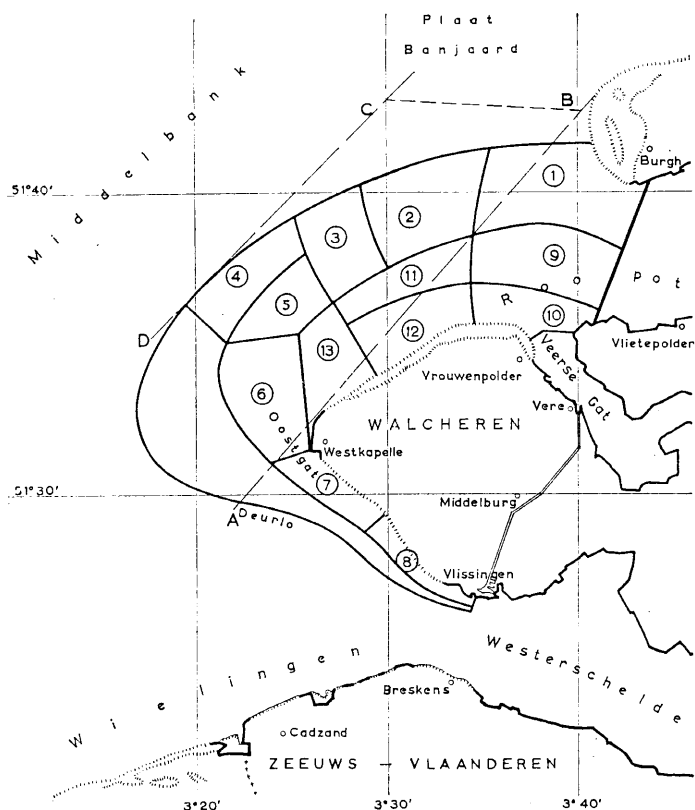
#### **4.4 De berekeningen van de veranderingen van het getij in de mondingen van de zeearmen en nabij de afsluitdammen**

##### *4.4.1 Overzicht van de berekeningen*

In deze paragraaf worden de lokale veranderingen behandeld, die zullen optreden in de getijden van de mondingen van Westerschelde en Oosterschelde en in het zeegebied ten westen van Westkapelle, waarbij de kleine veranderingen in het buitenwaartse Noordzeegetij, welke in de voorgaande paragrafen besproken zijn, buiten beschouwing zullen worden gelaten. De analoge berekeningen in de mondingen van de overige zeearmen worden hier niet nader behandeld. Het gebied van de mondingen van Westerschelde en Oosterschelde en ten westen van Westkapelle, waarop deze berekeningen betrekking hebben, is weergegeven in figuur 4.4.1.

Na ampele overwegingen en controleberekeningen bleek de in deze figuur aangegeven schematisatie in vakken het meest bevredigend. Dit gebied is dan omsloten door een kromme, die vanuit Vlissingen door het Deurlo naar haar buitenmond verloopt en daarna langs de buitengrens van het bankengebied naar het Westgat. Deze geul wordt dan verder gevolgd tot aan het aansluitingspunt van de dam op Schouwen (bij Burgh); daarna wordt de lijn van de toekomstige plaats van de dam gevolgd tot de noordelijke oever van Noord-Beveland (bij een plaats, ongeveer 5 km westelijk van Vlietepolder). Verder wordt het gebied begrensd door de Walcherse oever.

Uitgaande van de gemeten stroomsnelheden op de rand en daarbinnen werd de bestaande getijbeweging in dit gebied berekend. Hierbij was bekend het verticale getij te Vlissingen, terwijl eveneens als gegeven beschouwd werd het getijverloop in de afsluitingslijn van de Oosterschelde, waar het horizontale getij volgens metingen en berekeningen bekend is, evenals het verticale getij te Westkapelle voor de bestaande toestand. Met behulp van deze gegevens, waarvan het aantal groter was dan nodig voor de eigenlijke berekening van het getij in het gebied, konden de resultaten van de berekeningen nader getoetst worden.



Figuur 4.4.1. De schematisatie van het gebied van de mond van de Oosterschelde en van de geulen langs het eiland Walcheren voor de getijberekening

Het verloop van het verticale getij op de buitengrens van het gebied werd apart berekend met behulp van de snelheden, die in bepaalde punten van de randkromme zijn gemeten. Hierbij is de vergelijking voor het verval

$$\Delta h = \left[ -\frac{\partial \bar{v}_s}{\partial t} + \Omega \bar{v}_n - \frac{g |\bar{v}| \bar{v}_s}{C^2 a} \right] \frac{\Delta s}{g}$$

toegepast, nadat de kromme door een aantal koorden benaderd is. Op ieder lijnstuk werden met behulp van de snelheidsmetingen de gemiddelde snelheden  $\bar{v}_s$  langs de koorde en  $\bar{v}_n$  loodrecht daarop, bepaald. Verder is  $|\bar{v}|$  de gemiddelde absolute waarde van de gemeten snelheden in de punten van de koorde.

Daarna werd de berekening herhaald bij afgesloten Oosterschelde. De waterbeweging in de verschillende vakken van figuur 4.4.1 verandert dan in zeer belangrijke mate, vooral nabij de dam (vakken 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12). In deze vakken vervalt de stroming naar de zeearm en moet alleen het gebied binnen de lijn AB, die de koppen van Walcheren en Schouwen verbindt, nog gevuld en geleidigd worden. Buiten deze lijn doet zich de invloed van de getijbeweging in de Noordzee gevoelen, die langs de kust bij vloed van zuidwest naar noordoost gericht is.

De waterbeweging in het ten westen van de lijn AB gelegen gebied is een superpositie van de stroming naar het binnengebied en van die welke teweeggebracht wordt door de getijbeweging in de Noordzee. Voor de berekening van het getij in dit gebied is verondersteld, dat de getijbeweging in het aansluitende gebied van de Noordzee buiten de lijn CD in eerste instantie ongewijzigd blijft en dat dit ook het geval is met de verticale getijbeweging te Vlissingen en in het Deurlo.

Ten slotte werd aangenomen, dat de stroming over de ondiepe Banjaard, die ten westen van Schouwen is gelegen en die het beschouwde gebied in het noorden begrenst, kan worden bepaald door aan te nemen, dat daar de verhangen gelijk zijn aan die langs de lijn CD ter plaatse van de buitenrand

van de Banjaard. Indien deze veronderstelling slechts gedeeltelijk juist zou zijn, kan dit weinig effect hebben op de resultaten van de berekeningen, daar de waterbeweging over de ondiepe Banjaard relatief gering is.

Met behulp van de voornoemde veronderstellingen is de waterbeweging in het gebied van figuur 4.4.1 te berekenen. Daar in de vakken 1, 9 en 10 de waterbeweging door de geulen hoofdzakelijk naar de dam is gericht, verloopt hier de berekening zeer eenvoudig. Ook in het Oostgat tot aan Westkapelle is dat het geval.

De getijbeweging in de overige vakken is gecompliceerder, ook na de afsluiting van de Oosterschelde, omdat de dwarsnelheden bij hogere waterstanden in deze vakken niet verwaarloosd mogen worden. De vervallen in lengte- en dwarsrichting zijn berekend met behulp van de bewegingsvergelijkingen en de continuïteitsvergelijking.

Over de berekeningswijze, die niet in detail wordt weergegeven en waarvan de theorie in 2.2.6 is behandeld, wordt opgemerkt, dat eerst de getijvoortplanting in de geulen van de vakken 9, 10, 11, 12 en 13 berekend werd door te veronderstellen, dat vanwege hun ligging nabij de Walcherse oever de dwarsnelheden bij eerste benadering te verwaarlozen klein zijn. Daarna werd de getijbeweging met de bijbehorende waterbeweging in de naastliggende vakken 1, 2, 3, 4, 5 en 6 zodanig bepaald, dat aan de gegevens op de randen voldaan werd. Immers, op de grenzen met de vakken 9, 11 en 13 is de verticale getijbeweging volgens het eerste deel van de berekening bekend, terwijl dit ook het geval is op de buitengrenzen in verband met de veronderstellingen.

Na de eerste voorlopige oplossing werd de getijbeweging in het gehele systeem van vakken opnieuw berekend, waarbij dan de nodige correcties schattenderwijs werden aangebracht, totdat een oplossing werd bereikt, die aan alle gestelde voorwaarden in voldoende mate voldeed.

#### 4.4.2 Resultaten van de berekeningen

Door de afsluiting zullen de H.W.-standen bij de dam in de Oosterschelde ongeveer 20 cm hoger worden en de L.W.-standen 15 cm lager. De H.W.-stand te Burgh op Schouwen zal iets meer stijgen dan die te Vlietepolder op Noord-Beveland.

Bij de bestaande toestand zijn de H.W.-standen te Burgh en Vlietepolder resp. N.A.P. + 1,4 m en N.A.P. + 1,5 m; vermoedelijk is het onderlinge verschil in H.W.-stand enkele centimeters kleiner. Het verschil in H.W.-stand bij de bestaande toestand tussen deze beide plaatsen is hoofdzakelijk een gevolg van de invloed van de kracht van Coriolis, omdat bij hoogwater nog een belangrijke vloed-snelheid in deze lijn voorkomt.

Na de afsluiting worden de snelheden in de nabijheid van de dam zo klein, dat de Corioliskrachten praktisch te verwaarlozen zijn, zodat de onderlinge verschillen in H.W.-standen dan nog slechts enkele centimeters zullen bedragen. In verband hiermede zal de verhoging van de H.W.-stand bij Burgh enkele centimeters meer zijn dan die te Vlietepolder.

Ook de H.W.-standen te Westkapelle kunnen door de verandering van de waterbeweging in de mond van de Oosterschelde enkele cm hoger worden. Bij de bestaande toestand is de H.W.-stand te Westkapelle ongeveer N.A.P. + 1,7 m. Na uitvoering van de afsluitingen zullen de H.W.-standen te Burgh en Vlietepolder hiervan niet meer in belangrijke mate gaan verschillen. De H.W.-stand te Burgh zal dan ongeveer 5 cm lager worden dan die te Westkapelle.

De belangrijke verhoging van de H.W.-standen bij de dam ontstaat, doordat de verlaging komt te vervallen, die optreedt als gevolg van de bestaande vloedstroming naar de Oosterschelde, waarbij de weerstandskrachten evenwicht moeten maken met een binnenwaarts gericht verval. Na de afsluiting zijn de weerstandskrachten daar te verwaarlozen.

Bij deze berekeningen is verondersteld, dat de getijlijn te Vlissingen onveranderd blijft. In verband met de geringe toename van de H.W.-stand te Westkapelle kan deze veronderstelling als gerechtvaardigd worden beschouwd. Bovendien wordt de getijbeweging in de lijn Vlissingen-Breskens vooral beïnvloed door die in de Wielingen, ten opzichte waarvan het vloedvolume van het Oostgat belangrijk kleiner is.

Over de wijzigingen in de waterbeweging in het gebied ten westen van Westkapelle beperken we ons alleen tot de veranderingen in het Oostgat, in verband met de betekenis van deze geul voor de scheepvaartbeweging.

In 3.2 is opgemerkt, dat vooral de buitenmond van het Oostgat onder invloed staat van de bestaande stroming naar de Oosterschelde. Daar zullen dus de belangrijkste veranderingen optreden.

Volgens de berekeningen zullen de maximale vloed- en ebsnelheden met ongeveer 25% kunnen afnemen. Anderzijds zullen ook de dwarsstromen, die bij de bestaande toestand gedurende ongeveer acht uur van het getij over deze geul trekken, in belangrijke mate afnemen, speciaal bij vloed. Deze dwarsstromen zijn een gevolg van de bestaande vloedstroming in de richting van de Oosterschelde. Door het zwakker worden van deze dwarsstromen kan de buitenmond van de Oostgeul na de afsluiting wellicht beter op diepte blijven.

#### **4.5 De gecombineerde resultaten van de berekeningen betreffende de veranderingen van de getijbeweging langs de kust ten gevolge van de afsluitingen**

Voor de bepaling van de veranderingen in de getijbeweging langs de Nederlandse kust door de afsluitingen werden dus twee groepen van berekeningen uitgevoerd, respectievelijk voor de veranderingen van het getij in de Noordzee (zie 4.2 en 4.3) en voor de locale invloeden door de wijzigingen in de waterbeweging in de nabijheid van de afsluitingen en in de monden van de zeearmen (zie 4.4). Voor de totale veranderingen, die de gemiddelde H.W.-standen te Vlissingen, Westkapelle en bij de Oosterschelde zullen ondergaan, moeten de resultaten van de berekeningen, die vermeld zijn in 4.2.2, 4.3 en 4.4.2 worden gecombineerd.

Volgens 4.4.2 zullen de H.W.- en L.W.-standen te Vlissingen bijna niet beïnvloed worden door de veranderingen van de stromen in het overgangsgedebied van de Oosterschelde en de Westerschelde, dat onmiddellijk westelijk van Westkapelle is gelegen. Ze kunnen echter wel enige wijziging ondergaan door de veranderingen van de getijbeweging in de Noordzee buiten het mondingsgebied van de Westerschelde (zie 4.2.2). Hierdoor kan de H.W.-stand te Vlissingen een weinig lager worden en de L.W.-stand een weinig hoger. In ieder geval is een vergroting van het getij te Vlissingen door de afsluiting der zee-gaten uitgesloten.

De verandering van de H.W.-stand te Vlissingen door de afsluiting van de zee-gaten zal hoogstens van dezelfde orde zijn als de tienjaarlijkse veranderingen, die in het verleden werden aangetroffen. Terwijl de H.W.-standen te Vlissingen door de afsluitingen een weinig lager kunnen worden, zijn ze in het verleden hoger geworden, zoals blijkt uit de volgende opgave: 1901-1910: + 1,79 m; 1911-1920: + 1,79 m; 1921-1930: + 1,84 m; 1931-1940: + 1,86 m; 1941-1950: + 1,88 m. Deze verhogingen zijn het gevolg geweest van de profielsverruiming op de Westerschelde, speciaal op het traject Hansweert-Antwerpen.

Door de verhoging van de H.W.-standen bij de afsluitdam in de Oosterschelde kan volgens 4.4.2 de H.W.-stand te Westkapelle enkele centimeters hoger worden. Anderzijds kunnen, door de afname van de snelheden en dus van de Corioliskrachten, in het Noordzeegebied ten westen van het platengebied (bij Westkapelle) de H.W.-standen te Westkapelle een weinig dalen.

In verband met het globale karakter van de berekeningen en de kleine waarden van de berekende veranderingen, is het moeilijk om aan te geven, welke invloed het belangrijkste is. Een geringe daling van de H.W.-stand te Westkapelle lijkt het waarschijnlijkst.

In 4.4.2 is gevonden, dat de H.W.-standen bij de afsluitdam in de Oosterschelde met ongeveer 20 cm zullen stijgen als gevolg van de verandering van de getijkrachten in de monding nabij de dam. Door de kleine wijzigingen in het getij op de Noordzee kan deze verhoging weer een weinig geringer worden. Het is waarschijnlijk, dat de H.W.-stand te Burgh ongeveer 5 cm lager zal worden dan die te Westkapelle. Bij Vlietepolder zal dit verschil tot een paar cm beperkt blijven.

Bij de afsluitdam in het Brouwershavense Gat zal de verhoging van het H.W. wat lager zijn dan bij de afsluitdam in de Oosterschelde in verband met de vermoedelijk meer zee-waartse ligging van deze dam. Hier zal de verhoging 10 à 15 cm bedragen en de H.W.-stand praktisch gelijk worden aan de gemiddelde waarde van de H.W.-standen van de koppen van Schouwen en Goeree. Dit zal ook het geval zijn met de L.W.-standen, indien geen belangrijke aanzandingen optreden.

Bij de dam in het Haringvliet, die verder binnenwaarts ligt dan de voornoemde dammen, zal de verhoging weer belangrijker zijn. Overigens is de situatie hier gecompliceerder door de lozing die zal plaats hebben door de in deze dam te bouwen uitwateringssluizen, waardoor ook een gewijzigd geulensstelsel zal ontstaan. Bij H.W. zullen echter de sluisen steeds gesloten zijn. Door de invloed van de traagheidskrachten bij H.W. zullen de H.W.-standen bij de sluisen ongeveer 5 cm hoger worden dan de gemiddelde waarden van de H.W.-standen te Goeree en bij Rockanje op Voorne. Over de verande-

ring van de L.W.-standen is door het nog niet vaststaande lozingsprogramma geen uitspraak te doen. Vermoedelijk zal de L.W.-stand daar vrij belangrijk hoger worden.

Over de veranderingen van de H.W.-standen bij de koppen van de eilanden, dus bij Repart, Goeree, Oostvoorne en Hoek van Holland, zijn door de studie van 4.3 nadere inlichtingen verkregen. Indien de H.W.-stand te Westkapelle een paar cm zal dalen, zal die te Hoek van Holland waarschijnlijk met enkele centimeters toenemen. Voor de andere genoemde plaatsen zullen de veranderingen tussen deze uitersten in komen te liggen.

## **5.0 DE VERANDERINGEN, DIE DE STORMVLOEDSTANDEN BUITEN DE AFSLUITDAMMEN ZULLEN ONDERGAAN**

### **5.1 Inleiding**

De stormvloedstanden buiten de afsluitdammen zullen wijzigingen ondergaan als gevolg van de volgende invloeden:

1. De waterstanden buiten het mondingsgebied van de zeearmen, zeewaarts van de verbindingslijn van de koppen van de eilanden, zullen, evenals bij de normale getijbeweging, veranderen als gevolg van de gewijzigde stroming langs de kust. Hierdoor veranderen ook de waterstanden bij de dammen (indirecte invloed).
2. Evenals bij het normale getij veranderen door de afsluitingen de dynamische effecten (de traagheids- en weerstandskrachten en de kracht van Coriolis) bij de voortplanting van de stormvloedgolf in het mondingsgebied (directe invloed).
3. De lokale windkrachten veroorzaken verhoging van de waterstanden tegen de afsluitdammen (opwaaiingseffect). De wind stuwt het water namelijk tegen de dam op tot een verhang is ontstaan, dat evenwicht maakt met de door de wind uitgeoefende schuifkrachten. Bij de bestaande toestand met open zeearmen veroorzaken de windkrachten echter een waterbeweging gericht naar de zeearm.

Om de voornoemde invloeden te kunnen bepalen, zou bij een storm de waterbeweging naar de open zeearm en in het gebied ten westen van Westkapelle bekend moeten zijn en bij de afgesloten toestand de waterbeweging in het mondingsgebied tot aan de dam. Wegens gebrek aan gegevens over deze waterbeweging is het nog minder dan bij de normale getijbeweging mogelijk om de wijzigingen, die als gevolg van de afsluitingen zullen optreden, nauwkeurig te berekenen.

De grootte van de verschillende effecten, die in het voorgaande zijn genoemd, is uiteraard ook afhankelijk van de stormvloedkromme, waarin belangrijke variaties kunnen voorkomen. In verband hiermede werden verschillende stormen beschouwd, die in het verleden zijn voorgekomen.

Voor de Oosterschelde zijn bij verschillende, in het verleden voorgekomen stormen de hoogwaterstanden, in het vervolg stormvloedstanden genoemd, gemeten bij Westkapelle en bij Vlietepolder. Voorts zijn stormvloedkrommen gemeten te Zierikzee, Brouwershaven, Hellevoetsluis en Hoek van Holland.

De onderzoeken werden uitgevoerd voor de stormen, die zijn voorgekomen in 1916, 1928, 1936, 1943, 1949, 1953 en 1956. In het volgende wordt het vraagstuk voor het geval van de afsluiting van de Oosterschelde meer in detail behandeld. De getijcapaciteit van deze zeearm is belangrijk groter dan die van de overige af te sluiten zeearmen en deze afsluiting zal derhalve de belangrijkste gevolgen hebben.

### **5.2 Gegevens over de stormvloedstanden, die in het verleden zijn voorgekomen**

In tabel 5.2.1 zijn de gemeten stormvloedstanden opgegeven voor de verschillende plaatsen in de monden van de zeearmen en in tabel 5.2.2 de maximale windsnelheden, die bij deze stormen vermoedelijk zijn voorgekomen in de nabijheid van de kust, volgens de waarnemingen te Vlissingen en te Den Helder.

Tabel 5.2.1  
Enige stormvloedstanden bij plaatsen aan de kust

Plaats	Stormvloedstanden in cm boven N.A.P.						
	1916	1928	1936	1943	1949	1953	1954
Westkapelle . . . . .	350	370	340		360	435	322
Vlietepolder . . . . .	350	336	317	360	350	435	335
Zierikzee . . . . .	347	364	312	370	347	432	355
Brouwershaven . . . . .	334	328	306	314	307	425	332
Hellevoetsluis . . . . .	333	330	289	303	303	410	345
Hoek van Holland . . . . .	300	296	274	268	270	385	300

Tabel 5.2.2  
Hoogste windsnelheden te Vlissingen en Den Helder bij enige stormvloeden

Plaats	Hoogste windsnelheden in m/sec, die ten minste twintig minuten achtereen zijn voorgekomen						
	1916	1928	1936	1943	1949	1953	1954
Vlissingen . . . . .	12	15	10	18	17	20	18
Den Helder . . . . .	29	24	22	21	29	26	26

Uit deze gegevens blijkt, dat – afhankelijk van de vorm van de voorgekomen stormvloed – grote verschillen voorkomen tussen de stormvloedstanden te Westkapelle en te Vlietepolder, respectievelijk gelegen aan de buiten- en binnenzijde van het mondingsgebied van de Oosterschelde. Opmerkelijk is, dat deze verschillen bij zware stormen van lange duur, zoals die van 1916, 1953 en 1954, belangrijk geringer zijn dan bij de overige stormen.

Voorts valt het op, dat de verschillen in de opgegeven windsnelheden tussen de waarnemingsstations te Vlissingen en te Den Helder zeer belangrijk zijn. De windsnelheden te Den Helder zijn in het algemeen belangrijk hoger en moeten voor die op de Noordzee als meer representatief worden beschouwd in verband met de plaats van de windsnelheidsmeters bij de genoemde waarnemingsstations.

Volgens de inlichtingen van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (K.N.M.I.) te De Bilt was de stand van de windsnelheidsmeter te Den Helder vóór 1941 ook niet volledig representatief voor de windsnelheden op de Noordzee. In verband hiermede zijn voor de stormen, die vóór 1941 zijn voorgekomen, de door het K.N.M.I. gecorrigeerde waarden opgegeven.

Door het K.N.M.I. werd een onderzoek ingesteld naar de frequenties van het voorkomen van hoge windsnelheden aan de Noordzeekust. Hierbij werden de gegevens van het waarnemingsstation Den Helder nader beschouwd, nadat correcties aangebracht waren als hiervoren is vermeld. Hoewel het materiaal, met behulp waarvan de frequentiekromme moest worden samengesteld, schaars is, bleek wel, dat windsnelheden groter dan 30 m/sec zeldzaam zijn; zij zijn in 50 jaar slechts tweemaal gedurende minstens twintig minuten voorgekomen. Voor windsnelheden groter dan 35 m/sec is deze frequentie zelfs van de orde van éénmaal in 300 jaar.

### 5.3 De wijzigingen in de waterstanden in het Noordzeegebied gedurende een storm

In de voorgaande paragrafen is behandeld, in welke mate wijzigingen in de waterstanden bij de normale getijden buiten het mondingsgebied kunnen optreden door de afsluiting van de zeegaten. Deze wijzigingen bleken gering te zijn en zich tot enkele centimeters te beperken. Over het analoge vraagstuk bij stormvloeden wordt het volgende opgemerkt.

Voor de normale getijden bleek het reeds moeilijk, in verband met de beperkte gegevens, om nauwkeurige berekeningen op te stellen. Dit geldt voor de stormvloed in nog belangrijkere mate. Over het verloop van waterstanden en stroomsnelheden in het aansluitende Noordzeegebied is niets bekend, behoudens dan de hoogste stormvloedstanden bij Westkapelle en enige andere kustplaatsen. Toch is het mogelijk om met behulp van de volgende redenering enig inzicht te verkrijgen in de orde van grootte van de veranderingen, die de waterstanden in het zeegebied bij bepaalde stormen kunnen ondergaan.

Door de windkrachten wordt de waterspiegel in de Noordzee gedurende een storm verhoogd. De getijbeweging, die van de astronomische invloeden afhankelijk is, blijft echter haar invloed uitoefenen, zodat door de combinatie van beide effecten de bewegingen van de waterspiegel beheerst worden. Bij langdurige stormen kan het dan voorkomen, dat de door de windkrachten veroorzaakte opstuwing in het zuidelijke bekken van de Noordzee in meerdere of mindere mate een evenwichtstoestand bereikt, afgezien van de invloed van de stroming door het Nauw van Calais, die een storende invloed kan uitoefenen. Deze laatste invloed is echter van beperkte betekenis voor de waterbeweging langs de Nederlandse kust. Zodra de door de windkrachten veroorzaakte maximaal mogelijke opzet vrijwel bereikt is, keren de omstandigheden, zoals die zich bij normaal getij voordoen, weer enigszins terug. Het getij is dan op de door de windkrachten veroorzaakte hogere waterstand gesuperponeerd.

Er is vermoedelijk meer kans, dat een zeer hoge stormvloedstand wordt bereikt door het samenvallen van astronomisch hoogwater met het hoogste stormeffect bij betrekkelijk hoge windkrachten, dan door het samentreffen van een andere fase van het getij met het maximum stormeffect bij hogere windkrachten.

Bij deze veronderstelling zal in een periode vóór en na het bereiken van de stormvloedstand de waterbeweging vooral worden bepaald door die, welke door het getij wordt veroorzaakt.

Als voorbeeld wordt in tabel 5.3.1 het verloop van de stormvloedstanden van de stormvloed 1953 vermeld. Uit deze tabel blijkt, dat de tijdstippen van de maximale stormvloedstand niet in belangrijke mate verschillen van de voorspelde tijdstippen van het astronomische getij.

Tabel 5.3.1

Tijdstippen en waterstanden van het voorspelde astronomische getij en van de opgetreden stormvloed van 1 februari 1953

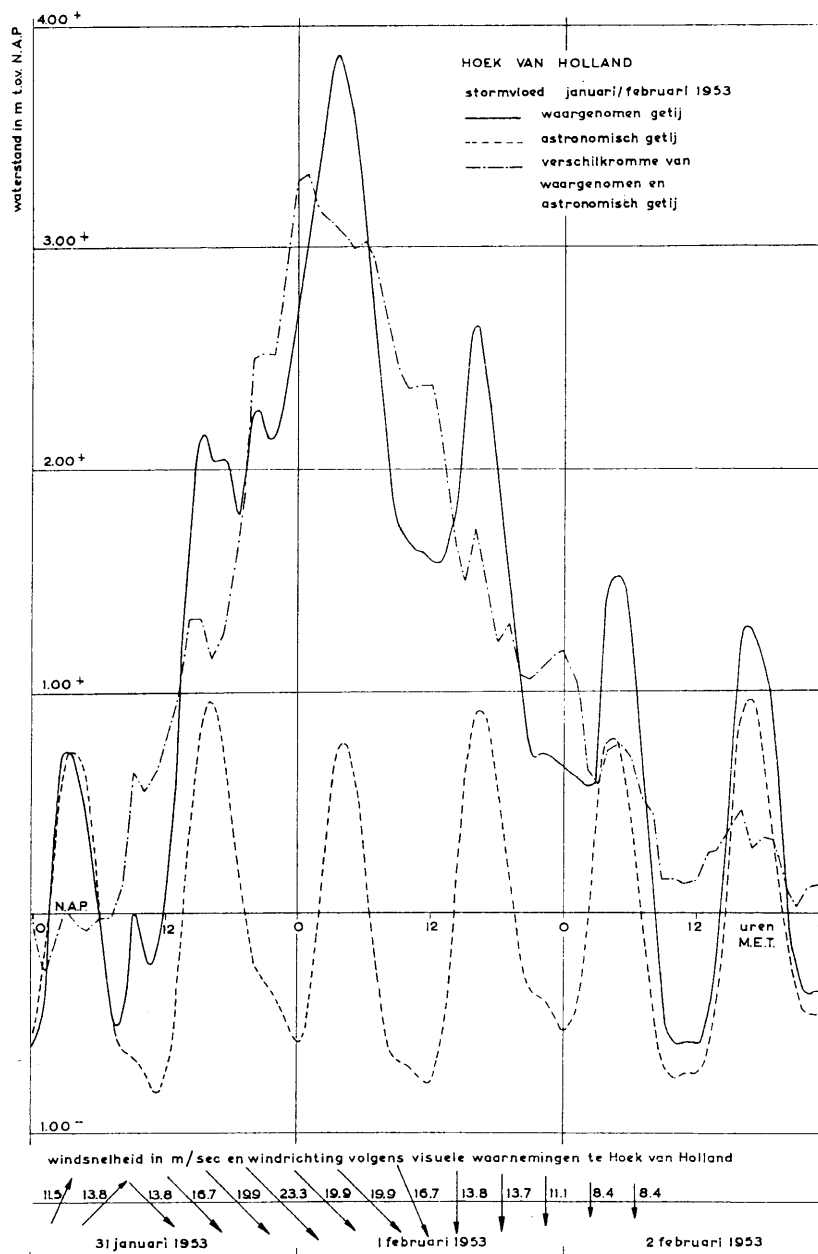
Plaats	Tijdstippen in uren M.E.T.		Waterstanden in cm boven N.A.P.	
	H.W. astronomisch getij	Maximale stormvloedstand	H.W.-stand astronomisch getij	Stormvloedstand
Vlissingen . . . . .	03.24	03.25	195	455
Westkapelle . . . . .	03.10	03.15	176	435
Hellevoetsluis . . . . .	05.18	04.30	94	410
Hoek van Holland . . . . .	04.30	04.20	81	385

Dit wijst er op, dat bij deze stormvloed in een periode vóór en na de tijdstippen van de stormvloedstanden in de Noordzee nabij het deltagebied als gevolg van de windkrachten geen belangrijke veranderingen in de waterstanden zijn voorgekomen, maar dat deze vooral door het getij werden veroorzaakt. Dit blijkt nog nader uit een vergelijking van het verloop van de stormvloed 1953 met het astronomische getij, welke in figuur 5.3.1 voor Hoek van Holland is weergegeven. In deze figuur is ook het verschil aangegeven tussen de opgetreden waterstanden en die van het astronomische getij.

Opgemerkt wordt nog, dat dit verschil niet geheel wordt veroorzaakt door de windkrachten. Ook de voortplanting van het getij wordt beïnvloed door de waterbeweging als gevolg van de windeffecten. De betekenis hiervan is echter niet zo groot, dat het hiervoren gestelde, dat in de omgeving van de stormvloedstanden de veranderingen van de waterstanden door de windkrachten niet belangrijk zijn, blijft gelden.

Volgens tabel 5.3.1 zijn de onderlinge verschillen het grootst te Hellevoetsluis. De toestand daar wordt echter ook in belangrijke mate bepaald door de waterbeweging op het Haringvliet.



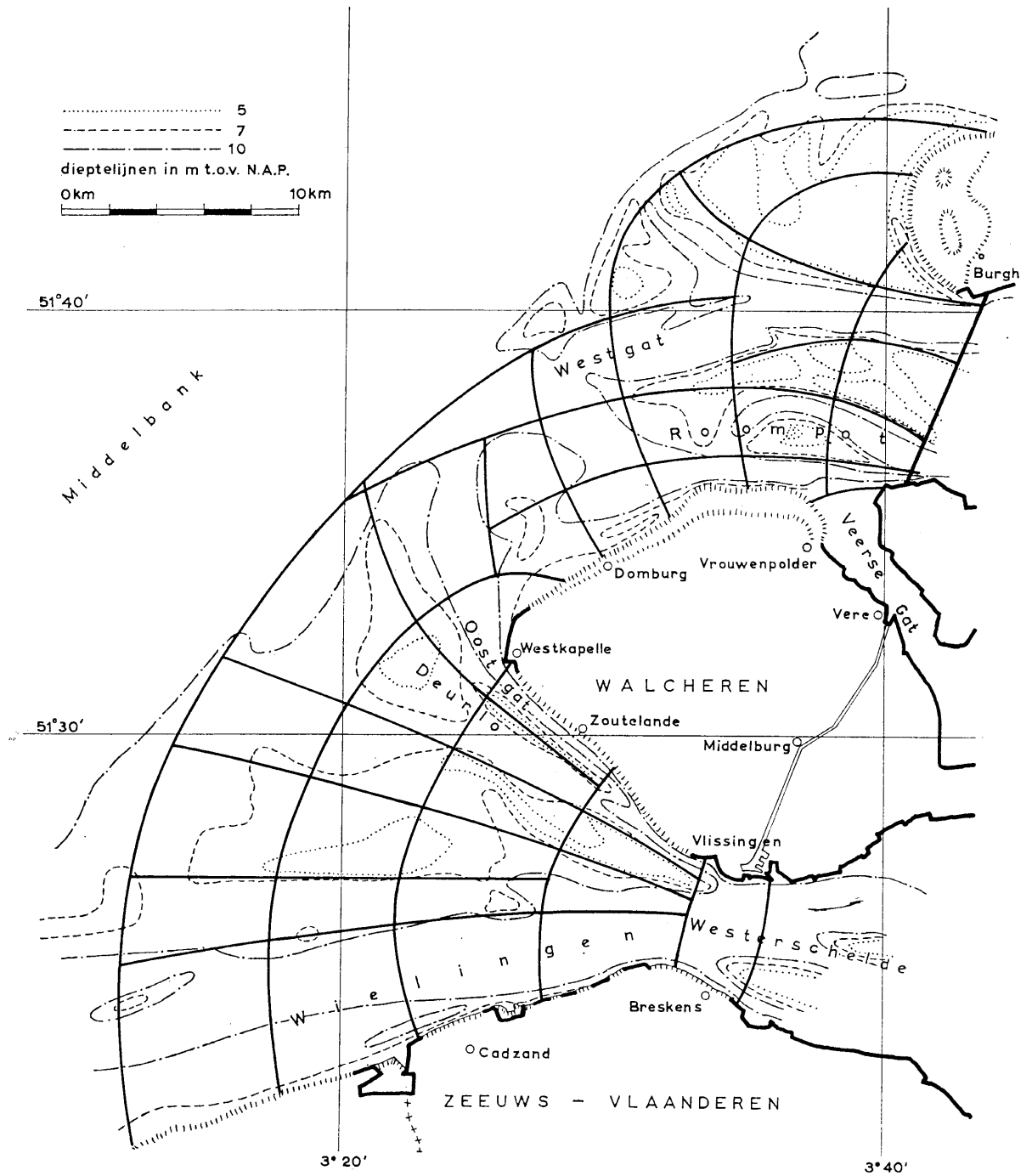


Figuur 5.3.1. Het verloop van de stormvloed 1953 en van het astronomisch getij te Hoek van Holland

Om een inzicht te verkrijgen in het verloop van de snelheden bij een stormvloed werd getracht met behulp van berekening de waterbeweging in het mondingsgebied van de Oosterschelde vóór en na de stormvloedstand van 1 februari 1953 te berekenen. In figuur 5.3.2 is een overzicht gegeven van de opgestelde schematisatie voor de berekening van de stormvloed in dit mondingsgebied.

Uit de berekening blijkt, dat de snelheden in het ondiepe kustgebied en de monding wat kleiner zijn geweest, dan die, welke zouden zijn voorgekomen bij het astronomische getij van die dag. Dit is een gevolg van de grotere waterdiepten en grotere breedten van de stroomvoerende profielen, daar de totale maximum vloedstroom bij de plaats van afsluiting ongeveer dezelfde bleek te zijn als die bij het astronomische getij.

Wel is de kentering van vloed naar eb een half uur vroeger opgetreden dan normaal; ze is op de plaats van afsluiting vermoedelijk drie kwartier na de stormvloedstand opgetreden.



Figuur 5.3.2. De schematisatie van het gebied van de monden van de Oosterschelde en de Westerschelde voor de berekening van de stormvloed 1953

Uit figuur 5.3.1 blijkt, dat de getijrijzingen en -dalingen van de waterstanden direct vóór en direct na de stormvloedstand overeenkomstig waren met die van het astronomische getij. Dit verklaart mede de relatief kleine stromen, die bij deze hoge stormvloed zijn voorgekomen, waarbij tevens de grotere diepte een rol speelt.

Het maximale stormeffect bij deze stormvloed is te Vlissingen ongeveer 2 uur vóór het tijdstip van de stormvloedstand voorgekomen en te Hoek van Holland  $3\frac{1}{2}$  uur, terwijl het daarna langzaam is gaan afnemen. Vooral gedurende het aangroeien van het stormeffect tot zijn maximum zal het verloop van de snelheden in de Noordzee en in de buitenmond van de zeearmen afwijkend geweest zijn van dat bij de normale toestand.

In het algemeen blijken echter de stromen, opgewekt door de windkrachten, van geringere betekenis te zijn dan de getijstromen, daar de maximale variaties in de waterstanden per uur als gevolg van de windkrachten kleiner zijn dan die, veroorzaakt door het getij.

De afsluiting van de zeearmen zal het snelheidsverloop voor de kust beïnvloeden en dus ook de stormvloedstanden veranderen.

De bestaande stroming naar de zeearmen zal tot gevolg hebben, dat in het zeegebied vóór het deltagebied de evenwichtstoestand, waarbij de windkrachten geen verdere rijzing van de waterstanden veroorzaken en dus de maximaal mogelijke opzet bereikt is, later zal voorkomen dan in het geval van de afgesloten zeearmen. De hoogte van de maximaal mogelijke opzet in de Noordzee zelf wordt echter niet beïnvloed door het al of niet gesloten zijn van de zeearmen, daar ze hoofdzakelijk van de windkrachten boven de Noordzee afhankelijk is.

Uit het voorgaande volgt, dat voor stormen van lange duur, zoals in 1953 is voorgekomen, waarbij op het moment van astronomisch hoogwater de evenwichtstoestand voor de opzet reeds bereikt is, de veranderingen in de stormvloedstanden buiten de kustlijn analoog zijn aan die van het astronomische getij.

In de aanvangsfase van de storm kunnen echter belangrijkere verhogingen in de waterstanden ontstaan in het zeegebied voor de zeearmen als gevolg van de afsluitingen vanwege de dan snellere convergentie naar de maximaal mogelijke opzet van de windkrachten.

In de volgende paragraaf worden de locale effecten als gevolg van de afsluitingen op de stormvloedstanden besproken.

#### 5.4 De verhoging van de stormvloedstanden bij de afsluitdammen door de veranderde invloeden in het mondingsgebied van de zeearmen

##### 5.4.1 De opwaaiingseffecten bij de afsluitdammen

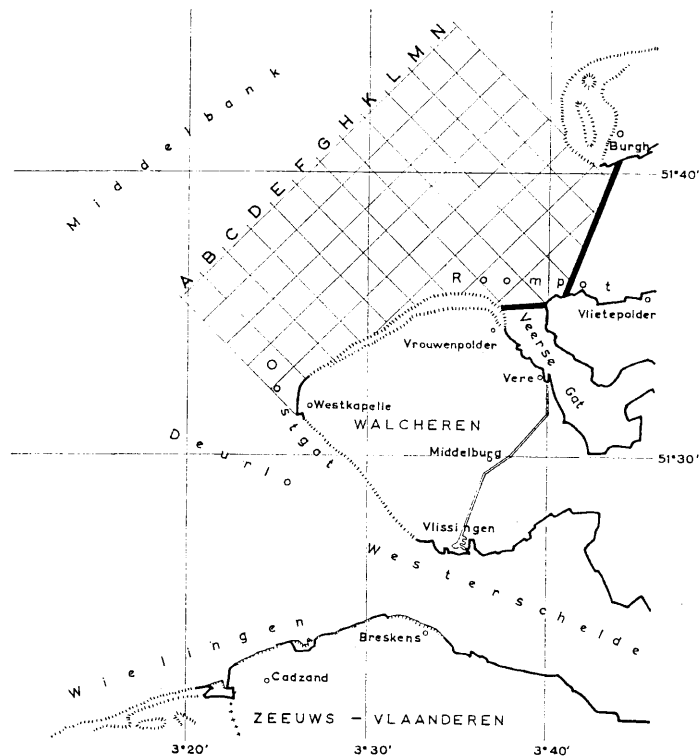
De wind, die een schuifkracht op het wateroppervlak uitoefent, zal het water opstuwen tegen de dam tot een verhang is ontstaan, dat evenwicht hiermede maakt. Vóór de afsluiting doet de windkracht de stroming naar de zeearm toenemen. Ze maakt dan evenwicht met de dynamische krachten (de weerstandskrachten en de traagheidskrachten).

Uit de ervaring is bekend, dat het opwaaiingsverhang vóór een dam kan worden berekend met behulp van de formule  $i = 0,035 \frac{V^2}{a}$  ( $V$  = loodrecht op de dam staande component van de windsnelheid in m/sec;  $a$  = de diepte in m;  $i$  = verhang, uitgedrukt in cm per km) [5].

Voor de zeewaartse grens van het gebied, dat betrokken is bij de berekening van de opwaaiing tegen de dam, is de buitengrens van het bankengebied aangenomen. Voor de Oosterschelde wordt deze ongeveer bepaald door de geul, waarin Roompot en Westgeul uitmonden. Meer zeewaarts zal door de grotere diepte het opwaaiingseffect voor de bepaling van de opwaaiing tegen de dam van geringe betekenis zijn. Voorts is de berekening eerst uitgevoerd bij een waterstand van N.A.P. + 4 m en bij een noordwestelijke windrichting, terwijl de windsnelheid op 30 m/sec werd gesteld. Verder werd verondersteld, dat de windkrachten een voldoende lange tijd werkzaam zijn geweest om het maximum-effect teweeg te brengen.

In figuur 5.4.1 is het vakkenschema voor de berekening weergegeven voor het mondingsgebied van de Oosterschelde.

In ieder vak werd een gemiddelde diepte bepaald en daarbij het opwaaiingsverval berekend. Het totale opwaaiingsverval wordt dan verkregen door sommatie van de vervallen in de verschillende vakken in de richting van de wind. Voor de Oosterscheldemonde wordt dan gevonden, dat dit verval tot aan de dam ongeveer 45 cm zal bedragen en bij de Walcherse oever ten noorden van Westkapelle, die ongeveer loodrecht op de windrichting staat, ongeveer 25 cm. De stormvloedstand bij Westkapelle zal dus ongeveer 20 cm lager zijn dan bij de dam als gevolg van de opwaaiing.



Figuur 5.4.1. De vakindeling voor de berekening van de opwaaiing bij afgesloten Oosterschelde

Voor de Oosterschelde, het Brouwershavense Gat en de mond van het Haringvliet zijn deze cijfers vermeld in tabel 5.4.1.

Tabel 5.4.1  
De opwaaiing bij de afsluitdammen bij een stormvloedstand van N.A.P. + 4 m

Plaats	Totale opwaaiing in cm voor de dam bij windsnelheid 30 m/sec	Vershil in opwaaiing in cm bij de dam en in de lijn van de koppen van de eilanden
Oosterschelde . . . . .	45	20
Brouwershavense Gat . . . . .	50	25
Mond Haringvliet . . . . .	55	30

Indien bij een stormvloedstand van N.A.P. + 4 m een windsnelheid van 35 m/sec zou voorkomen, zou de opwaaiing tegen de dammen ruim 30% groter zijn.

Bij lagere stormvloedstanden en een zelfde windkracht is de opwaaiing tegen de dam groter vanwege de geringere diepte en bij hogere stormvloedstanden kleiner. Zo zal bij een stormvloedstand van N.A.P. + 5 m de totale opwaaiing bij de dam ruim 40 cm zijn, weer bij een windsnelheid van 30 m/sec. Bij de stormvloed van 1949, waarvan de stormvloedstand te Vlissingen N.A.P. + 3,82 m bedroeg, is bij Den Helder een windsnelheid van 29 m/sec voorgekomen. Dit geval is dus vergelijkbaar met dat in de tabel.

Bij de stormvloed van 1953 zou de relatieve opwaaiing bij de dam in de Oosterschelde ten opzichte van die bij de Walcherse oever te Westkapelle ongeveer 20 cm hebben bedragen, indien de windsnelheid op 25 m/sec wordt gesteld, en slechts 13 cm, indien de te Vlissingen gemeten windsnelheid van 20 m/sec wordt aangenomen.

#### 5.4.2. *De verhoging van de stormvloedstanden ter plaatse van de afsluitdam in de Oosterschelde voor de stormvloed van 1953*

De dynamische krachten, namelijk de traagheidskrachten, de Coriolis- en de weerstandskrachten, veranderen gedurende de stormvloed, doordat door de afsluiting van de zeegaten de waterbeweging beperkt blijft tot het mondingsgebied, dat door de dammen begrensd wordt. Voor normaal getij is in 4.2 de invloed van de wijzigingen van de dynamische krachten door de afsluitingen meer uitvoerig bestudeerd, terwijl de corresponderende veranderingen van de H.W.-standen berekend werden. Doordat het verloop van de voorkomende stormvloeden onderling zeer verschillend is, zullen de veranderingen in de stormvloedstanden van geval tot geval verschillen.

Voor de stormvloed van 1953 werd de verandering berekend van de stormvloedstand bij de dam van de Oosterschelde. Hiervoor werd de waterbeweging berekend in het mondingsgebied van deze zeearm binnen de lijn, die de kop van Walcheren met die van Schouwen verbindt. Hierbij werden ook de Corioliskrachten in rekening gebracht.

Uit de berekeningen volgde, dat het totale verval ten tijde van de stormvloedstand tussen Westkapelle en de plaats van de afsluiting, dat veroorzaakt wordt door de dynamische krachten en de windkrachten, 14 cm zou hebben bedragen. Dit verval is dan gericht van Westkapelle naar de Oosterschelde. De berekende waterstand ter plaatse van de dam zou dan N.A.P. + 4,21 m zijn geweest, indien te Westkapelle een stormvloedstand van N.A.P. + 4,35 m wordt aangenomen.

Te Vlietepolder, dat 5 km binnenwaarts is gelegen ten opzichte van de plaats van de aan te leggen dam, is de berekende stormvloedstand voor 1953 N.A.P. + 4,31 m, dus 10 cm hoger dan bij de plaats van de dam werd berekend. Hiervan is dan 4 cm afkomstig van de invloed van plaatselijke opwaaiing tegen de oever bij Vlietepolder, doordat de windrichting een kleine component had, die loodrecht op deze oever was gericht. Bij deze stormvloed is uit waarnemingen te Vlietepolder een stormvloedstand afgeleid van N.A.P. + 4,35 m. Gezien de mogelijke onnauwkeurigheid in de waargenomen stormvloedstanden kunnen de resultaten van de berekeningen als bevredigend worden beschouwd.

Daarna werd de berekening herhaald bij afgesloten Oosterschelde. Doordat dan de snelheden belangrijk kleiner zijn, wordt ook de invloed van de Corioliskrachten en de weerstandskrachten kleiner. De traagheidskrachten en de opwaaiing bepalen dan in hoofdzaak het verloop van de stormvloedstanden bij de dam. Volgens de berekeningen zou dan door de invloed van de dynamische krachten de stormvloedstand bij de dam aan de Noordbevelandse oever ongeveer 5 cm hoger zijn dan te Westkapelle. Verder is het opwaaiingsverval tussen Westkapelle en de dam volgens de windgegevens te Vlissingen (20 m/sec) hoogstens gelijk aan 15 cm. De H.W.-stand bij de dam zou dus 20 cm hoger worden dan bij Westkapelle.

Voorts zal bij Burgh aan de Schouwense oever door het verschil in opwaaiingseffect bij noordwestelijke windrichting de stormvloedstand ongeveer 10 cm lager zijn dan aan het zuidelijke uiteinde van de dam, waar de opwaaiingsverhoging het sterkst is. De gemiddelde verhoging van de stormvloedstand bij de dam ten opzichte van die bij de bestaande toestand kan bij deze stormvloed op ongeveer 25 à 30 cm gesteld worden.

Buitenwaarts gaande vanaf de oevers van Walcheren en Schouwen, zal de verhoging van de stormvloedstand door de afsluitingen kleiner worden. Hoe groot de toeneming van de stormvloedstand te Westkapelle en bij de kop van Schouwen zal zijn, is moeilijk vast te stellen in verband met de vele imponderabilia in het verloop van de waterbeweging vóór de kust. Bij het normale getij bleek een kleine verlaging van de H.W.-stand te Westkapelle waarschijnlijk. Bij stormvloeden moet echter aan een kleine verhoging gedacht worden in verband met een kleine toename in de opwaaiing tegen de Walcherse oever ten noordoosten van Westkapelle.

De verhoging van de stormvloedstand bij een storm als in 1953 zou dus bij de dam in de Oosterschelde ongeveer even groot zijn als bij het H.W. van het normale getij. Zoals reeds beredeneerd is, zullen de stormvloedstanden langs de kust door de veranderingen van de waterbeweging in de Noordzee slechts in geringe mate veranderen.

#### 5.4.3 *De verhoging van de stormvloedstanden bij andere stormvloeden als gevolg van de afsluitingen*

Dergelijke uitvoerige berekeningen werden niet uitgevoerd voor andere stormvloeden. Het is echter toch mogelijk gebleken, voor het mondingsgebied van de Oosterschelde een inzicht te verkrijgen in de

orde van grootte van de opwaaiing tegen de dam in de Oosterschelde bij de verschillende in het verleden voorgekomen stormen.

Enige in het verleden waargenomen stormvloedstanden bij Westkapelle en Vlietepolder (5 km meer binnenwaarts gelegen dan de vermoedelijke toekomstige plaats van de afsluiting) zijn gegeven in tabel 5.2.1. Voor onderlinge vergelijking werd voor ieder van deze stormen bij de gemeten windsnelheden het plaatselijke effect van de opwaaiing tegen de oevers bij Westkapelle en Vlietepolder bepaald. Voor de genoemde plaatsen werden de gemeten stormvloedstanden verminderd met deze plaatselijke effecten. Het verschil in de gecorrigeerde stormvloedstanden tussen Westkapelle en Vlietepolder wordt dan veroorzaakt door de dynamische krachten en door de opwaaiing in de richting van de geul, gerekend vanaf de lijn, die de koppen van Walcheren en Schouwen verbindt. In tabel 5.4.2 worden voor verschillende stormen de berekende gecorrigeerde stormvloedstanden en haar verschillen vermeld.

Tabel 5.4.2  
Stormvloedstanden, gecorrigeerd voor plaatselijke windinvloeden

Plaats	Stormvloedstanden in cm boven N.A.P.					
	1916	1928	1936	1949	1953	1954
Westkapelle . . . . .	347	365	338	354	426	318
Vlietepolder . . . . .	345	328	313	340	423	323
Vershil . . . . .	— 2	— 37	— 25	— 14	— 3	+ 5

Volgens deze tabel variëren deze verschillen belangrijk.

Bij de zware en langdurige stormen van 1916 en 1953 waren deze veel kleiner dan bij de stormen, die in 1928 en 1936 zijn voorgekomen. Bij deze laatste stormen moeten ten tijde van hoogwater belangrijke vloedstromen naar de Oosterschelde zijn voorgekomen, omdat de vulling van het Oosterscheldebekken gedurende de storm achtergebleven was, hetgeen in verband staat met de mate van de stijging van de waterstanden, vóórdat de stormvloedstand bereikt wordt.

Er blijkt inderdaad een correlatie te bestaan tussen deze stijging vóór H.W. en het verschil in de stormvloedstand tussen Westkapelle en Vlietepolder bij de verschillende voorgekomen stormen.

In tabel 5.4.3 zijn voor deze verschillende stormen de waterstandsverhogingen te Vlissingen gedurende respectievelijk 2 uur en 3 uur vóór het tijdstip van de stormvloedstand vermeld. Ook is aangegeven de hoogte van het voorafgegane laagwater.

Tabel 5.4.3  
Waterstandsverhogingen in cm vóór het tijdstip van H.W. te Vlissingen

Vlissingen	1916	1928	1936	1943	1949	1953	1954
Stijging in 2 uur . . . . .	145	175	210	150	155	155	125
Stijging in 3 uur . . . . .	200	275	275	300	245	240	215
L.W.-stand . . . . .	— 35	— 100	— 65	— 225	— 35	+ 25	— 90

Uit de vergelijking van de gegevens van tabel 5.4.2 met die van tabel 5.4.3 blijkt inderdaad, dat de genoemde correlatie enigszins aanwezig is.

Bij de stormvloed van 1943 is ook de stijging vóór H.W. zeer belangrijk geweest. De stormvloedstand te Westkapelle is toen echter niet waargenomen, zodat deze stormvloed niet voorkomt in tabel 5.4.2.

Over de verhogingen bij de dam van de Oosterschelde van de andere voorgekomen stormvloedstanden wordt het volgende opgemerkt.

Bij een stormvloed, als in 1916 is voorgekomen en waarbij de maximale windsnelheden ongeveer even groot waren als in 1953, zou de verhoging ongeveer even groot zijn als in 1953.

Grotere verhogingen zullen echter voorkomen bij stormen van het type van 1928 en 1936, in verband met de toen voorgekomen relatief lagere stormvloedstand te Vlietepolder. Deze verhoging kan op 50 tot 60 cm geschat worden. Een dergelijke verhoging zal de stormvloedstand te Westkapelle ook enigszins beïnvloeden en in beperkte mate die te Vlissingen. Ook bij een type storm als in 1943 is voorgekomen, zou de verhoging belangrijk groter zijn dan bij die van 1953.

De verhogingen bij de dam in het Brouwershavense Gat en bij de dam met sluizen in het Haringvliet zullen analoog zijn aan die bij de dam in de Oosterschelde. Volgens tabel 5.4.1 is het opwaaiingsverval bij de Haringvlietsluizen 10 cm groter dan bij de Oosterschelddam door de meer landwaartse ligging van deze dam. Ook de dynamische krachten bij de voortplanting van de stormvloed in deze mondingen zijn wat groter. Vermoedelijk zal de totale verhoging van de stormvloedstand bij de Haringvlietsluizen ongeveer 10 cm meer kunnen bedragen dan bij de andere afsluitingen.

De verhogingen bij de koppen van de eilanden zullen belangrijk kleiner zijn, want zoals in 5.3 is opgemerkt, worden in de Noordzee zelf de stormvloedstanden slechts in geringe mate beïnvloed door de afsluitingen.

Ten slotte wordt nog de volgende opmerking gemaakt over de mogelijke verhogingen bij de dammen, indien de voor de bepaling van de hoogten der dijken in het noordelijke deltagebied maatgevende stormvloed te Hoek van Holland wordt beschouwd; hierbij is de stormvloedstand te Hoek van Holland op N.A.P. + 5 m aangenomen.

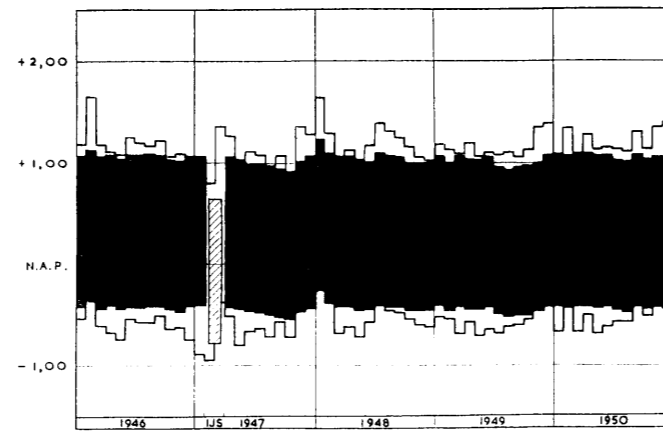
Dan zal de verhoging van de zeestand door de wind ongeveer 4 m moeten bedragen, indien wordt aangenomen, dat bij deze stormvloedstand de maximale windopzet op de Noordzee ongeveer op hetzelfde tijdstip zal optreden als het astronomische hoogwater, waarvan de hoogte bij Hoek van Holland ongeveer op N.A.P. + 1 m, d.i. tussen een gemiddeld getij en een springtij, wordt gesteld.

Bij de stormvloed van 1953 bedroeg deze opzet ongeveer 3,20 m, terwijl een gemiddelde windkracht van 20 à 25 m/sec over een lang tijdsverloop langs de Nederlandse kust is voorgekomen.

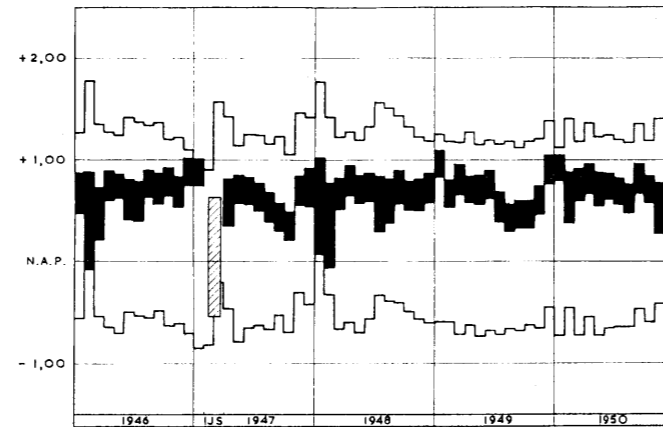
Wordt de opzet van de waterspiegel door de wind evenredig met het kwadraat van de windsnelheid verondersteld, dan zou de opzet van 4 m bereikt worden bij een windsnelheid, die ruim 10% hoger was. In 5.4.1 werd voor de berekening van de verhogingen bij de dammen door de opwaaiing o.a. een windsnelheid van 30 m/sec over een voldoende lang tijdsverloop beschouwd. Bij een stormvloed met een stormvloedstand van N.A.P. + 5 m te Hoek van Holland behoeven dus bij de dammen geen grotere verhogingen voor te komen dan in 5.4.1 werden berekend; ze kunnen zelfs kleiner zijn, omdat door de grotere diepte de windinvloed weer beperkt wordt.

Afhankelijk van het type van de stormvloed kan bij deze extreme stormvloed de verhoging bij de dammen op ongeveer 50 cm gesteld worden, indien ook nog rekening wordt gehouden met de invloed van de dynamische krachten bij de voortplanting van de stormvloed naar de dam.

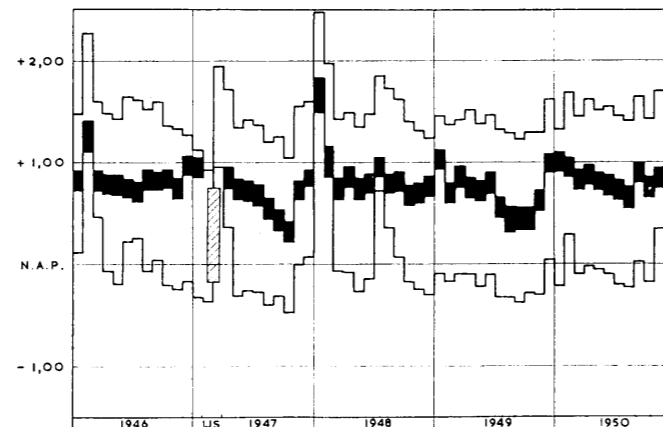
SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE GEMIDDELTE HOOG-EN LAAGWATERSTANDEN IN HET DELTAGEBIED  
VOOR DE BESTAANDE TOESTAND EN NA UITVOERING VAN DE DELTAWERKEN MET AFGESLOTEN OUDE MAAS, GEBASEERD OP EEN PERIODE ALS VAN 1946 T/M 1950



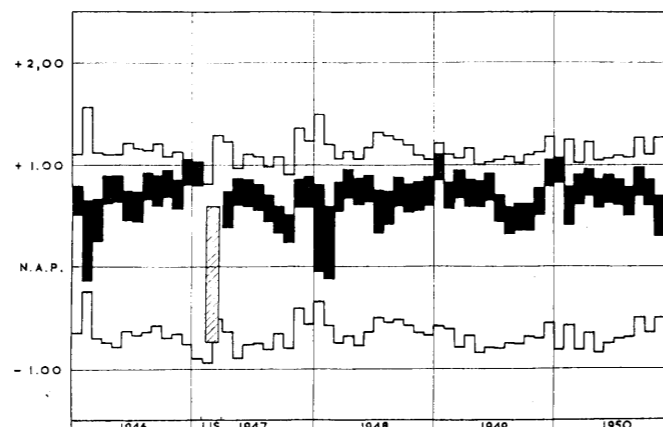
KRIMPEN AAN DE LEK



DORDRECHT



WERKENDAM



GOIDSCHALXOORD

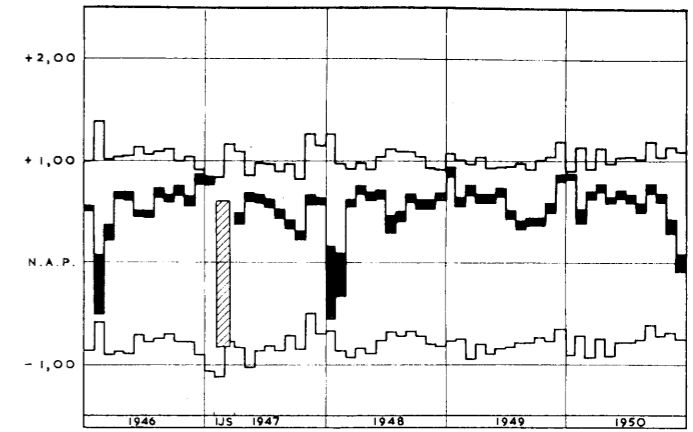
Normale waterstanden deltagebied

**LEGENDA**

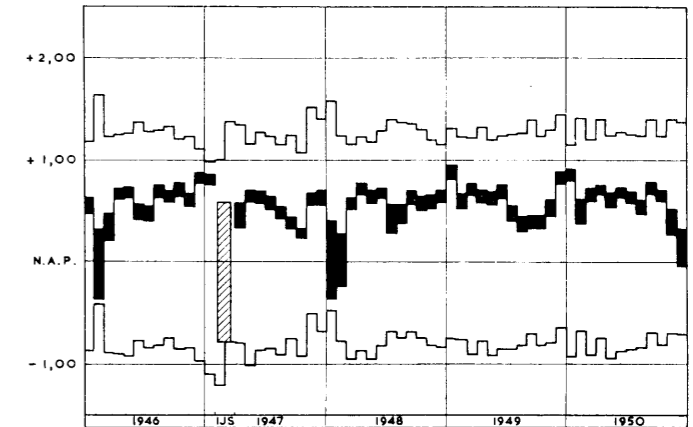
HOOGWATER BESTAANDE TOESTAND  
 HW. NA UITVOERING DELTAWERKEN  
 LW NA UITVOERING DELTAWERKEN  
 LAAGWATER BESTAANDE TOESTAND

**N.B.**  
 DE WATERSTANDEN BIJ DE BESTAANDE TOESTAND  
 WERDEN ONTLEEND AAN DE IN WERKLIJKHEID  
 VOORGEKOMEN STANDEN.  
 DE WATERSTANDEN NA UITVOERING DER DELTA-  
 WERKEN WERDEN ONTLEEND AAN MODELPROEVEN  
 EN BEREKENINGEN, WAARBIJ WERD UITGEGAAN VAN  
 EEN GEMIDDELTE GETIJBEWEGING OP ZEE.  
 DE SITUATIE NA UITVOERING DER DELTAWERKEN  
 BIJ IJSGANG (PERIODE ALS VAN 29 JAN.-13 MRT 1947)  
 IS GEARCEERD WEERGEGEVEN. ZIJ WERD GESCHAT  
 VOOR DE TOESTAND MET OPEN HARINGVLIETSLUIZEN.

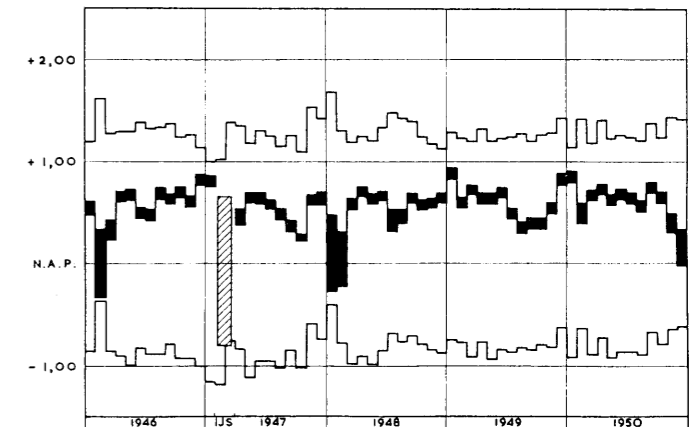
VOORLOPIG



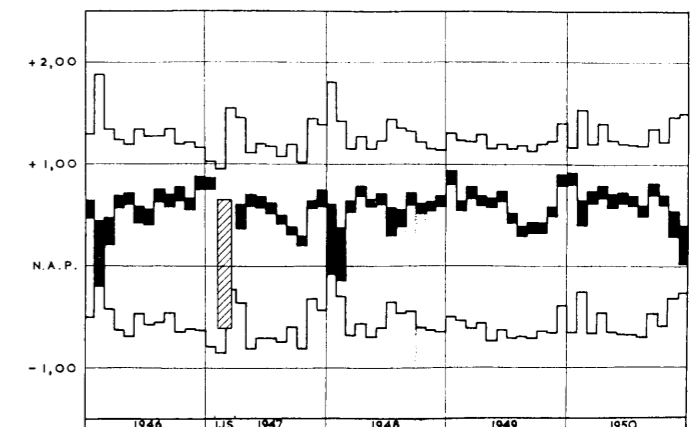
HELLEVOETSLUIS



WILLEMSTAD



MOERDIJK



MOND DER DONGE



BIJDRAGE IV.3

RIJKSWATERSTAAT

DE INVLOED VAN DE DELTAWERKEN  
OP DE WATERBEWEGING EN DE  
VEILIGHEID TEGEN OVERSTROMINGEN  
IN HET GETIJGEBIED  
VAN ZUIDWEST-NEDERLAND

## INHOUDSOVERZICHT

0.1 Inhoudsoverzicht . . . . .	87
0.2 Overzicht van de tabellen . . . . .	89
0.3 Overzicht van de figuren . . . . .	90
0.4 Opgenomen bijlage . . . . .	92
0.5 Overzicht van de gebruikte afkortingen . . . . .	92
0.6 Literatuur . . . . .	93
0.7 Summary . . . . .	94
0.8 Résumé . . . . .	96
<b>1.0 Samenstelling van de bijdrage . . . . .</b>	<b>99</b>
1.1 Inleiding . . . . .	99
1.2 Inhoud van de bijdrage. . . . .	99
1.3 Auteurs . . . . .	100
<b>2.0 Overzicht van de onderzoeken, die in het verleden plaats hebben gehad . . . . .</b>	<b>100</b>
<b>3.0 De waterloopkundige aspecten van het Deltaplan . . . . .</b>	<b>101</b>
3.1 De primaire en secundaire afsluitingen . . . . .	101
3.2 De betekenis van de bouw van de Hellegatdam . . . . .	102
3.3 De zoetwaterhuishouding in het noordelijke deltagebied . . . . .	103
3.4 Afmetingen Haringvlietsluizen . . . . .	104
3.5 Waterstanden Haringvlietbekken . . . . .	105
3.6 De veiligheid . . . . .	105
<b>4.0 De getijbeweging in het deltagebied vóór en na de uitvoering van de deltawerken bij gemiddeld getij in zee en bij verschillende Rijn- en Maasafvoeren . . . . .</b>	<b>106</b>
4.1 Een algemene beschouwing over de verticale getijbeweging langs de kuststrook van Zuidwest-Nederland . . . . .	106
4.2 De invloed van de Rijn- en de Maasafvoer op de verticale getijbeweging in het noordelijk deltagebied vóór de uitvoering van de deltawerken . . . . .	110
4.3 De H.W.- en L.W.-standen na de uitvoering van de deltawerken. . . . .	119
4.4 De maximale eb- en vloodsnelheden in het noordelijk deltagebied vóór en na de uitvoering van de deltawerken . . . . .	127
<b>5.0 Het verloop van de S.V.-standen in het deltagebied bij verschillende afvoeren van de Rijn vóór en na de uitvoering van het Deltaplan . . . . .</b>	<b>143</b>
5.1 De vaststelling van het basispeil te Hoek van Holland en een algemene beschouwing over de invloeden, die de S.V.-standen in het deltagebied bepalen . . . . .	143
5.2 De bepaling van de hypothetische stormvloedkromme te Hoek van Holland . . . . .	144
5.3 De basispeilen in het deltagebied vóór en na de uitvoering van de deltawerken . . . . .	145
5.4 De rivierarmen in het deltagebied, waar de hoogste waterstanden door de Rijnafoeren worden bepaald . . . . .	148

<b>6.0 De bepaling van de overschrijdingskrommen der H.W.-standen voor plaatsen in het noordelijk deltagebied zowel vóór als na uitvoering van het Deltaplan . . . . .</b>	<b>149</b>
6.1 Inleiding . . . . .	149
6.2 De gegevens voor de berekening van de overschrijdingskrommen in het deltagebied . . . . .	150
6.3 De berekening van de overschrijdingsfrequenties per jaar voor het gezamenlijk optreden van de H.W.-standen te Hoek van Holland hoger dan $h$ en Rijnafvoeren te Lobith groter dan $Q$ . . . . .	162
6.4 De methode voor het berekenen van de overschrijdingskrommen van de H.W.-standen voor verschillende peilschaalstations in het deltagebied . . . . .	165
6.5 De praktische berekening van de overschrijdingskrommen van de H.W.-standen te Dordrecht voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken . . . . .	166
6.6 De berekening van de overschrijdingskrommen van de H.W.-standen te Dordrecht en andere plaatsen na uitvoering van het Deltaplan en hun betrouwbaarheid . . . . .	169
<b>7.0 De verhoging van de veiligheid ten gevolge van de uitvoering van het Deltaplan . . . . .</b>	<b>174</b>
<b>8.0 De S.V.-standen gedurende de uitvoering van het Deltaplan. . . . .</b>	<b>175</b>
8.1 Inleiding . . . . .	175
8.2 Stormvloedverhogingen westelijk van de Grevelingendam bij open Brouwershavense Gat	175
8.3 Stormvloedverlagingen oostelijk van de Grevelingendam bij open Hellegat, open Oosterschelde en respectievelijk open en gesloten Haringvliet . . . . .	175
8.4 Stormvloedverhogingen oostelijk van de Grevelingendam bij gesloten Hellegat en open Oosterschelde . . . . .	176
<b>9.0 De invloed van verschillende door de Deltacommissie in overweging genomen maatregelen op de veiligheid in het noordelijk deltagebied . . . . .</b>	<b>176</b>
9.1 Inleiding . . . . .	176
9.2 De invloed van de afdamming van de Oude Maas . . . . .	176
9.3 De invloed van de afsluiting van de Hollandse IJssel. . . . .	178
9.4 De invloed op de stormvloedstanden op de Oude Maas, de Nieuwe Maas en de Noord, als het Spui in de bovenmond wordt afgedamd bij de toestand na uitvoering van de deltawerken . . . . .	178
9.5 De invloed van stormvloedkeringen in de benedenmonden van de Lek, de Noord en de Oude Maas op de S.V.-standen op de Rotterdamse Waterweg . . . . .	178
9.6 De invloed, die het aflaten op het Zeeuwse Meer via de inlaatsluizen in de Hellegatdam tijdens een hoge stormvloed, samenvallend met een hoge Rijnafvoer, uitoefent op de S.V.-standen . . . . .	178
9.7 Verruiming van de Dordtse Kil . . . . .	181
9.8 Verruiming van de Noord . . . . .	181
9.9 Bedijking Brabantse Biesbos . . . . .	181
9.10 Normalisatie Haringvliet—Hollands Diep . . . . .	181
9.11 Verbetering van de mond van de Nieuwe Waterweg . . . . .	181

<b>10.0 De maximale stroomsnelheden in het deltagebied bij verschillende typen stormvloeden en verschillende Rijnafoeren</b> . . . . .	182
<b>A.1.0 Appendix</b> . . . . .	184
<b>0.2 OVERZICHT VAN DE TABELLEN</b>	
3.0.1 Eb- en vloedvolumes in miljoenen m <sup>3</sup> per getij in de zeearmen ter plaatse van de ontworpen afsluitingen . . . . .	102
4.1.1 Amplituden en fasen van het halfdaagse middelbare zon- en maangetij bij verschillende peilschaalstations langs de Nederlandse kust . . . . .	106
4.1.2 H.W.- en L.W.-standen bij doortij, gemiddeld tij en springtij voor verschillende peilschaalstations langs de Nederlandse kust, met bijbehorend tijverschil. . . . .	107
4.1.3 Gemeten maximale en minimale H.W.- en L.W.-standen voor verschillende peilschaalstations langs de Nederlandse kust . . . . .	107
4.3.1 H.W.- en L.W.-standen vóór en na de uitvoering van het Deltaplan, voor verschillende peilschaalstations in het deltagebied, bij gemiddeld getij in zee en verschillende Rijnafoeren . . . . .	126
4.4.1 Maximale eb- en vloodsnelheden bij verschillende toestanden met gemiddeld getij in zee en een Rijnafoer van ca. 980 m <sup>3</sup> /sec (O.L.R.) . . . . .	129
4.4.2 Maximale eb- en vloodsnelheden bij verschillende toestanden met gemiddeld getij in zee en een Rijnafoer van ca. 2300 m <sup>3</sup> /sec (gemiddelde afvoer) . . . . .	134
4.4.3 Maximale eb- en vloodsnelheden bij verschillende toestanden met gemiddeld getij in zee en een Rijnafoer van ca. 9400 m <sup>3</sup> /sec (hoge afvoer). . . . .	139
5.4.1 Aantal groepen van H.W.-standen, gelijk aan of hoger dan het grenspeil, respectievelijk te Sliedrecht, Kop van 't Land, Werkendam en Gorinchem, ontstaan door stormvloeden en/of Rijnafoeren (periode 1905-1950) . . . . .	148
6.2.1 Maandoverschrijdingsfrequenties in de wintermaanden november tot en met april voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de afvoer van de Rijn te Lobith . . . . .	151
6.2.2 Combinaties van H.W.-standen te Hoek van Holland en afvoeren van de Rijn te Lobith, waarbij een H.W.-stand te Dordrecht van N.A.P. + 350 cm wordt bereikt bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken . . . . .	162
6.3.1 S.V.-standen te Hoek van Holland met bijbehorende afvoeren van de Rijn te Lobith sedert 1900 . . . . .	163
6.3.2 Drie voorgekomen zeer ongunstige combinaties van S.V.-standen te Hoek van Holland en afvoeren van de Rijn te Lobith sedert 1900 . . . . .	165
7.0.1 H.W.-standen in het deltagebied en de toeneming van de veiligheid door de uitvoering van het Deltaplan . . . . .	174
9.2.1 Veranderingen van de S.V.-standen in cm, volgens modelproeven na uitvoering van het Deltaplan, bij verschillende typen van stormvloeden, gecombineerd met diverse Rijnafoeren, als gevolg van de afdamming van de Oude Maas nabij de Westgeul . . . . .	177
9.6.1 S.V.-standen in cm boven N.A.P. te Hoek van Holland, Dordrecht, Moerdijk, Willemstad en Hellevoetsluis na uitvoering van het Deltaplan met open en gesloten Hellegat bij een Rijnafoer van ca. 2300 m <sup>3</sup> /sec, volgens modelproeven . . . . .	179
10.0.1 Gemeten maximale vloodsnelheden in cm/sec, afgerond op veelvouden van 25 cm/sec, bij verschillende typen van stormvloeden, gecombineerd met diverse Rijnafoeren, voor de toestand vóór en voor die na de uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas volgens proeven, uitgevoerd in het hydraulische model van het deltagebied . . . . .	182

**0.3 OVERZICHT VAN DE FIGUREN**

4.1.1	Gemiddelde verticale getijkrommen langs de westkust van Nederland . . . . .	108
4.1.2	Verloop van het gemiddeld tijverschil langs de Nederlandse kust . . . . .	109
4.2.1	Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en variërende Rijnafvoeren op Nieuwe Waterweg—Scheur—Nieuwe Maas—Lek bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken . . . . .	112
4.2.2	Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en variërende Rijnafvoeren op Nieuwe Waterweg—Scheur—Oude Maas—Beneden-Merwede—Boven-Merwede—Waal bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken . . . . .	113
4.2.3	Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en variërende Rijnafvoeren op Haringvliet—Hollands Diep—Nieuwe Merwede—Boven-Merwede—Waal bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken . . . . .	114
4.2.4	Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en variërende Rijnafvoeren op Boven-Merwede—Waal—Rijn bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken . . . . .	115
4.2.5	Gemiddelde verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken, afgeleid uit de geregistreerde getijden in de periode 15 september t/m 30 september 1953 in de natuur. Gemiddelde Rijnafvoer in deze periode ca. 980 m <sup>3</sup> /sec . . . . .	116
4.2.6	Gemiddelde verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken, afgeleid uit de geregistreerde getijden in de periode 18 juli t/m 2 augustus 1955 in de natuur. Gemiddelde Rijnafvoer in deze periode ca. 2300 m <sup>3</sup> /sec . . . . .	117
4.2.7	Geregistreerd verticaal getij op 22 januari 1955 in de natuur (toestand vóór de uitvoering van de deltawerken). Rijnafvoer ca. 9400 m <sup>3</sup> /sec . . . . .	118
4.3.1	Verticale getijbeweging na uitvoering van de deltawerken, zowel met open als gesloten Oude Maas, bij gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer bij O.L.R. (ca. 980 m <sup>3</sup> /sec) volgens modelproeven. Haringvlietsluizen gedurende gehele getij gesloten . . . . .	120
4.3.2	Verticale getijbeweging na uitvoering van de deltawerken, zowel met open als gesloten Oude Maas, bij gemiddeld getij in zee en gemiddelde Rijnafvoer (ca. 2300 m <sup>3</sup> /sec) volgens modelproeven. Effectieve opening van de Haringvlietsluizen tijdens de eb bij open Oude Maas 500 m <sup>2</sup> beneden N.A.P. en bij gesloten Oude Maas 750 m <sup>2</sup> beneden N.A.P. Afvoer door de Noord 275 m <sup>3</sup> /sec . . . . .	121
4.3.3	Verticale getijbeweging na uitvoering van de deltawerken, zowel met open als gesloten Oude Maas, bij gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer van ca. 9400 m <sup>3</sup> /sec volgens modelproeven. Effectieve opening van de Haringvlietsluizen tijdens de eb 6000 m <sup>2</sup> beneden N.A.P. . . . .	122
4.3.4	Verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken bij gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer bij O.L.R. (ca. 980 m <sup>3</sup> /sec) volgens modelproeven . . . . .	123
4.3.5	Verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken bij gemiddeld getij in zee en een gemiddelde Rijnafvoer (ca. 2300 m <sup>3</sup> /sec) volgens modelproeven. . . . .	124
4.3.6	Verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken bij gemiddeld getij in zee en hoge Rijnafvoer (ca. 9400 m <sup>3</sup> /sec) volgens modelproeven . . . . .	125
4.3.7	Tijdsduur van sluiting van de Haringvlietsluizen tijdens de vloed . . . . .	127
4.4.1	Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer bij O.L.R. (ca. 980 m <sup>3</sup> /sec) . . . . .	130
4.4.2	Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer bij O.L.R. (ca. 980 m <sup>3</sup> /sec) . . . . .	131

4.4.3	Maximale eb- en vloednelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met gesloten Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een Rijnafoer bij O.L.R. (ca. 980 m <sup>3</sup> /sec)	132
4.4.4	Maximale eb- en vloednelheden bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Gemiddeld getij in zee en een gemiddelde Rijnafoer (ca. 2300 m <sup>3</sup> /sec)	135
4.4.5	Maximale eb- en vloednelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een gemiddelde Rijnafoer (ca. 2300 m <sup>3</sup> /sec)	136
4.4.6	Maximale eb- en vloednelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met gesloten Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een gemiddelde Rijnafoer (ca. 2300 m <sup>3</sup> /sec)	137
4.4.7	Maximale eb- en vloednelheden bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Gemiddeld getij in zee en een hoge Rijnafoer (ca. 9400 m <sup>3</sup> /sec)	140
4.4.8	Maximale eb- en vloednelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een hoge Rijnafoer (ca. 9400 m <sup>3</sup> /sec)	141
4.4.9	Maximale eb- en vloednelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met gesloten Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een hoge Rijnafoer (ca. 9400 m <sup>3</sup> /sec)	142
5.2.1	Stormvloedkrommen met voorafgaande getijden voor Hoek van Holland, gebruikt als randvoorwaarden	145
5.3.1	Verloop van de S.V.-standen bij een hypothetische stormvloed met topstand N.A.P. + 500 cm te Hoek van Holland en Rijnafoer 3000 m <sup>3</sup> /sec bij de toestand vóór en bij die na uitvoering van het Deltaplan, zowel met open als gesloten Oude Maas	146
5.3.2	Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij de toestand vóór en bij die na uitvoering van het Deltaplan zowel met open als gesloten Oude Maas, bij een afvoer bij O.L.R. en normaal getij in zee. Toestand met gedurende het gehele getij gesloten Haringvliet-sluisen	147
6.2.1	Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand <i>november</i> voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith	152
6.2.2	Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand <i>december</i> voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith	153
6.2.3	Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand <i>januari</i> voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith	154
6.2.4	Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand <i>februari</i> voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith	155
6.2.5	Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand <i>maart</i> voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith	156
6.2.6	Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand <i>april</i> voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith	157
6.2.7	Vergelijking van de „staart” van de overschrijdingskromme van het Mathematisch Centrum voor het gehele jaar met de overschrijdingskromme voor de maand december voor de H.W.-standen te Hoek van Holland	158
6.2.8	Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de winterperiode, de zomerperiode en het gehele jaar voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith.	159
6.2.9	Betrekking Rijnafoer te Lobith en H.W.-standen te Dordrecht bij verschillende H.W.-standen te Hoek van Holland voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken, samengesteld uit waarnemingen in de natuur	160
6.2.10	Betrekking Rijnafoer te Lobith en H.W.-standen te Dordrecht bij verschillende H.W.-standen te Hoek van Holland voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken naar gegevens, verkregen uit modelproeven	161

6.3.1	Gemiddelde overschrijdingskrommen per winterperiode (november t/m april) voor het samenvallen van H.W.-standen te Hoek van Holland hoger dan $h$ en Rijnafvoeren te Lobith groter dan $Q$ . . . . .	164
6.4.1	De H.W.-standen te Dordrecht als functie van de Rijnafvoer te Lobith en van de H.W.-standen te Hoek van Holland (H.W.-stand te Hoek van Holland is de parameter)	165
6.5.1	Gemiddelde overschrijdingskromme per jaar voor H.W.-standen te Dordrecht bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken, volgens waarnemingen in de natuur en volgens berekeningen, alsmede die voor de toestand na uitvoering van het Deltaplan, waarbij de Oude Maas open is en de Brabantse Biesbos, de Noordbrabantse oever en de Zuidhollandse Biesbos stormvloedvrij zijn, volgens berekeningen . . . . .	167
6.5.2	Gemiddelde H.W.-overschrijdingskromme per jaar te Hoek van Holland, samengesteld door het Mathematisch Centrum, met mogelijke spreiding, overgenomen uit het Eindverslag van de Deltacommissie . . . . .	168
6.6.1	Betrekking Rijnafvoer te Lobith en H.W.-standen te Dordrecht bij verschillende H.W.-standen te Hoek van Holland na uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas en met de Brabantse Biesbos, de Noordbrabantse oever en de Zuidhollandse Biesbos stormvloedvrij, naar gegevens, verkregen uit modelproeven . . . . .	170
6.6.2	Gemiddelde overschrijdingskrommen per jaar voor H.W.-standen, hoger dan N.A.P. + 200 cm, voor verschillende peilschaalstations in het deltagebied voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken, berekend uit gegevens van modelproeven . . . . .	172
6.6.3	Gemiddelde overschrijdingskrommen per jaar voor H.W.-standen, hoger dan N.A.P. + 200 cm, voor verschillende peilschaalstations in het deltagebied na uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas en met de Brabantse Biesbos, de Noordbrabantse oever en de Zuidhollandse Biesbos stormvloedvrij, berekend uit gegevens van modelproeven . . . . .	173
9.6.1	Verloop van de S.V.-standen bij een stormvloed in zee als op 1 februari 1953 is voorgekomen, met een Rijnafvoer te Lobith van 9700 m <sup>3</sup> /sec bij verschillende toestanden na uitvoering van het Deltaplan . . . . .	180
A.1.1.1	Verloop van de stroomamplitude van het M <sub>2</sub> -getij $q_0$ te Hoek van Holland als functie van de lengte $L$ van de geschematiseerde getijrivier . . . . .	188

#### 0.4 OPGENOMEN BIJLAGE

IV.3-1.1.1 Kaart van het deltagebied

#### 0.5 OVERZICHT VAN DE GEBRUIKTE AFKORTINGEN

H.W.	= hoogwater
G.H.W.	= gemiddeld hoogwater
L.W.	= laagwater
G.L.W.	= gemiddeld laagwater
S.V.	= stormvloed
$Q_R$	= Rijnafvoer te Lobith
O.L.R.	= overeengekomen lage rivierstand
O.A.	= overgangsafvoer
H.A.	= hoge afvoer
T.O.	= Tienjarig Overzicht der Waterhoogten

**0.6 LITERATUUR** De verwijzing in de tekst is aangegeven door [ ].

1. *P. J. Wemelsfelder, J. W. Tops* Voorlopig onderzoek naar extreem hoge waterstanden op de Rijn en zijtakken. Nota 56.1. Rijkswaterstaat, directie Bovenrivieren, Afdeling Studiedienst, 1956.
2. *Staatscommissie-Rotterdamschen Waterweg* Verslag van de Staatscommissie, benoemd bij Koninklijk besluit van 20 Maart 1916, no. 23 met opdracht een onderzoek in te stellen omtrent de oorzaken van de buitengewoon hoge waterstanden, tijdens den stormvloed van 13/14 Januari 1916, voorgekomen op de in Zuid-Holland gelegen benedenrivieren, meer bepaaldelijk op den Rotterdamschen Waterweg. 's-Gravenhage, 1920.
3. *Staatscommissie-Zuiderzee* Verslag 1918–1926. 's-Gravenhage, 1926.
4. *P. J. Wemelsfelder* Wetmatigheden in het optreden van stormvloeden. De Ingenieur nr. 9, 1939.
5. *Ministerie van Marine, Afdeling Hydrografie* Overzicht der getijleer ten dienste der hydrografische opneming. 's-Gravenhage, 1949.
6. *Rijkswaterstaat* Getijtafels voor Nederland. 's-Gravenhage.
7. *Rijkswaterstaat* Tienjarig Overzicht der Waterhoogten 1941–1950. 's-Gravenhage, 1954.
8. *J. W. de Vries* Het plan tot afsluiten der zeearmen (Deltaplan), in het bijzonder gezien in verband met de voorgeschiedenis ervan. Weg- en Waterbouw, nr. 11–12, 1954.



## 0.7 SUMMARY

### **The effect of the Delta Works on the water movement and the security against flooding in the tidal area of the southwestern part of the Netherlands**

In order to protect the southwestern part of the Netherlands against inundation by storm surges, the Delta Plan has been undertaken. This plan entails the closure of three large sea arms situated between the Western Scheldt and the Rotterdam Waterway, which will bring about radical changes in the tidal movement and storm-surge levels of the estuaries and tidal rivers.

The contours of the plan are shown in annex IV.3-1.1.1. It includes three big dams to be built in the mouths of Eastern Scheldt, Brouwershavense Gat, and Haringvliet, as well as three smaller ones to be constructed further inland. The extent of these works is in proportion to the tidal volumes of the estuaries: Veerse Gat  $2,5 \cdot 10^9$  cu.ft; Volkerak  $3,5 \cdot 10^9$  cu.ft; Grevelingen  $4 \cdot 10^9$  cu.ft; Haringvliet  $9 \cdot 10^9$  cu.ft; Brouwershavense Gat  $12,5 \cdot 10^9$  cu.ft and Eastern Scheldt  $39 \cdot 10^9$  cu.ft.

The waters of the Delta area are to be divided into two separate basins by means of a dam in the Volkerak. The southern basin will then be entirely cut off from the sea and become a fresh-water lake. The northern basin comprising the mouths of the Rhine and the Meuse, will remain in communication with the sea because the Rotterdam Waterway must remain open to shipping. Consequently, tides and storm surges will still be able to penetrate inland via this mouth, but they will be able to cause high water levels in the Rotterdam Waterway only; in the rest of the basin their effect will be considerably weakened. In the situation at present, however, the upland flow of the rivers Rhine and Meuse is mainly into the Haringvliet estuary and not the Rotterdam Waterway. Since the Haringvliet estuary will be closed, large sluices are to be built in the enclosure dam as a substitute for the existing free discharge of the river water. After the realization of the Delta Plan and the heightening of the dikes of the Western Scheldt and the Rotterdam Waterway, the dikes will be safe up to the very high storm surges which occur less frequently in the average than once in ten thousand years, or, in other words, there will be only one percent chance in a hundred years of a major inundation.

In this contribution the investigations into the tides will be dealt with in more detail. These investigations concern the tides existing before the execution of the Delta Works and those which will exist after the entire plan is completed.

The main tidal problems requiring investigation in connection with the Delta Plan were the determination of the highest levels which occur on the Rotterdam Waterway and other river branches of the Delta region during storm surges with given high-water levels at Hook of Holland at the outer mouth of the Rotterdam Waterway, the division of the upland flow of the Rhine and Meuse into the various channels of the northern Delta region, the determination of the discharge programme of the sluices in Haringvliet and the flow velocities in the different navigation channels.

As a result of the changes in flow conditions, the river branches whose profiles are accommodated to present conditions may have to be altered artificially.

#### *The tides before and after the execution of the Delta Plan*

The tides along the Dutch coast vary greatly from south to north. At Flushing the tidal range at mean tide is about 12 ft; at Hook of Holland, the mouth of the Rotterdam Waterway, it is 5 ft; and further north it decreases to about 4.5 ft at Den Helder. From that point the coast bends in a northeasterly direction towards the German Bight, and the tidal range increases again. At the easternmost Dutch harbour place, Delfzijl, the range is about 9 ft. These figures indicate that after the closing of the southwestern estuaries (apart from the Western Scheldt), the high tides will be excluded from the estuaries and that only at Hook of Holland, where the range is lowest, will they be able to penetrate into the Delta region. Furthermore, it is clear that in the Delta region, the tide-wave will be greatly reduced, in proportion to the distance of propagation. As a consequence, after the execution of the Delta Plan, the tidal ranges in the northern Delta region (north of Volkerak) will be much smaller than they are at present. The modifications in the ranges follow from fig. 5.3.2 in which the present and future high-water and low-water levels are shown. The decrease of the tidal range is especially important in the Haringvliet estuary in comparison with the present situation. At mean tide at Hook of Holland and with the Haringvliet sluices closed, the tidal range in the Haringvliet basin will be decreased by 90%, becoming about  $\frac{1}{2}$  ft.

The water motion in the northern region, however, is greatly complicated by the upland discharge of the Rhine and Meuse. The upland discharge of the Rhine river varies greatly, from about  $35 \cdot 10^3$  cu.ft/sec in a dry season to about  $350 \cdot 10^3$  cu.ft/sec in a very wet season (winter time). In extreme cases an upland discharge of  $450 \cdot 10^3$  cu.ft/sec or more may occur (mean frequency of occurrence: once in twenty years). Therefore the sluices to be built in the Haringvliet must be very large; when fully opened the cross-sections will measure  $57 \cdot 10^3$  sq.ft below mean sea level. In the case, however, of an upland discharge of less than about  $210 \cdot 10^3$  cu.ft/sec only a part of the maximum sluice opening will be used or the sluices will be closed completely. Furthermore the sluices will remain closed during storm surges and during the periods when water levels are higher on the seaward side than at the land side, in order to prevent salt water from penetrating into the Haringvliet estuary.

From these considerations it is clear that many variations can occur in the water levels of the northern Delta region as a result of astronomical and meteorological circumstances (spring-tide, neap tide, storm surges) affecting the tides at Hook of Holland, the variations in upland discharge, and the discharge programme of the Haringvliet sluices.

Under all circumstances, however, the water levels in the Haringvliet estuary will be much lower than at present. In fig. 5.3.2 the H.W. and L.W. levels in case of closed sluices are shown for various places in the northern region in comparison with the levels found now.

When the discharges of the Rhine and Meuse are very small, the sluices in the Haringvliet will be closed during the whole tide so that all available fresh water which is not needed for domestic and agricultural use can be discharged through the Rotterdam Waterway in order to suppress salt water penetration in the Rotterdam Waterway. As mentioned in Contribution IV.4, this can be effected to an important extent after the execution of the Delta Works.

It must be noted, however, that this suppression is limited, because the fresh water from the Waal (the most important branch of the river Rhine) and Meuse rivers must be discharged via the Old Meuse and Noord rivers (see annex IV.3-1.1.1). The amount of this discharge is limited by the cross-section area of the river-beds and the fact that the velocities of these rivers may not exceed certain values which depend upon navigational requirements and the maintenance of the profiles. In this connection, the benefit to be obtained from the eventual construction of a barrage in the Old Meuse near its confluence with the Rotterdam Waterway is being studied.

By closing the Old Meuse in times of small upland river discharges, all available fresh water will flow past Rotterdam. It is to be expected that this concentration in one branch will be favourable to the suppression of salt penetration.

#### *The reduction of the storm-surge levels as a consequence of the Delta Works*

Storm-surge levels will also decrease in the northern region after the execution of the Delta Works. The further inland one goes, the greater will be the lowering effect on storm-surge levels. In fig. 5.3.1 this lowering effect is shown for a very big storm surge. Along the Rotterdam Waterway up to Rotterdam the expected decrease is relatively small, so that the dikes in this region must be heightened. The frequency of the occurrence of storm-surge levels such as that of 1953 must be considered as too high in relation to the possible loss of life and damage to property. The statistics of the high-water levels have been exhaustively studied by various institutes: the Rijkswaterstaat, the Mathematical Centre in Amsterdam and the Royal Netherlands Meteorological Institute. It has finally been agreed that the storm-surge level of 16.5 ft above mean sea level at Hook of Holland, which has a frequency of excess of about once in 10,000 years, be adopted as a determining value in designing dikes in the northern Delta area. In fig. 5.3.1 the expected drop of the storm-surge levels is shown for inland places. These levels are also dependent on the shape of the storm-surge curve at Hook of Holland, for which a hypothetical curve has been constructed on the basis of curves for past storm surges (fig. 5.2.1). Statistical research has shown that in the case of very high storm-surge levels it is reasonable to suppose that the simultaneous upland discharge does not differ much from the mean upland discharge. The probability that very high storm surges at Hook of Holland will coincide with important upland discharge is much lower than the accepted frequency of excess of an average of once in 10,000 years.

On the other hand, for inland places like Dordrecht the levels do depend on the upland discharge as well, so that a level may occur here under various circumstances for storm-surge levels and upland discharges.

A high level at Hook of Holland and a low upland discharge may cause the same high-water level at Dordrecht as a lower storm-surge level and a higher upland discharge. It may not be concluded, therefore, that the storm-surge level for Dordrecht shown in fig. 6.5.1 has a frequency of excess of once in 10,000 years. In determining the statistical occurrence of the storm-surge levels at Dordrecht and more inland places, the statistics of the upland discharges must be taken into account. This problem will not be dealt with here in detail; only the most important points are mentioned.

The storm-surge levels to be experienced at various places in the Delta region when various storm-surge levels occur at Hook of Holland in conjunction with certain upland discharges have been determined by model tests.

Because of the independence of storm surges and upland discharges, the probability of the occurrence of a storm-surge level at Hook of Holland, situated in a certain interval, together with the probability of the occurrence of an upland discharge also situated in a given interval, equals the product of the probability of occurrence of each factor. A storm-surge level at Hook of Holland and an upland discharge together cause a given storm-surge level at any place in the Delta region, e.g. at Dordrecht. The probability of occurrence of a storm-surge level situated in an interval at Dordrecht will then equal the sum of these probabilities, in consequence of which the storm-surge levels at Hook of Holland and upland discharges cause storm-surge levels in the considered interval at Dordrecht. Furthermore, the frequency of excess of a certain storm-surge level at Dordrecht is the sum of the probabilities for the occurrence of storm-surge levels in the various intervals higher than the value for which the frequency of excess has been determined.

In fig. 6.5.1, as an example, the frequencies of excess of the storm-surge levels at Hook of Holland are shown. The frequencies of excess corresponding to the situation at present and after the execution of the Delta Plan are also represented for Dordrecht.

The decrease of the storm-surge levels at Dordrecht can be determined from these graphs.

#### *Contents of the contribution*

Chapter 2.0 gives a short review of the past investigations pertaining to the safety of the Delta region.

Chapter 3.0 contains a general discussion of the problems of water motion and fresh water supply involved in the Delta Plan. The effect on the safety of the Delta area is also treated in this chapter.

As a preliminary to the discussion of the course of the highest storm-surge levels in the northern Delta region, the changes in the H.W. and L.W. levels after the completion of the Delta Works are dealt with in 4.0 in relation to the mean tide and to various Rhine and Meuse river discharges. This section also deals with the changes in ebb and flood tide velocities. In this connection, the statistical aspects of the occurrence of the upland Rhine river discharges are considered in more detail because these discharges determine the height of the dikes and therefore the safety of the furthestmost up-river areas of the Delta region.

In 5.0 the changes in the extreme H.W. levels resulting from the execution of the Delta Plan are reported for the case of a very high hypothetical storm surge. Here the assumption is made that the bottom configuration and the

width of the rivers have undergone no modifications compared to their present state. The assumption is also made that the Old Meuse is open at the storm-surge period.

On the basis of these assumptions, the dependence of the H.W. levels in the Delta region on the tide at Hook of Holland and the discharge of the Rhine and Meuse rivers is discussed further in 6.0. A method is also suggested for the determination of the frequencies of excess of the H.W. levels and the extreme values for various places in the Delta region. These methods, which are based on the mutual independence of the occurrence of given H.W. levels in the sea and the Rhine, are first applied to the situation before the inception of the Delta Works (see Contribution II.3). The results for Dordrecht are compared with the data from the statistical study of the H.W. levels recorded during the period of local measurements. There seemed to be sufficient agreement to permit the assumption that this method may also be applied to the situation after the completion of the Delta Plan. The data required for these computations were obtained from the results of tests using the hydraulic model of the Delta region in the Hydraulics Laboratory at Delft and from the results of tide computations made by the Hydraulic Section of the Delta Administration.

The extent to which the safety of the northern Delta region will be increased by the realization of the Delta Plan is discussed in 7.0.

In the preceding chapters the modifications in the maximal storm-surge levels are discussed for the situation after the completion of the Delta Plan. During the execution of the Delta Plan, however, the storm-surge levels will change to those of the final stage after the completion. This is dealt with in 8.0 and 9.0.

In 10.0 the velocities occurring in the various river branches during storm surges are discussed for the situation after the realization of the Delta Plan.

The authors are J. J. Dronkers and H. J. Stroband.

## 0.8 RÉSUMÉ

### **L'influence des Travaux du Delta sur le mouvement d'eau et la protection contre des inondations dans la région des marées du sud-ouest des Pays-Bas**

Le Plan du Delta a été établi dans le but de protéger contre les inondations - en cas de marée-tempête - la partie sud-ouest des Pays-Bas.

Le plan comprend la fermeture de trois grands estuaires situés entre l'Escaut Occidental et le Rotterdamse Waterweg.

L'exécution de ce plan produira des changements radicaux par rapport au mouvement des marées et aux niveaux des marées-tempête. A l'annexe IV.3-1.1.1 est donné l'ensemble du plan qui comprend la construction de trois grands barrages dans les embouchures de respectivement: l'Escaut Oriental, du Brouwershavense Gat et du Haringvliet, avec encore trois barrages de moindre importance situés plus en arrière. Les volumes de marée des estuaires peuvent donner une idée de l'ampleur de ces travaux: Veerse Gat  $70.10^6$  m<sup>3</sup>; Volkerak  $100.10^6$  m<sup>3</sup>; Grevelingen  $115.10^6$  m<sup>3</sup>; Haringvliet  $260.10^6$  m<sup>3</sup>; Brouwershavense Gat  $360.10^6$  m<sup>3</sup> et Escaut Oriental  $1100.10^6$  m<sup>3</sup>.

Par un barrage dans le Volkerak, les eaux de la région du Delta seront divisées en deux parties distinctes. La partie sud sera complètement isolée de la mer et deviendra un lac d'eau douce; la partie nord - comprenant les embouchures du Rhin et de la Meuse - conservera la communication avec la mer parce que le Rotterdamse Waterweg doit rester ouvert à la navigation. Via cette embouchure, les marées normales et celles de tempête continueront de pénétrer. Mais ce n'est que sur le Rotterdamse Waterweg qu'elles pourront causer des niveaux élevés; plus loin, l'effet en sera considérablement moindre. Dans la situation actuelle, le débit fluvial du Rhin et de la Meuse est surtout évacué via l'estuaire du Haringvliet et non via le Rotterdamse Waterweg; parce que l'embouchure du Haringvliet sera fermée, la construction de grandes écluses dans ce barrage s'impose. Après la réalisation du Plan du Delta et après le rehaussement des digues de l'Escaut Occidental, du Rotterdamse Waterweg et des régions nord du pays, les digues auront une hauteur de sécurité protégeant le pays contre les très hautes marées-tempête qui, en moyenne, ne se présentent qu'une seule fois tous les dix mille ans, ou, autrement dit: en moyenne il n'y a, en cent ans, qu'une chance pour cent que se présentera une inondation.

Cette contribution traite des recherches sur les marées, c'est-à-dire: sur les marées d'avant l'exécution des Travaux du Delta et sur celles qui se présenteront après la réalisation des dits travaux. Les buts de ces recherches sont notamment: la fixation des niveaux les plus élevés qui, pendant les marées-tempête, peuvent se produire sur le Rotterdamse Waterweg et sur les autres bras de rivière dans la région du Delta étant donnés les niveaux notés à Hoek van Holland à l'embouchure du Rotterdamse Waterweg, la répartition des débits fluviaux du Rhin et de la Meuse sur les différents bras de rivière de la partie nord de la région du Delta, l'établissement du programme d'écoulement pour les écluses dans le Haringvliet et la fixation des vitesses maxima dans les dits bras de rivière.

A la suite de la modification des vitesses maxima, l'éventualité existe que certains bras de rivière dont les profils sont adaptés aux circonstances actuelles aient besoin d'être modifiés artificiellement.

#### *Les marées d'avant - et celles d'après la réalisation du Plan du Delta*

Le long du littoral néerlandais, du Sud au Nord, les marées varient beaucoup. A Flessingue, à marée moyenne, la différence de marée est d'environ 3,5 m, à Hoek van Holland - à l'embouchure du Rotterdamse Waterweg - cette différence est de 1,5 m et plus vers le Nord, elle diminue jusqu'à environ 1,35 m au Helder.

De ces chiffres il ressort, qu'après la fermeture des estuaires sud-ouest (exception faite de celle de l'Escaut Occidental), dans le Sud-Ouest, les marées hautes ne pourront plus pénétrer et que ce ne sera qu'à Hoek van Holland -

où la différence des marées est la plus petite – que la marée pourra encore pénétrer dans la région du Delta. Aussi l'onde marée diminuera considérablement, dans la région du Delta, en proportion de la distance de propagation. La conséquence en est qu'après la réalisation du Plan du Delta, les amplitudes de la marée dans la partie nord de la région du Delta (donc, dans la partie située au nord du Volkerak) seront bien plus petites qu'à l'heure actuelle.

La figure 5.3.2 – où sont mentionnés les hautes mers et les basses mers – fait voir les changements qui se produiront. C'est notamment dans le Haringvliet que la diminution de la différence des marées sera très considérable par rapport à la situation actuelle.

A marée moyenne, à Hoek van Holland et les écluses de Haringvliet étant fermées, l'amplitude de la marée dans le lac du Haringvliet sera diminuée de 90 % et sera environ de 0,15 m.

Du fait des débits fluviaux du Rhin et de la Meuse, le mouvement des eaux dans la partie nord de la région du Delta est plus compliqué.

Les débits fluviaux du Rhin peuvent varier considérablement, savoir: d'environ 1000 m<sup>3</sup>/sec pendant la saison sèche jusqu'à environ 10 000 m<sup>3</sup>/sec dans une saison très humide (en temps d'hiver). Dans les cas extrêmes, il arrive que se produise un débit fluvial de 13 000 m<sup>3</sup>/sec et même d'une quantité encore supérieure (ceci se produit à une fréquence moyenne d'une fois sur 20 ans). Pour cette raison, les écluses qui sont à construire dans le Haringvliet doivent être de très grandes dimensions: lorsqu'elles seront complètement ouvertes, les coupes transversales présenteront 5300 m<sup>2</sup> au-dessous du niveau moyen de la mer. En cas d'un débit fluvial de moins d'environ 6000 m<sup>3</sup>/sec, ne sera utilisée qu'une fraction de l'ouverture maxima des écluses ou bien celles-ci resteront entièrement fermées (voir la Contribution IV.4). Les écluses resteront aussi fermées pendant la période où, du côté de la mer, les niveaux seront plus élevés que ceux du côté de la rivière, ceci pour empêcher l'eau salée de pénétrer dans l'embouchure du Haringvliet.

Des considérations précédentes il ressort que, dans le secteur nord du delta, de nombreuses variations peuvent se produire dans les niveaux de l'eau, variations causées par les circonstances astronomiques et météorologiques, par l'influence des marées à Hoek van Holland, par les différences ayant trait au débit fluvial de même que par le programme d'écoulement pour les écluses du Haringvliet. Les niveaux de l'eau dans le Haringvliet seront toujours de beaucoup inférieurs à ceux d'aujourd'hui.

La figure 5.3.2 fait voir – pour un cas donné où les écluses seront fermées et le débit fluvial sera peu important – les hautes mers et les basses mers à plusieurs endroits du secteur nord, par comparaison à ceux existant actuellement.

En cas d'un très faible écoulement venant du Rhin ou de la Meuse, les écluses du Haringvliet resteront même fermées pendant toute la durée de la marée, de sorte que l'entière quantité disponible d'eau douce pourra être évacuée via le Rotterdamse Waterweg.

Ce qui est certain, c'est que la pénétration d'eau salée dans le Rotterdamse Waterweg sera, après l'exécution des Travaux du Delta, considérablement réduite.

Comme l'eau douce du Wahal (le plus important des bras du Rhin) et de la Meuse doit être évacuée via le Oude Maas et le Noord vers le Rotterdamse Waterweg (voir l'annexe IV.3 - 1.1.1), cet écoulement sera limité par la section mouillée et aussi du fait que les vitesses de ces fleuves ne doivent pas dépasser certaines valeurs, ceci en vue des exigences de la navigation et du maintien des contours des sections mouillées. Sous ce rapport on envisage la construction d'un barrage dans le Oude Maas, près de sa jonction avec le Rotterdamse Waterweg. En fermant le Oude Maas au moment où le débit fluvial est peu important, la totalité de l'eau douce disponible coulera le long de Rotterdam.

#### *L'abaissement des niveaux de marée-tempête du fait des Travaux du Delta*

Après la réalisation du Plan du Delta, les hauteurs de marée-tempête diminueront aussi dans le secteur nord de la région du Delta. Plus on ira vers l'intérieur du pays, plus grand sera l'effet abaissant sur les niveaux de marée-tempête. La figure 5.3.1 fait voir cet effet abaissant lors d'une marée-tempête très élevée. Il apparaît que le long du Rotterdamse Waterweg en amont du courant allant vers Rotterdam, l'abaissement sera relativement faible, de sorte que dans cette région les digues ont besoin d'être encore rehaussées. La fréquence de la situation où se présentent des niveaux de marée-tempête comme ceux de 1953 doit être considérée comme trop élevée, vu les pertes possibles de vies humaines et les éventuels préjudices causés aux biens.

Par plusieurs organismes – le Rijkswaterstaat (Service des Ponts et Chaussées), le Centre d'Etudes Mathématiques d'Amsterdam, l'Institut Royal Néerlandais de Météorologie – les statistiques des hautes mers, notamment de celles de Hoek van Holland ont été étudiées aussi intensivement que possible. En dernière analyse on a pu tomber d'accord sur l'admission – comme niveau de marée-tempête décisif pour la fixation de la hauteur des digues dans le secteur nord de la région du Delta – du niveau de la marée-tempête de 5 m au-dessus du niveau moyen de la mer à Hoek van Holland, lequel niveau de marée-tempête a une fréquence de dépassement d'environ une fois en 10 000 ans.

De la figure 5.3.1 ressort l'abaissement des niveaux de marée-tempête pour des endroits situés à l'intérieur.

Ces niveaux dépendent aussi de la forme de la courbe de la marée-tempête à Hoek van Holland. On en a composé une courbe hypothétique d'après les courbes de marée-tempête qui ont eu lieu dans le passé (voir la figure 5.2.1).

Selon des recherches statistiques, il paraît raisonnable d'admettre, qu'à des niveaux très élevés de marées-tempête, le débit fluvial ne diffère que de peu du débit fluvial moyen. La probabilité de la coïncidence d'une marée-tempête très élevée à Hoek van Holland avec un écoulement considérable de débit fluvial est très inférieure à la fréquence de dépassement admise d'environ une fois tous les 10 000 ans.

Mais pour des endroits situés à l'intérieur, comme par exemple Dordrecht, les niveaux dépendent aussi des débits fluviaux, de sorte qu'ici un certain niveau peut se produire dans des conditions différentes de niveaux de marées-tempête et de débits fluviaux. Un niveau élevé à Hoek van Holland, combiné à un débit fluvial peu considérable, peut causer à Dordrecht le même niveau qu'un niveau de tempête inférieure à Hoek van Holland en combinaison avec un débit fluvial plus important. Sous ce rapport, le niveau de marée-tempête à Dordrecht, indiqué sur la figure 6.5.1, n'aura pas la fréquence de dépassement d'environ une fois sur 10 000 ans.

Lors des études statistiques ayant comme but de déterminer la fréquence de l'apparition à Dordrecht et à des endroits situés plus à l'intérieur du pays, de certains niveaux de marées-tempête, compte a été tenu de la statistique des débits fluviaux. Dans le présent résumé ce problème ne sera pas traité dans le détail: ici ne sont mentionnés que les points cardinaux.

C'est d'après les résultats d'essais qu'ont été fixés les niveaux de marées-tempête qui – lors de différents niveaux de marées-tempête à Hoek van Holland et de divers débits fluviaux – se produisent à plusieurs endroits de la région du Delta.

A cause du manque d'interdépendance entre les marées-tempête et des débits fluviaux, la probabilité de l'apparition d'un niveau de marée-tempête à Hoek van Holland, situé dans un intervalle donné, combiné avec un débit fluvial dans un certain intervalle, égale le produit des deux probabilités. Un certain niveau de marée-tempête à Hoek van Holland produit ensemble avec un certain débit fluvial, un certain niveau de marée-tempête à un endroit donné de la région du Delta, par exemple à Dordrecht.

Alors, la probabilité du phénomène d'un certain niveau de marée-tempête situé dans un certain intervalle à Dordrecht, égale la somme des sus-dites probabilités avec lesquelles les niveaux de marée-tempête à Hoek van Holland et des débits fluviaux produisent – à Dordrecht et dans l'intervalle considéré – des niveaux de marée-tempête. Encore la fréquence de dépassement d'un certain niveau de marée-tempête à Dordrecht égale-t-elle la somme des probabilités des apparitions, dans les intervalles considérés, de niveaux de marées-tempête dépassant la valeur pour laquelle doit être déterminée la fréquence de dépassement.

Ainsi sont indiquées, à titre d'exemple, sur la figure 6.5.1, les fréquences de dépassement de certains niveaux de marées-tempête à Hoek van Holland et à Dordrecht, aussi bien les courbes correspondant à la situation actuelle que celles qui, après la réalisation du Plan du Delta, seront valables.

Cette figure donne aussi la mesure dans laquelle, du fait de l'exécution des Travaux du Delta les niveaux de marées-tempête s'abaisseront à Dordrecht.

#### *Contenu de la contribution*

A 2.0 on donne un bref exposé des recherches qui ont eu lieu dans le passé en vue de la sécurité dans la région du Delta.

A 3.0 on mentionne en grandes lignes, les aspects d'ordre hydraulique du Plan du Delta ayant trait au mouvement des eaux et à l'approvisionnement en eau douce du débit fluvial; il y est encore traité de l'influence des travaux prévus sur la sécurité dans la région du Delta.

Avant de considérer l'évolution des niveaux maxima de marées-tempête dans le secteur exposé, à 4.0 on indique les changements des hautes mers et des basses mers qui se présenteront après la réalisation du Plan du Delta, ceci à marée moyenne et à des débits fluviaux différents du Rhin et de la Meuse. Dans ce paragraphe on traite aussi des changements des courants de jusant et des courants de flot. En même temps on considère de plus près l'évolution qui les produira lors de débits fluviaux considérables du Rhin, car ce sont eux qui déterminent, pour les secteurs de rivière situés le plus en amont dans la région du Delta, la hauteur des digues comme elle s'impose au point de vue de la sécurité.

Ensuite on mentionne, à 5.0, les modifications des niveaux extrêmes qui, en cas d'une très haute marée-tempête hypothétique, se produiront du fait de la réalisation du Plan du Delta.

Ici on suppose que, par comparaison à la situation actuelle, la configuration du sol et la largeur des rivières ne subissent aucune modification. Encore est-il supposé qu'en cas de marée de tempête le Oude Maas soit ouvert.

Partant des mêmes suppositions on a approfondi à 6.0, le problème de la dépendance des niveaux dans la région du Delta, d'une part de la marée en mer et d'autre part, des débits fluviaux du Rhin et de la Meuse.

On y donne encore une méthode pour la détermination des courbes de fréquence de dépassement des niveaux maxima où sont donc envisagées aussi les valeurs extrêmes, ceci pour différents endroits de la région du Delta et par rapport à la situation future.

Cette méthode – basée sur l'absence d'interdépendance mutuelle entre l'apparition de niveaux en mer et les débits fluviaux du Rhin (voir Contribution II.3) – fut d'abord appliquée à la situation d'avant l'exécution des Travaux du Delta. Pour Dordrecht, les résultats ont été comparés aux données des recherches statistiques faites au sujet des niveaux enregistrés à l'endroit, pendant la période envisagée. La concordance parut être suffisante, de sorte que l'on est en droit de supposer que cette méthode puisse aussi être appliquée par rapport à la situation d'après la réalisation du Plan du Delta.

Les données requises pour ces calculs ont été obtenues par des essais – effectués au moyen de la maquette hydraulique qui se trouve au Laboratoire d'Hydraulique à Delft et aussi par des résultats de calculs de marée faits par la Section d'Hydraulique de la Direction des Travaux du Delta.

A 7.0 on fait mention du degré d'augmentation de la sécurité pour le secteur nord de la région du Delta – du fait de la réalisation du plan en question.

Après ces quelques paragraphes se rapportant aux modifications des niveaux de marées de tempête qui se produiront à la suite de l'exécution des Travaux du Delta, suit, à 8.0, l'exposé de l'évolution des niveaux de tempête comme elle se produira pendant la réalisation dudit plan.

Les données présentées à 9.0 et à 10.0 ont été d'une grande importance lors de l'établissement, dans sa forme actuelle, du Plan du Delta.

A 9.0 sont traités les changements que vont subir les niveaux de marées-tempête à la suite de différents travaux à exécuter dans le secteur nord de la région du Delta (ou dont l'exécution est à l'étude).

A 10.0 sont indiquées les vitesses qui, après la réalisation du Plan du Delta, se présenteront en cas de marée-tempête, dans plusieurs rivières.

Les auteurs sont J. J. Dronkers et H. J. Strobband.

## 1.0 SAMENSTELLING VAN DE BIJDRAGE

### 1.1 Inleiding

Het doel van deze bijdrage is een nadere motivering te geven van de maatregelen tot verhoging van de veiligheid tegen overstromingen, die door de Deltacommissie in het kader van het Deltaplan zijn voorgesteld.

De bijdrage handelt over de getijbeweging en de stormvloedstanden, die zullen optreden na voltooiing van de deltawerken. Zij geeft ook aan op welke wijze de stormvloedstanden worden bepaald en in welke mate zij door de deltawerken zullen veranderen. Voorts wordt een nadere motivering gegeven van de keuze van de volgorde waarin de werken uitgevoerd worden.

Het verloop van de stroomsnelheden tijdens de uitvoering van de deltawerken wordt niet behandeld.

Voor het verkrijgen van een inzicht in de wijzigingen, die door de uitvoering van het Deltaplan in de waterbeweging zullen optreden, werden door de Rijkswaterstaat vele getijberekeningen uitgevoerd. De toegepaste berekeningsmethoden worden behandeld in Bijdrage III.7.

De omvang van het onderzoek, dat is verricht om tot een goed inzicht te komen inzake de mate van veiligheid tegen overstromingen in het deltagebied, blijkt enigszins uit het feit, dat tot 1960 in het hydraulisch model van de getijwateren in het deltagebied ca. 1200 proeven zijn uitgevoerd.

Het hydraulisch model voor de getijwateren in het deltagebied, waarvan de resultaten van groot belang zijn geweest voor de conclusies van de Deltacommissie en voor de samenstelling van de bijdrage, wordt in Bijdrage IV.1 beschreven.

Over het elektrisch analogon, waarvan de resultaten ook van belang zijn geweest voor de onderzoeken, worden in de Bijdragen III.6 en III.8 mededelingen gedaan.

Bij de beschrijving van de waterloopkundige aspecten van het Deltaplan (3.0) komen o.a. de zoetwaterhuishouding en het terugdringen van de brakwatergrens in de Rotterdamse Waterweg ter sprake. Voor een uitvoerige studie van deze onderwerpen wordt verwezen naar Bijdrage IV.4.

Het ijsbezwaar, dat mede de afmetingen van de Haringvlietsluizen bepaalt, wordt in Bijdrage IV.5 nader behandeld.

De onderzoeken betreffende de stormvloedstanden, die langs de Noordzeekust zijn voorgekomen en in de toekomst verwacht mogen worden, zijn beschreven in de Bijdragen I, II.1, II.4, II.5, III.1, III.2 en III.3.

De kwestie van de onafhankelijkheid van het hoogwater te Hoek van Holland en de waterafvoer van de Rijn te Lobith wordt in Bijdrage II.3 besproken.

De gegevens over het voorkomen van extreme hoge afvoeren van de Rijn, die mede bepalend zijn voor de waterstanden in het deltagebied ten noorden van de dam door het Hellegat <sup>1)</sup>, dat in het vervolg het noordelijk deltagebied genoemd wordt, zijn ontleend aan een nota van de Rijkswaterstaat [1].

### 1.2 Inhoud van de bijdrage

In 2.0 wordt een kort overzicht gegeven van de onderzoeken betreffende de veiligheid in het deltagebied, die in het verleden hebben plaats gehad.

De waterloopkundige aspecten van het Deltaplan, die betrekking hebben op de waterbeweging en op de zoetwatervoorziening, worden in 3.0 in grote lijnen besproken. Eveneens wordt de mate van de veiligheid behandeld.

Voordat het verloop van de maximale stormvloedstanden in het noordelijke deltagebied wordt behandeld, worden in 4.0 de veranderingen in de H.W.- en L.W.-standen na de uitvoering van de deltawerken voor gemiddeld getij en bij verschillende Rijn- en Maasafvoeren besproken. Ook worden in dit hoofdstuk de veranderingen in de eb- en vloedsnelheden behandeld. Hierbij wordt tevens het verloop bij hoge Rijnafoeren nader beschouwd, omdat deze voor de het verst stroomopwaarts gelegen riviergedeelten van het deltagebied de hoogte van de dijken en dus de veiligheid bepalen.

---

<sup>1)</sup> In sommige onderdelen van het Eindverslag van de Deltacommissie wordt gesproken van de Volkerakdam. Hiermede wordt dezelfde dam bedoeld. De naam Hellegatdam geeft nauwkeuriger de plaats van afsluiting aan (zie bijlage IV.3-1.1.1).

Vervolgens worden in 5.0 de veranderingen in de extreme H.W.-standen als gevolg van de uitvoering van het Deltaplan vermeld voor het geval van een zeer hoge hypothetische stormvloed (met het zg. basispeil – zie 5.1 – als topstand). Hierbij is verondersteld, dat de bodemfiguratie en de breedte van de rivieren geen veranderingen ondergaan in vergelijking met de huidige toestand. Voorts is de Oude Maas bij stormvloed open verondersteld. Ten slotte is aangenomen, dat de Brabantse Biesbos en de Zuidhollandse Biesbos, alsmede de inundatiegebieden van de Donge en het Oude Maasje aan de bestaande komberging door bedijking zijn onttrokken.

In 6.0 wordt bij deze veronderstellingen de afhankelijkheid van de H.W.-standen in het deltagebied van het getij in zee en van de afvoeren van de Rijn en de Maas nader behandeld.

Tevens wordt een methode aangegeven voor de bepaling van de H.W.-overschrijdingskrommen, ook van de extreme waarden, voor verschillende plaatsen in het deltagebied voor de toekomstige situatie. Deze methode, die berust op de onderlinge onafhankelijkheid van het voorkomen van bepaalde H.W.-standen in zee en Rijnafoeren <sup>1)</sup>, werd eerst toegepast voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. De resultaten voor Dordrecht worden vergeleken met de gegevens uit het statistisch onderzoek van de geregistreerde H.W.-standen. De overeenstemming blijkt voldoende te zijn, zodat verondersteld mag worden, dat deze methode ook toegepast kan worden voor de toestand na uitvoering van het Deltaplan. Hiervoor moet echter de afhankelijkheid tussen de H.W.-standen bij een bepaalde plaats in het deltagebied en de randvoorwaarden, nl. de H.W.-standen in zee en de Rijnafoeren, bekend zijn. Als voorbeeld zijn weer beschouwd de H.W.-standen te Dordrecht, vanwege de centrale ligging van deze plaats in het deltagebied. De mate van nauwkeurigheid van de berekende overschrijdingskromme werd nader bestudeerd.

De voor deze berekeningen nodige gegevens werden hoofdzakelijk verkregen uit resultaten van modelproeven van het hydraulisch model van de benedenrivieren en zeearmen in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft en uit de resultaten van getijberekeningen van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst.

De mate van verhoging van de veiligheid voor het noordelijk deltagebied door de uitvoering van het Deltaplan wordt in 7.0 behandeld.

Na deze hoofdstukken, die betrekking hebben op de wijzigingen in de stormvloedstanden bij het voltooide Deltaplan, wordt in 8.0 vermeld hoe het verloop van de S.V.-standen gedurende de uitvoering van het Deltaplan zal zijn.

In 9.0 worden als aanvulling van 8.0 de wijzigingen behandeld, die de S.V.-standen zouden ondergaan door de uitvoering van verschillende andere werken in het deltagebied of door werken, waarvan de uitvoering wordt overwogen. Tevens worden de veiligheids- of waterbouwkundige redenen aangegeven, waarom bepaalde werken niet worden uitgevoerd. In 10.0 zijn de stroomsnelheden in de verschillende rivieren bij stormvloeden na de totstandkoming van het Deltaplan in het kort besproken.

### 1.3 Auteurs

De bijdrage is samengesteld door Dr. J. J. Dronkers (directie Waterhuishouding en Waterbeweging) en H. J. Stroband Ing. (Deltadienst).

De gegevens, waarop de onderzoeken van deze bijdrage berusten, zijn afkomstig van de resultaten van natuur- en laboratoriummetingen, alsmede van getijberekeningen.

Verschillende instanties, nl. de Deltacommissie, het Waterloopkundig Laboratorium te Delft en de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst, hebben de onderzoeken gestimuleerd. De laatstgenoemde Afdeling fungeerde als centrum van onderzoek.

## 2.0 OVERZICHT VAN DE ONDERZOEKINGEN, DIE IN HET VERLEDEN PLAATS HEBBEN GEHAD

De studies betreffende de hoge waterstanden in het deltagebied, die door zware stormvloeden in het verleden telkens gestimuleerd zijn, moeten het noodzakelijk inzicht verschaffen om tot maatregelen te komen, die een grotere veiligheid in dit gebied waarborgen.

---

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage II.3.

Na de stormvloed van 1916 werd een Staatscommissie ingesteld, die tot taak had een onderzoek in te stellen naar de oorzaak van de hoogwaterstanden, voorgekomen tijdens de genoemde stormvloed op de benedenrivieren, en wel in het bijzonder op de Rotterdamse Waterweg. Haar studies zijn gepubliceerd in een verslag, dat verschenen is tussen 1920 en 1922 [2].

Voorts werd in 1918 een Staatscommissie ingesteld voor de Zuiderzee met de bedoeling om na te gaan, in hoeverre afsluiting van deze zee hogere waterstanden tijdens storm in het Waddengebied zou veroorzaken. Eén van de overwegingen, die leidde tot opstelling van het plan tot afsluiting van de Zuiderzee, betrof de veiligheid van de aangrenzende gebieden ten aanzien van stormvloeden. Het verslag van deze commissie werd gepubliceerd in 1926 [3].

Door de directie Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat werden vervolgens statistische onderzoeken uitgevoerd betreffende het optreden van stormvloeden, waarvan de resultaten zijn weergegeven in een artikel van WEMELSFELDER [4].

In 1939 werd door de Minister van Waterstaat een commissie ingesteld (Stormvloedscommissie), die tot taak had, vast te stellen op welke stormvloedstanden in het benedenrivierengebied gerekend moest worden en welke invloed inpolderingswerken daarop zouden kunnen uitoefenen.

Gedurende de bezettingsjaren 1940—1945 werd bij de directie Benedenrivieren van de Rijkswaterstaat onder leiding van DR. IR. J. VAN VEEN een plan opgesteld, waarbij verschillende eilanden in het deltagebied ten noorden van het Haringvliet verenigd zouden worden (Vier-Eilandenplan en Vijf-Eilandenplan).<sup>1)</sup>

Vervolgens werd in 1946 tijdens een vergadering van de Stormvloedscommissie door PROF. IR. J. TH. THUISSE het voorstel gedaan een hydraulisch model van het noordelijk deltagebied in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft te bouwen, om te zamen met de getijberekeningen de hydraulische consequenties van deze plannen met mogelijke varianten vlugger te onderzoeken. In 1947 werd door de Rijkswaterstaat aan het laboratorium opdracht gegeven tot het bouwen van genoemd model.

In de loop van 1950 en 1951 werd door de directie Benedenrivieren van de Rijkswaterstaat op voorstel van DR. IR. J. VAN VEEN aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht gegeven proeven uit te voeren met uitwateringssluizen resp. in het Hollands Diep nabij Willemstad, bij Tiengemeten en in de omgeving van Hellevoetsluis.

Kort vóór de ongekend hoge stormvloed van 1 februari 1953 werd door de Minister van Verkeer en Waterstaat aan de Stormvloedscommissie opdracht gegeven de onderzoeken inzake beveiliging tegen stormvloeden uit te breiden tot het zuidelijk deltagebied.

Na de overstromingsramp van 1953 werd door de Minister de Deltacommissie ingesteld. Mede dank zij de reeds verrichte onderzoeken kon deze commissie in een relatief korte tijd verschillende interimadviezen betreffende de beveiliging tegen hoge H.W.-standen in het deltagebied uitbrengen.

In het Eindverslag van de Deltacommissie<sup>2)</sup> worden de verschillende afsluitingen gemotiveerd, die de beveiliging van het deltagebied tot doel hebben.

### 3.0 DE WATERLOOPKUNDIGE ASPECTEN VAN HET DELTAPLAN

#### 3.1 De primaire en secundaire afsluitingen

Voor de definitieve bescherming van het grootste deel van de zuidwestelijke delta tegen overstromingen bij stormvloeden (het Deltaplan), moeten achtereenvolgens het Veerse Gat, het Haringvliet, het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde worden afgesloten. Voor de afvoer van het Rijn- en Maaswater zijn uitwateringssluizen geprojecteerd in de dam in het Haringvliet.

De afsluitingen van deze zeegaten zullen grote veranderingen veroorzaken in de getijbeweging van de wateren, die thans in open verbinding staan met de zee. Na uitvoering van het Deltaplan zullen alleen de Rotterdamse Waterweg en de Westerschelde nog open blijven. In het binnengebied van de delta, dat nog in verbinding staat met de Rotterdamse Waterweg, zal de getijbeweging merkbaar blijven en de invloed van stormvloeden zich doen gevoelen.

<sup>1)</sup> Bij het Vier-Eilandenplan zouden de eilanden Rozenburg, Voorne-Putten, Hoekse Waard en IJsselmonde tot één waterstaatkundig geheel gemaakt worden. Bij het Vijf-Eilandenplan zou tevens het Eiland van Dordrecht betrokken worden. Zie ook [8].

<sup>2)</sup> Zie deel 1 van het Rapport Deltacommissie.



Dat aan de uitvoering van de deltawerken grote problemen verbonden zijn, vooral betreffende de afsluitingen zelf, blijkt uit de volumes water, die bij de toestand vóór de uitvoering van de werken door de zeegaten gedurende één getij bij eb en bij vloed heen en weer bewegen (zie tabel 3.0.1).

Om te vermijden, dat tijdens de bouw van de dammen een ongunstige waterbeweging in bepaalde getijwateren zal optreden, zullen in het deltagebied eerst enige secundaire afsluitingen moeten worden uitgevoerd. Hiertoe is, voorafgaande aan de afsluiting van het Veerse Gat in 1961, de Zandkreek nabij het splitsingspunt met de Oosterschelde afgesloten (4 mei 1960).

Tabel 3.0.1

Eb- en vloedvolumes in miljoenen m<sup>3</sup> per getij in de zearmen ter plaatse van de ontworpen afsluitingen

Naam van het zeegat	Totale oppervlakte van het dwarsprofiel beneden N.A.P. vóór de uitvoering van de afsluiting, in m <sup>2</sup>	Verskil tussen G.L.W. en G.H.W. vóór de uitvoering van de afsluiting in m	Gemiddeld ebvolume in miljoenen m <sup>3</sup>	Gemiddeld vloedvolume in miljoenen m <sup>3</sup>
Haringvliet . . . . .	20 000	1,85	290	230
Brouwershavense Gat . . . . .	30 000	2,30	360	360
Oosterschelde . . . . .	80 000	2,80	1 100	1 100
Veerse Gat . . . . .	7 500	2,90	70	70

De getijstromen in de Zandkreek waren vóór de afsluiting zeer gering en zouden, bij afsluiting van het Veerse Gat alleen, in belangrijke mate toenemen. Door deze beide afsluitingen wordt het nuttige effect zo groot mogelijk, daar dan het zg. Drie-Eilandenplan voltooid is, waarbij Walcheren, Noord-Beveland en Zuid-Beveland door dammen verbonden zijn. Het gebied rondom het Veerse Gat en de Zandkreek heeft dan reeds een grote mate van veiligheid bereikt. De afsluiting van de Zandkreek was technisch eenvoudig in verband met de geringe eb- en vloedvolumes ter plaatse van de afsluiting, veroorzaakt door het aanwezige wantij (beide volumes zijn 7 miljoen m<sup>3</sup>).

Vóórdat tot afsluiting van het Brouwershavense Gat zal kunnen worden overgegaan, moet de vloedkom, gevormd door het Brouwershavense Gat en de Grevelingen, gescheiden worden van het Zijpe en het Krammer. Zou dit niet gebeuren, dan zou met het vorderen van de afsluiting van het Brouwershavense Gat het vullen en ledigen van deze vloedkom in toenemende mate via het Zijpe plaats vinden, met als gevolg, dat hier ontoelaatbaar grote snelheden zouden gaan optreden. Hetzelfde verschijnsel zou zich voordoen, wanneer eerst de Oosterschelde zou worden afgesloten, daar dan dit bekken via het Zijpe gevuld en geleidigd moet worden. Om dit te voorkomen, moet, vóórdat tot de afsluiting van het Brouwershavense Gat wordt overgegaan, de zg. Grevelingendam worden gebouwd. Deze dam verbindt het eiland Schouwen-Duiveland nabij Bruinisse met het eiland Goeree-Overflakkee nabij Oude Tonge. Om de uitvoering van het gehele complex van werken regelmatig over een aantal jaren te verdelen, werd besloten, de Grevelingendam in een vroeg stadium te bouwen, te meer daar hierdoor het isolement van Schouwen-Duiveland in belangrijke mate kan worden opgeheven.

### 3.2 De betekenis van de bouw van de Hellegatdam

Behalve de afsluitingen van het Veerse Gat, de Oosterschelde, het Brouwershavense Gat en het Haringvliet, met de daarbij behorende secundaire afsluitingen van de Zandkreek en de Grevelingen, adviseerde de Deltacommissie een scheiding tot stand te brengen tussen het noordelijke en het zuidelijke deel van het deltagebied door de aanleg van een dam met scheepvaart- en inlaatsuizen in het Hellegat. De wateren ten zuiden van deze dam, die in de toekomst het Zeeuwse Meer, het Grevelingenmeer en het Veerse Meer <sup>1)</sup> zullen vormen, worden dan geheel van de zee afgesloten. Door eventueel inlaten

<sup>1)</sup> Deze namen zijn niet officieel vastgesteld.

van zoet water door sluisen in de dam door het Hellegat en door inlaatrichtingen in de dammen door de Grevelingen en de Zandkreek en voorts door spuien via sluisen in de dammen door de zee-gaten, kan de waterhuishouding van deze meren worden beheerst.<sup>1)</sup>

Het is echter de vraag in welk stadium van de uitvoering van het Deltaplan de afsluiting van het Hellegat zal plaats vinden. De Deltacommissie brengt hierover geen advies uit, daar zij meent, dat de beslissing op dit punt moet worden overgelaten aan de regering, daartoe voorgelicht door de betrokken instanties.<sup>2)</sup>

In het kort wordt over de waterloopkundige redenen volgens resultaten van modelproeven het volgende medegedeeld.

Door de afsluiting van de Grevelingen nemen de maximale eb- en vloednelheden in het Noorderslaak toe. In het Zijpe blijft de maximale vloednelheid vrijwel onveranderd, terwijl de maximale ebsnelheid daarentegen met ca. 25% toeneemt. Daar echter bij de toestand vóór de uitvoering van de Grevelingendam de maximale ebsnelheden in het Zijpe ca. 30% lager zijn dan de maximale vloednelheden, zullen ook na de afsluiting van de Grevelingen de maximale ebsnelheden in het Zijpe wat kleiner blijven dan de maximale vloednelheden.

Ten gevolge van de verhoging van de maximale snelheden in het Noorderslaak moet echter daar op een verruiming van de profielen gerekend worden. Hierdoor zullen de maximale eb- en vloednelheden in het Zijpe weer ca. 5% hoger worden t.o.v. de toestand zonder verruiming.

Wordt ook het Hellegat afgesloten, dan zullen de maximale ebsnelheden in het Zijpe nog meer gaan toenemen, nl. met nog eens 15%, terwijl de maximale vloednelheden met 15% afnemen. De maximale ebsnelheden zijn dan ca. 50% groter geworden dan de maximale ebsnelheden bij de toestand vóór de bouw van de Grevelingendam en de Hellegatdam, terwijl de maximale vloednelheden 10% kleiner zijn.

In deze eindsituatie zijn dus de maximale ebsnelheden ongeveer 10% groter dan de maximale vloednelheden voor de uitvoering van de afsluitingen.

Het stroombeeld in het Zijpe, d.w.z. het verloop van de snelheden over de dwarsprofielen, zal na de afsluiting van de Grevelingen geen verdere wijzigingen ondergaan door de afsluiting van het Hellegat. Alleen de grootte van de snelheden zal op de hiervoor aangegeven wijze veranderen.

Indien het Hellegat niet in een vroeg stadium wordt afgesloten, zullen de Haringvlietsluizen niet geregeld gesloten kunnen worden, met uitzondering van een enkele keer tijdens een stormvloed om de veiligheid in het aangrenzende gebied te verhogen. De snelheden in Hellegat en Volkerak nemen namelijk bij gesloten sluisen aanzienlijk toe, hetgeen zowel voor de scheepvaart als voor de instandhouding van de geulen bezwaarlijk is. Bij verdieping van deze geulen zullen de stroomsnelheden in verband met de vermindering van de weerstand zelfs nog meer gaan toenemen.

Blijven de Haringvlietsluizen echter gedurende het gehele getij voortdurend openstaan, dan zullen daar, vooral bij ongunstige springtijden, grote eb- en vloednelheden optreden, welke de verdedigingswerken zowel beneden- als bovenstrooms van de sluisen kunnen aantasten. Bij gesloten Hellegat zijn de totale hoeveelheden water, die per getij de sluisen passeren, belangrijk kleiner, zodat dan de aanval op de verdedigingswerken geringer zal zijn.

Bij gesloten Hellegat is de veiligheid tegen stormvloeden in het noordelijke deltagebied zo groot mogelijk. Daarentegen nemen bij een vroege bouw van de Hellegatdam, de stormvloedstanden ten zuiden van deze dam toe, zodat daar voor de periode vóór de afsluiting van de Oosterschelde dijkverhogingen nodig zijn.

### 3.3 De zoetwaterhuishouding in het noordelijke deltagebied

Bij gesloten Hellegat kan door de betere waterbeheersing en de verzoeting van het Haringvliet ook de zoetwaterhuishouding in het noordelijke deltagebied worden verbeterd.

Bovendien worden voor de verbetering van de zoetwaterhuishouding in het noorden van Nederland de Neder-Rijn en de Lek gekanaliseerd. Dan zal in tijden van lage afvoeren meer water naar het IJsselmeer worden gestuwd via de IJssel dan vóór de kanalisatie het geval was, waardoor dan de Neder-Rijn en de Lek minder oppervlaktewater zullen ontvangen. Deze vermindering van de afvoer van de Lek kan

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.4.

<sup>2)</sup> Zie 7.2 van het Eindverslag (deel 1 van het Rapport Deltacommissie).

worden gecompenseerd door minder water via de Haringvlietsluizen te spuien, zodat meer water via de Noord naar de Rotterdamse Waterweg kan worden gestuwd. Door de kanalisatie van de Neder-Rijn en de Lek wordt dus de zoetwaterhuishouding van zuidwestelijk Nederland gekoppeld aan die van het noorden van het land.

Van de totale hoeveelheid water, die door de afvoer van de Rijn en de Maas Nederland binnenkomt, stroomt vóór de uitvoering van de deltawerken ca. 38% via het Scheur en de Nieuwe Waterweg naar zee. Via het Haringvliet wordt ca. 55% afgevoerd. De resterende 7% stroomt via de IJssel naar het IJsselmeer.

Daar vóór de uitvoering van de deltawerken de genoemde 55% van de gemiddelde Rijn- en Maasafvoer door het Haringvliet vrijwel onbenut naar zee stroomt, biedt het Deltaplan ook gunstige perspectieven voor de bestrijding van de verzilting op de Rotterdamse Waterweg en dus een verbetering van de zoetwaterhuishouding in de aangrenzende gebieden en van de drinkwatervoorziening van Rotterdam.

Voor het voldoende terugdringen van het verzilte water op de Rotterdamse Waterweg is een bepaalde hoeveelheid Rijn- en Maaswater nodig. Bij hogere afvoeren van deze rivieren moet het overtollige water, dat niet nodig is voor de zoetwaterhuishouding, via de Haringvlietsluizen tijdens de ebperiode (de waterstanden op het Haringvlietbekken zijn dan hoger dan die aan de buitenzijde van de sluisen) naar zee worden geloosd. Indien de gezamenlijke afvoer van Lek, Waal en Maas gelijk is aan de totale hoeveelheid water, die nodig is voor het beheersen van de brakwatergrens op de Rotterdamse Waterweg en voor de zoetwaterhuishouding, zullen de sluisen gedurende het gehele getij gesloten blijven. Bij nog lagere afvoeren blijven de sluisen uiteraard ook gesloten, maar dan kan niet meer aan de eisen betreffende de brakwatergrens en de zoetwaterhuishouding worden voldaan.

De grootte van de spuiopening in het Haringvliet en de tijdstippen van het openen en sluiten van de sluisen zijn dus mede afhankelijk van het programma voor de brakwaterbestrijding.

Ten einde de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg in perioden van lage afvoeren zo effectief mogelijk te maken, heeft de Deltacommissie voorgesteld een beweegbare kering in de benedenmond van de Oude Maas nabij de voormalige Westgeul aan te brengen. In perioden van lage afvoeren zal dan de kering gesloten worden, zodat de totale afvoer van de Waal en van de Maas via de Noord, waaraan de afvoer van de Lek wordt toegevoegd, langs de Rotterdamse Waterweg naar zee wordt afgevoerd. Deze toestand is het gunstigst voor het terugdringen van het brakke water.

### 3.4 Afmetingen Haringvlietsluizen

Opdat in de Rotterdamse Waterweg en vooral in de Noord na voltooiing van de deltawerken niet te grote ebsnelheden bij hoge Rijn- en Maasafvoeren zullen optreden, moeten de afmetingen van de spuisluizen in de Haringvlietdam zo bepaald worden, dat bij de hogere afvoeren van Rijn en Maas de hiervoren genoemde 55% afvoer langs het Haringvliet naar zee gehandhaafd kan worden. Verder moet bij ijsgang zoveel mogelijk ijs en dus ook water door het Haringvliet gevoerd kunnen worden, door bijvoorbeeld de Haringvlietsluizen gedurende het gehele getij open te houden. In dit geval wordt de oorspronkelijke getijbeweging weer ten dele hersteld.

De zeer hoge afvoeren van de Rijn en de Maas en de afvoer van ijs zijn belangrijke factoren geweest voor het vaststellen van de afmetingen van de Haringvlietsluizen. Uit statistische onderzoeken blijkt, dat aanzienlijk hogere Rijn- en Maasafvoeren in de toekomst verwacht kunnen worden dan in de waarnemingsperiode zijn voorgekomen. Met een Rijnafvoer te Lobith van ca. 20 000 m<sup>3</sup>/sec moet dan rekening gehouden worden. De hoogste afvoer, die in de waarnemingsperiode is voorgekomen was die van 3-4 januari 1926, nl. ca. 13 000 m<sup>3</sup>/sec van de Rijn te Lobith en ca. 3000 m<sup>3</sup>/sec van de Maas te Lith [7].

Volgens berekeningen zal bij een extreme afvoer van de Rijn van ca. 20 000 m<sup>3</sup>/sec door de getij-invloed een maximale afvoer van ongeveer 21 000 m<sup>3</sup>/sec door de Haringvlietsluizen kunnen optreden.

Daar het mogelijk is, dat ontgrondingen kunnen ontstaan, wanneer de snelheden groter worden dan 4 m/sec, is de oppervlakte volgens deze snelheid bepaald. De werkelijke opening van de Haringvlietsluizen moet dan ca. 5300 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. bedragen. Uit modelproeven blijkt bovendien, dat bij ijsgang, waarbij de bovenafvoer meestal gering is, bij voortdurend geopende sluisen de getijbeweging op Haringvliet en Hollands Diep nagenoeg maximaal is en deze bij nog grotere sluisopening praktisch

niet meer zou toenemen. Dan zijn de maximale eb- en vloodsnelheden kleiner dan bij de extreme oppervlatafvoeren.

Met het oog op ontgrondingen is een wijde sluis met een ondiep gelegen drempel te prefereren boven een smallere sluis met een diepe drempel. Mede in verband met de zoutbestrijding is een hoge drempel aangenomen (hoogte N.A.P. — 5,50 m). De sluisbreedte zou dan ca. 960 m moeten worden.

De vaststelling van de afmetingen van de doorstroomopening van de sluisen berust in belangrijke mate op inzichten, die uit ervaringen zijn verkregen.

In verband met de ijsbestrijding zou het gewenst zijn om de totale doorstroombreedte onder te verdelen in openingen met een breedte van ca. 100 m. Vanwege de golfkrachten op de constructie in de sluisen is de afstand van de pijlers echter kleiner aangenomen, nl. 55 à 60 m. De totale doorlaatbreedte van 960 m is dientengevolge onderverdeeld in 17 eenheden van elk 56,5 m, waartussen stroompijlers ter breedte van 5,5 m.

### 3.5 Waterstanden Haringvlietbekken

Zoals werd opgemerkt, zal bij hogere afvoeren van de Rijn en van de Maas het overtollige water via de Haringvlietssluisen worden geloosd, vooral met het oog op de beperking van de stroomsnelheden op de benedenrivieren en speciaal op de Noord. Naarmate de afvoer toeneemt, zal de sluisopening groter moeten worden. Hierdoor zullen echter ook de gemiddelde waterstanden van plaats tot plaats op het Haringvliet gaan dalen, totdat bij een Rijnafvoer van ca. 6000 m<sup>3</sup>/sec de laagste gemiddelde waterstanden op het Haringvliet worden bereikt. Dan zijn dus de sluisen geheel geopend. Bij hogere afvoeren zullen de gemiddelde waterstanden weer gaan stijgen.

Ook het tijverschil op het Haringvlietbekken zal bij hogere afvoeren door de grotere opening van de sluisen groter zijn dan bij de lagere afvoeren. Wanneer dit laatste het geval is, zal niet alleen het normale getij op het Haringvliet en de aangrenzende rivieren in belangrijke mate zijn verzwakt, maar zullen tevens de storingen in het getij in zee ten gevolge van windinvloeden enz., zich in meer beperkte mate in de rivieren doen gevoelen (zie 4.0).

In ijswinters kunnen perioden voorkomen, waarin vanwege de ijsbestrijding en ijsafvoer de sluisen geheel geopend zullen worden. De getijbeweging vanuit zee kan dan vrijwel ongehinderd het Haringvliet binnendringen. De toestand van vóór de uitvoering van de deltawerken is dan vrijwel hersteld. Door de afsluiting van het Hellegat zal dan toch de verticale getijbeweging op het Haringvliet en de aangrenzende rivieren kleiner zijn dan vóór de uitvoering van de werken. Het gemiddelde tijverschil zal dan te Willemstad tot ca. 70% van de oorspronkelijke waarde afnemen.

### 3.6 De veiligheid

Het is één van de doeleinden van de studies van deze bijdrage om aan te tonen in hoeverre de veiligheid tegen overstromingen in het deltagebied verzekerd is.

Wat de toestand bij stormvloed betreft, kan worden opgemerkt, dat analoog met de verzwakking van de getijbeweging in het binnengebied van de delta ten noorden van de dam door het Hellegat, de verlaging van de stormvloedstanden in dit gebied van grote betekenis is, te meer als in het beginstadium van de storm of kort tevoren de Haringvlietssluisen geheel worden gesloten. De hoogste stormvloedstand in het Haringvlietbekken bij een bepaalde storm is, behalve van de vorm en de duur van de storm, ook afhankelijk van de rijzing in het bekken, die ontstaat doordat dan de lozing van het oppervlatafwater gestremd is. In verband hiermede is het van speciaal belang het moment van sluiten van de Haringvlietssluisen en dus het uitgangspeil op het Haringvlietbekken, zo gunstig mogelijk te kiezen.

Ten einde een optimale verlaging van de stormvloedstanden langs de Rotterdamse Waterweg te bereiken, dient tijdens een stormvloed de beweegbare kering in de benedenmond van de Oude Maas geheel geopend te zijn.

Door de bouw van de beweegbare stormvloedkering in de benedenmond van de Hollandse IJssel (1958) is voor de aan deze zijrivier van de Rotterdamse Waterweg grenzende gebieden reeds een grote veiligheid verkregen <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Zie ook het Tweede Interimadvies, opgenomen in deel 1.

#### 4.0 DE GETIJBEWEGING IN HET DELTAGEBIED VÓÓR EN NA DE UITVOERING VAN DE DELTAWERKEN BIJ GEMIDDELD GETIJ IN ZEE EN BIJ VERSCHILLENDE RIJN- EN MAASAFVOEREN

##### 4.1 Een algemene beschouwing over de verticale getijbeweging langs de kuststrook van Zuidwest-Nederland

In de benedenrivieren en zeearmen, die de verbinding vormen tussen de Noordzee en de bovenrivieren Rijn en Maas, plant de getijbeweging van de Noordzee zich voort via de mondingen van de grote zeearmen, nl. de Oosterschelde, het Brouwershavense Gat en het Haringvliet en via de mond van de Rotterdamse Waterweg.

Zoals bekend, kan de getijbeweging gesplitst worden in een aantal partiële bewegingen, die dezelfde hoeksnelheid hebben als de getijverwekkende krachten of sommen en verschillen daarvan. Immers, deze krachten worden veroorzaakt door de aantrekkingskracht van de maan en van de zon op de watermassa's van de aarde. Met behulp van de zg. harmonische analyse der getijden kunnen de partiële getijden bepaald worden [5].

In tabel 4.1.1 zijn de amplituden en fasen opgegeven van het halfdaagse middelbare zon- en maangetij, resp.  $S_2$ - en  $M_2$ -getij genaamd, ter plaatse van peilschaalstations, gelegen aan de Noordzee of in haar nabijheid. Voor de getijconstanten van andere partiële getijden langs de Nederlandse kust wordt verwezen naar [6]. Het  $M_2$ -getij overweegt langs de kust ten opzichte van de andere partiële getijden. De amplitude van het daaropvolgende belangrijkste getij, nl. het  $S_2$ -getij, bedraagt ca. 2/5 van die van het  $M_2$ -getij. De overwegende invloed van het  $M_2$ -getij heeft tot gevolg, dat de opeenvolgende H.W.- en L.W.-standen steeds ongeveer 25 minuten later vallen en van dag tot dag ca. 50 minuten.

Tabel 4.1.1  
Amplituden en fasen van het halfdaagse middelbare zon- en maangetij bij verschillende peilschaalstations langs de Nederlandse kust

Plaats	Type: halfdaags middelbaar zongetij Hoeksnelheid per uur 30°		Type: halfdaags middelbaar maangetij Hoeksnelheid per uur 28°.9841	
	A in cm	K in graden	A in cm	K in graden
Vlissingen . . . . .	48	98	172	41
Brouwershaven . . . . .	29	127	114	67
Hellevoetsluis . . . . .	21	148	90	86
Hoek van Holland . . . . .	19	131	75	71
IJmuiden . . . . .	17	181	66	113
Den Helder . . . . .	17	246	62	179

A = amplitude = de maximale uitwijking t.o.v. de ruststand bij een sinusoidale harmonische beweging.

K = het aantal graden, dat de fase van het werkelijk partiële getij in tijd achter is op de theoretische fase van dit getij.

Daar de H.W.- en L.W.-standen van het zongetij steeds op hetzelfde ogenblik van de dag optreden en het maangetij 50 minuten per dag later voorkomt, zal op bepaalde dagen langs de Nederlandse kust, en wel ongeveer  $1\frac{1}{2}$  à  $2\frac{1}{2}$  dag na volle en nieuwe maan, het H.W. van het  $S_2$ -getij samenvallen met het H.W. van het  $M_2$ -getij en dan springtij veroorzaken, terwijl  $1\frac{1}{2}$  à  $2\frac{1}{2}$  dag na de kwartierstanden, het H.W. van het  $S_2$ -getij samenvalt met het L.W. van het  $M_2$ -getij of omgekeerd en dan doottij veroorzaakt.

Hoewel de overige partiële getijden kleinere amplituden hebben, kunnen ze gezamenlijk toch een niet onaanzienlijke invloed uitoefenen op de dagelijkse verticale getijden. Hierdoor kunnen ze ook nog belangrijke fluctuaties in de H.W.- en L.W.-standen teweegbrengen. Als gevolg van het samengaan van  $M_2$ - en  $S_2$ -getij kunnen de H.W.-standen te Hoek van Holland variëren van N.A.P. + 56 cm tot N.A.P. + 94 cm. Worden ook de verdere partiële getijden in rekening gebracht, dan zijn variaties mogelijk van N.A.P. + 30 cm tot N.A.P. + 130 cm. Het gemiddelde astronomische H.W. te Hoek van Holland kan gesteld worden op N.A.P. + 90 cm.

In tabel 4.1.2 zijn voor enige peilschaalstations langs de kust opgegeven de gemiddelde H.W.- en L.W.-standen en het tijverschil bij doodtij, gemiddeld tij en springtij; deze zijn bepaald uit de waarnemingen.

Tabel 4.1.2

H.W.- en L.W.-standen bij doodtij, gemiddeld tij en springtij voor verschillende peilschaalstations langs de Nederlandse kust in cm t.o.v. N.A.P., met bijbehorend tijverschil in cm

Plaats	Doodtij			Gemiddeld tij			Springtij		
	H.W.	L.W.	Tijverschil	H.W.	L.W.	Tijverschil	H.W.	L.W.	Tijverschil
Vlissingen . . . . .	+ 142	— 152	294	+ 190	— 184	374	+ 227	— 205	432
Vere . . . . .	+ 125	— 128	253	+ 154	— 146	300	+ 177	— 157	334
Vlietepolder . . . . .	+ 116	— 127	243	+ 143	— 141	284	+ 165	— 150	315
Burghsluis . . . . .	+ 110	— 126	236	+ 137	— 139	276	+ 158	— 147	305
Repart. . . . .	+ 91	— 107	198	+ 119	— 117	236	+ 141	— 122	263
Brouwershaven . . . . .	+ 97	— 107	204	+ 125	— 117	242	+ 147	— 122	269
Ouddorp . . . . .	+ 95	— 102	197	+ 123	— 112	235	+ 145	— 117	262
Hellevoetsluis . . . . .	+ 87	— 78	165	+ 103	— 80	183	+ 116	— 82	198
Hoek van Holland . . . . .	+ 76	— 66	142	+ 90	— 66	156	+ 104	— 66	170
Scheveningen . . . . .	+ 66	— 70	136	+ 90	— 73	163	+ 106	— 76	182
IJmuiden . . . . .	+ 64	— 68	132	+ 84	— 76	160	+ 101	— 80	181
Den Helder . . . . .	+ 39	— 71	110	+ 50	— 84	134	+ 62	— 96	158

De astronomische getijden langs onze kust kunnen echter aan ernstige storingen onderhevig zijn ten gevolge van meteorologische effecten. Bij westelijke winden worden de watermassa's naar de kust gestuwd, waardoor de waterstanden stijgen. Bij oostelijke winden daarentegen worden de waterstanden verlaagd.

In tabel 4.1.3 zijn van kuststations de gemeten maximale en minimale H.W.- en L.W.-standen opgegeven.

Tabel 4.1.3

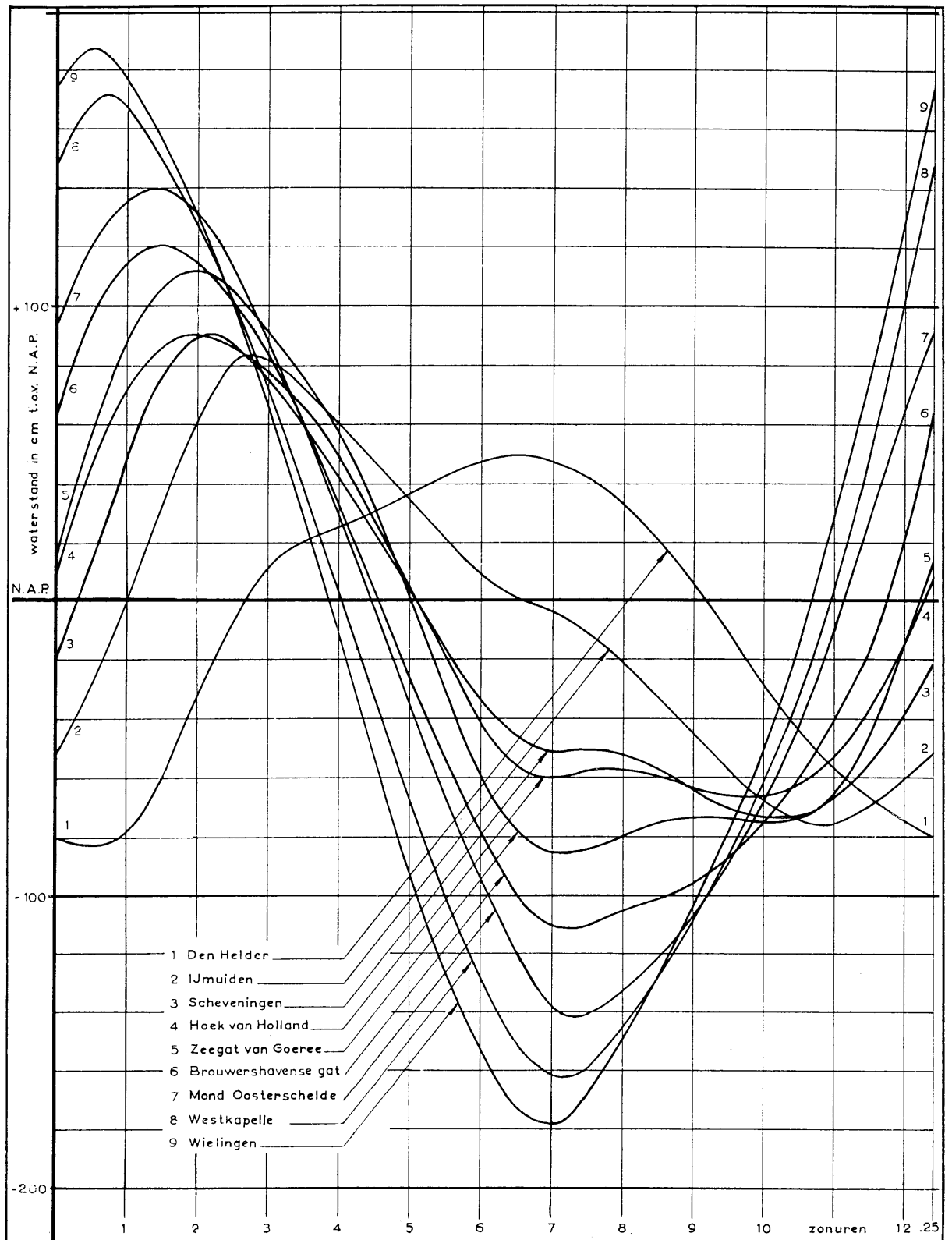
Gemeten maximale en minimale H.W.- en L.W.-standen voor verschillende peilschaalstations langs de Nederlandse kust in cm t.o.v. N.A.P.

Plaats	Gemiddeld H.W. 1951.0 <sup>1)</sup>	Hoogst bekende H.W.-stand	Laagst bekende H.W.-stand	Gemiddeld L.W. 1951.0 <sup>1)</sup>	Hoogst bekende L.W.-stand	Laagst bekende L.W.-stand
Vlissingen . . . . .	+ 190	+ 455 (1953)	— 16 (1902)	— 184	+ 126 (1881)	— 326 (1929)
Brouwershaven . . . . .	+ 125	+ 425 (1953)	— 46 (1910)	— 117	+ 168 (1881)	— 273 (1885)
Hellevoetsluis . . . . .	+ 103	+ 410 (1953)	— 57 (1910)	— 80	+ 190 (1881)	— 226 (1885)
Hoek van Holland . . . . .	+ 90	+ 385 (1953)	— 65 (1902)	— 66	+ 140 (1901)	— 214 (1870) (1871)
IJmuiden . . . . .	+ 84	+ 385 (1953)	— 85 (1902)	— 76	+ 125 (1916)	— 250 (1913)

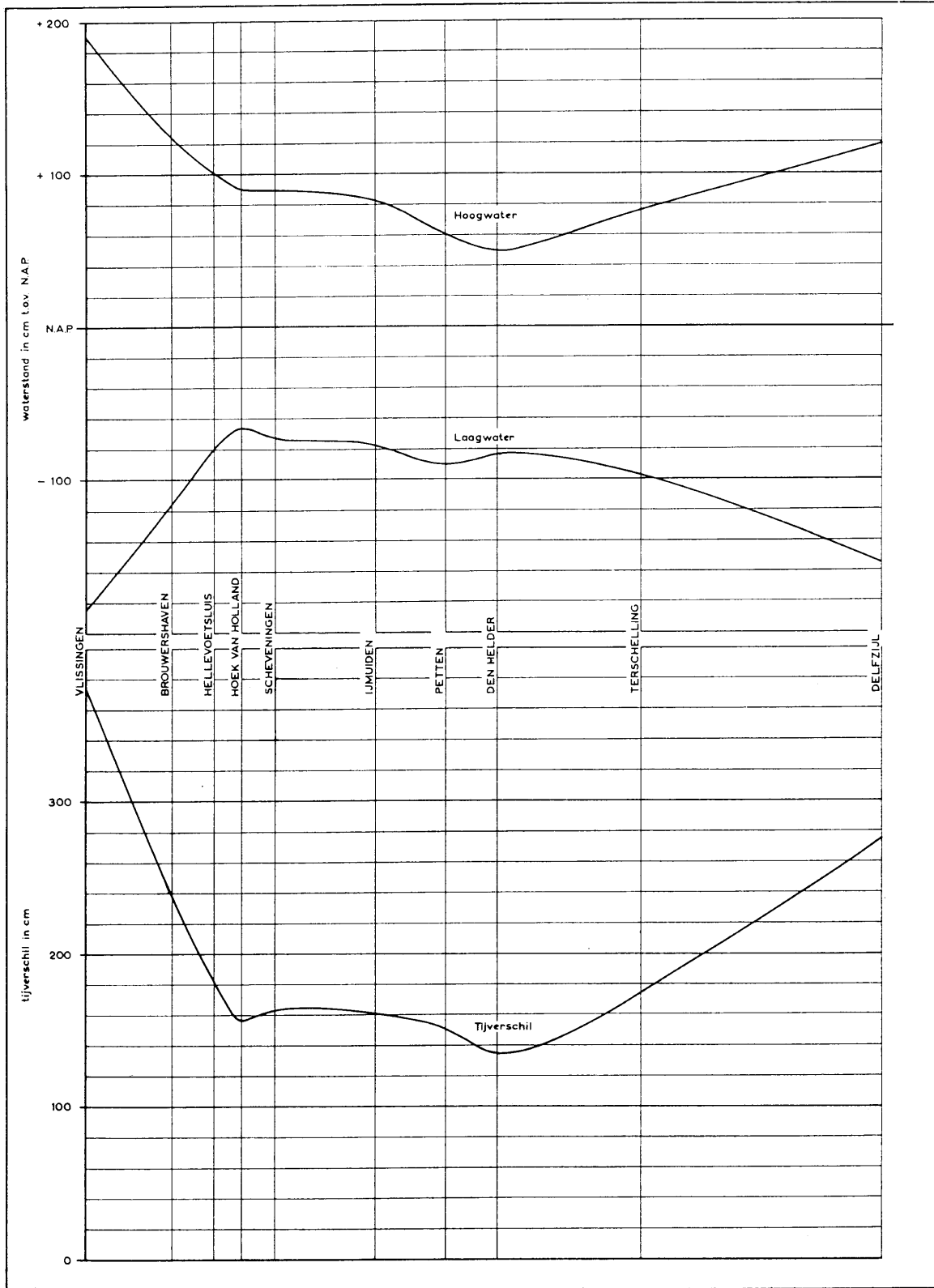
<sup>1)</sup> Dit zijn de gemiddelden, gereduceerd tot de toestand, zoals deze zich heeft ontwikkeld tot het einde van het tijdvak 1941-1950, dus op 1 januari 1951, aangeduid met 1951.0 (zie nader [7], pagina 15).

Te Hoek van Holland is het gemeten maximale H.W. 295 cm boven het gemiddelde H.W. en het minimale H.W. 155 cm beneden het gemiddelde. De gemeten laagste L.W.-standen zijn bepalend voor de hinder, die de scheepvaart ondervindt. De hoogste H.W.-standen (stormvloeden) zijn bepalend voor de dijkhoogten.

Volgens het voorgaande is het getij langs onze kust een variërend verschijnsel. Om de invloed van de veranderingen, veroorzaakt door de deltawerken, te kunnen nagaan, zouden bij het modelonderzoek en de getijberekeningen zeer veel varianten betreffende het getij in zee onderzocht moeten worden.



Figuur 4.1.1. Gemiddelde verticale getijkrommen langs de westkust van Nederland



Figuur 4.1.2. Verloop van het gemiddeld tijverschil langs de Nederlandse kust



In het vervolg van dit hoofdstuk wordt alleen de getijbeweging in het deltagebied beschouwd bij de gemiddelde getijbeweging in zee langs de kust.

Ten einde een indruk te krijgen van de gemiddelde getijbeweging langs de kust van westelijk Nederland vóór de uitvoering van de deltawerken, zijn in figuur 4.1.1 de krommen bij gemiddelde getijbeweging getekend. In figuur 4.1.2 is het verloop van de gemiddelde tijverschillen langs de kust aangegeven. Uit deze figuur blijkt, dat langs het deltagebied het tijverschil te Hoek van Holland het kleinst is.

Als gevolg van de bouw van de dammen in het Veerse Gat, de Oosterschelde, het Brouwershavense Gat en de dam met sluizen in het Haringvliet zal de waterbeweging in de onmiddellijke nabijheid van de kust belangrijke veranderingen ondergaan in verband met het wegvallen van de stromen naar en uit de zeegaten. Ook de waterstanden zullen hierdoor veranderen. In een andere bijdrage <sup>1)</sup> zijn de resultaten van de daarvoor verrichte nadere onderzoekingen vermeld. Hierbij blijkt, dat vooral aan de zeewaartse zijde van de dammen relatief belangrijke wijzigingen in de H.W.-standen zullen optreden. Deze zullen daar ongeveer 20 cm hoger worden. Op de koppen van de eilanden zijn deze veranderingen belangrijk geringer en zullen daar enkele centimeters kunnen bedragen. Ook de H.W.-stand te Hoek van Holland zal slechts in geringe mate veranderen en met enkele centimeters kunnen toenemen. Voor de bestudering van de getijbeweging in het noordelijk deltagebied na de afsluitingen behoefde er met deze wijzigingen geen rekening gehouden te worden.

Als de dam door het Hellegat zal worden gebouwd vóór de afsluiting van de Oosterschelde, zal de invloed van het hoge getij uit het zuiden op het getij in het noordelijk deltagebied vervallen. Na de afsluiting van het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde zal de getij-involed ook in het Zeeuws deltagebied geheel verdwijnen. Alleen het relatief lage getij te Hoek van Holland plant zich na voltooiing van de werken via de mond van de Rotterdamse Waterweg nog voort in het noordelijk deltagebied.

#### 4.2 De invloed van de Rijn- en de Maasafvoer op de verticale getijbeweging in het noordelijk deltagebied vóór de uitvoering van de deltawerken

Op de bovenrivieren – dit zijn de riviergedeelten waar de getijbeweging niet meer doordringt – zijn de waterstanden alleen afhankelijk van de afvoeren langs deze rivieren. Naarmate meer water moet afvloeien, worden de waterstanden hoger en neemt dus het doorstromingsprofiel toe.

De getijbeweging, die vanuit zee het deltagebied binnendringt, veroorzaakt daar periodiek verlopende veranderingen in de waterstanden. Rivieropwaarts gaande wordt de opperwaterafvoer (afvoer van Rijn, resp. Maas) van steeds meer betekenis ten opzichte van de door het getij opgewekte stromen, zodat de getij-amplituden afnemen. Omgekeerd wordt in zeewaartse richting het getij in afnemende mate door de afvoer beïnvloed; op de waterstanden langs onze kust is deze invloed praktisch niet meer merkbaar.

Voor een inzicht in de wijze, waarop de getijbeweging door de opperwaterafvoer wordt beïnvloed, wordt het volgende opgemerkt.

Zoals bekend, wordt de voortplanting van de getijbeweging door de traagheids- en weerstandskrachten en door de vulling en lediging van de riviervakken bepaald <sup>2)</sup>. Ten gevolge van de betrekkelijk geringe diepte van de rivieren in het deltagebied hebben vooral de weerstandskrachten een grote invloed op de voortplanting van het getij. Doordat de weerstandskracht evenredig is met het kwadraat van de stroomsnelheid, wordt de getijbeweging bij haar voortplanting vervormd, waarbij ook de aanwezige afvoer van invloed is. Dit blijkt direct bij het eenvoudige geval van een rivier met een opperwaterafvoer  $Q_0$  en een getijstroom  $Q_1 \cos \omega t$ , waarbij verondersteld wordt, dat de afvoer de getijstroom overheerst, dus  $Q_0 > Q_1$  ( $\omega$  = hoeksnelheid van het  $M_2$ -getij).

In dit geval is:

$$Q = Q_0 + Q_1 \cos \omega t$$

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.2.

<sup>2)</sup> Zie ook Bijdrage III.7.

Volgens de formule van De Chézy wordt het weerstandsverhang bepaald door:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{v^2}{C^2 a_r} = \frac{Q^2}{C^2 A^2 a_r}$$

Hierin is:

$\frac{\partial h}{\partial x}$  = verhang in de lengterichting van de rivier;

$v$  = horizontale snelheid;

$C$  = coëfficiënt van De Chézy;

$A$  = oppervlakte van het doorstromingsprofiel;

$a_r$  = de hydraulische straal.

Na substitutie wordt gevonden:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{Q_0^2 + \frac{1}{2} Q_1^2}{C^2 A^2 a_r} + \frac{2Q_0 Q_1 \cos \omega t}{C^2 A^2 a_r} + \frac{\frac{1}{2} Q_1^2 \cos 2\omega t}{C^2 A^2 a_r}$$

Worden de achtereenvolgende termen in het rechterlid a, b en c genoemd, dan is dus het weerstandsverhang samengesteld uit:

- een permanent verhang, dat afhankelijk is van de afvoer en de amplitude van de getijstroom;
- een verhang, dat evenredig is met de getijstroom en met de afvoer;
- een verhang, dat verloopt met de dubbele hoeksnelheid van het getij en dat evenredig is met het kwadraat van de amplitude van de getijstroom. Door deze invloed wordt het getij vervormd; er ontstaat dus één bovenharmonische.

Bij een lineair verband tussen weerstandskracht en snelheid zou, afgezien van de invloed van de verandering van diepte door de opperwaterafvoer, de afvoer  $Q_0$  geen invloed uitoefenen op de voortplanting van het getij. Volgens de term b is dit bij het kwadratische verband wel het geval.

Bij een lineair verband zou verder het getij géén invloed uitoefenen op het middenstandsverval. Dit is bij het kwadratische verband volgens de term a wel het geval.

Ook wanneer de opperwaterafvoer kleiner is dan de amplitude van het horizontaal getij en dus vloed- en ebstromen optreden, gelden analoge conclusies; alleen wordt het verkrijgen van een inzicht in de wijze van beïnvloeding van het getij door de afvoer moeilijker <sup>1)</sup>.

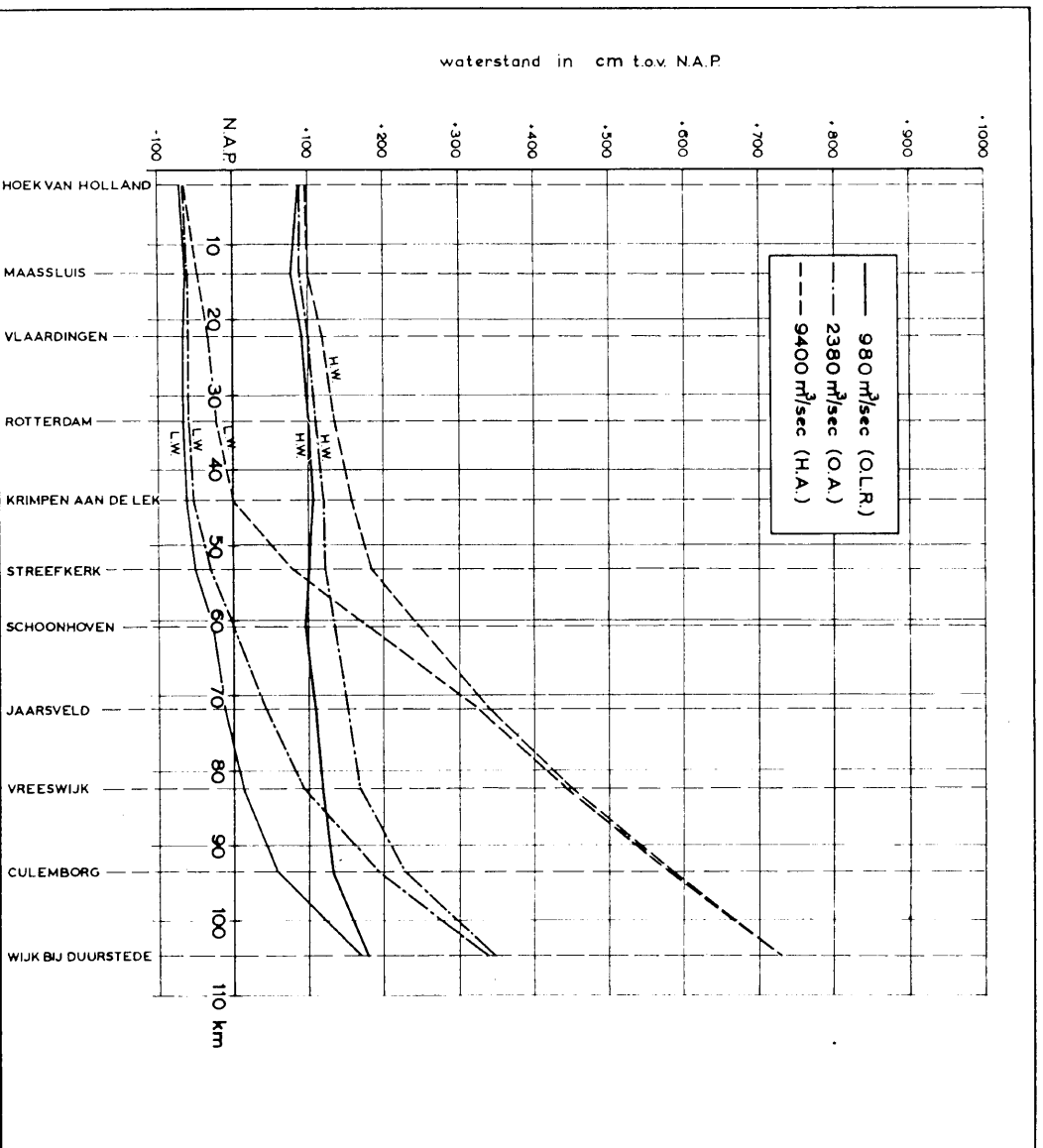
Daar bij toenemende afvoer de gemiddelde waterstand toeneemt, zou men kunnen verwachten, dat de weerstand, die het getij bij haar voortplanting ondervindt, zou afnemen en dus het getij in stroomopwaartse richting zich verder zou voortplanten. Door het voorkomen van de term b in de uitdrukking voor  $\frac{\partial h}{\partial x}$  wordt de voortplanting dan echter belemmerd. Uit nadere berekeningen, die hier niet worden weergegeven, en ook uit de ervaring is gebleken, dat deze laatste invloed van meer betekenis is dan die, welke volgt uit de toeneming van de hydraulische straal  $a_r$ .

Voor de bestudering van het verloop van de H.W.- en L.W.-standen vóór de uitvoering van de deltawerken is een uitvoerige documentatie van waarnemingen aanwezig bij de directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat.

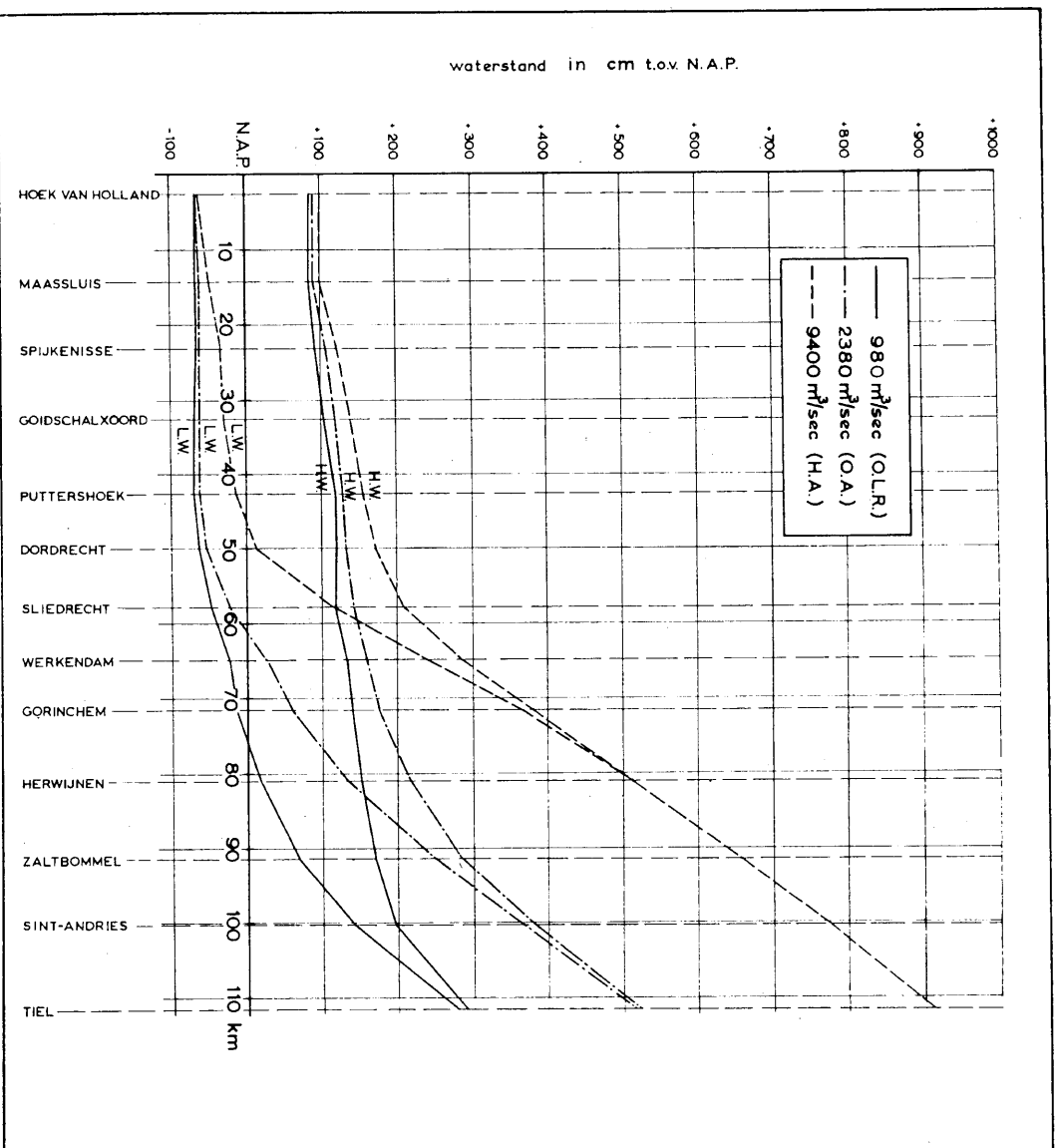
Als voorbeeld is in de figuren 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 en 4.2.4 het verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en een drietal Rijnafvoeren weergegeven voor resp. de trajecten Nieuwe Waterweg—Scheur—Nieuwe Maas—Lek; Nieuwe Waterweg—Scheur—Oude Maas—Beneden-Merwede—Boven-Merwede—Waal; Haringvliet—Hollands Diep—Nieuwe Merwede—Boven-Merwede—Waal; Boven-Merwede—Waal—Rijn.

Het verloop van de verticale getijkrommen is voor de afvoer bij O.L.R. (ca. 980 m<sup>3</sup>/sec), gemiddelde Rijnafvoer (ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec) en hoge afvoer (ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec) aangegeven in de figuren 4.2.5, 4.2.6 en 4.2.7 voor de drie trajecten Nieuwe Waterweg—Scheur—Nieuwe Maas—Lek; Nieuwe Waterweg—Scheur—Oude Maas—Beneden-Merwede—Waal; Haringvliet—Hollands Diep—Nieuwe Merwede.

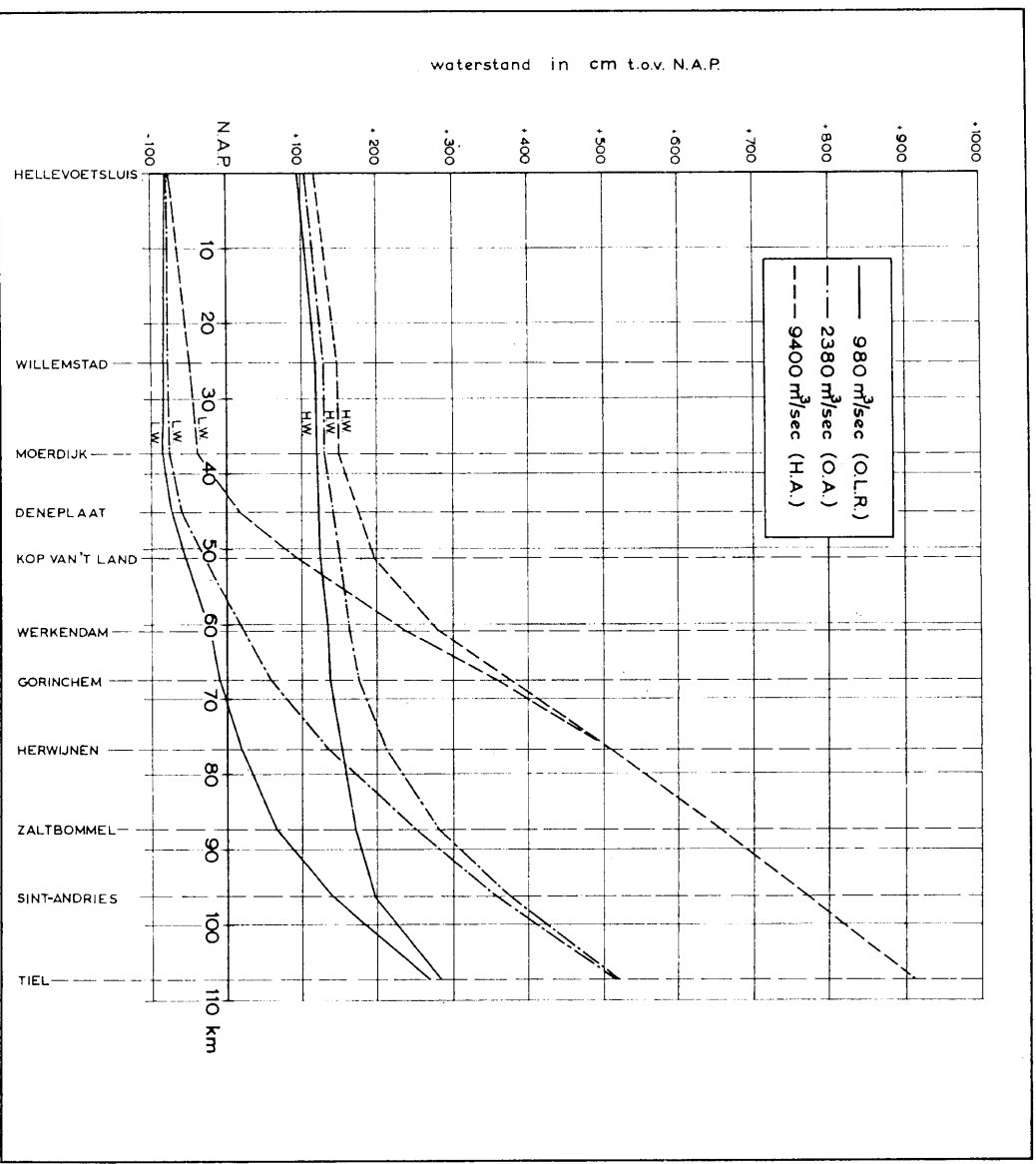
<sup>1)</sup> Zie Bijdrage III.7.



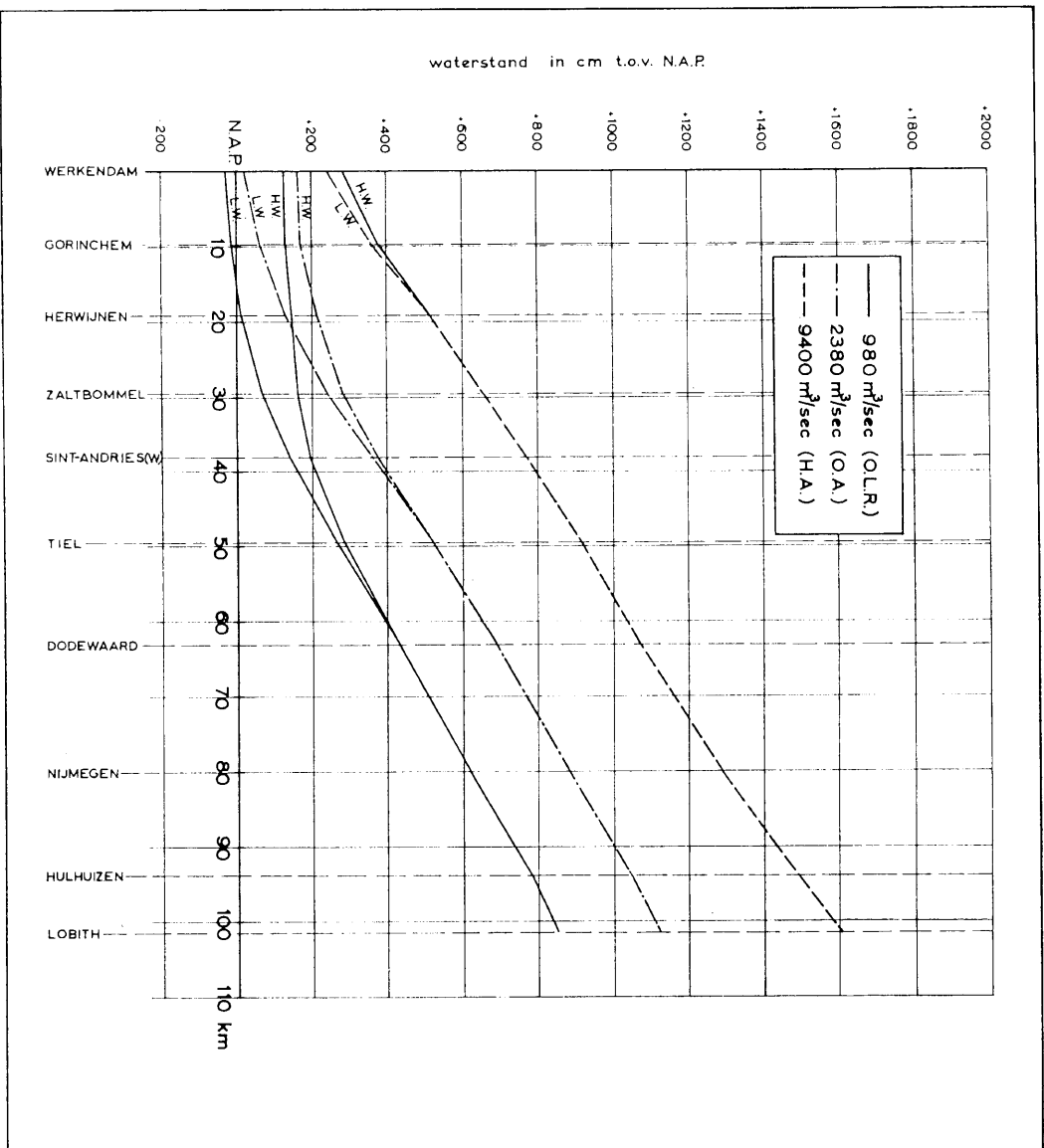
Figuur 4.2.1. Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en variërende Rijnafvoeren op Nieuwe Waterweg-Schuur-Nieuwe Maas-Lek bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken



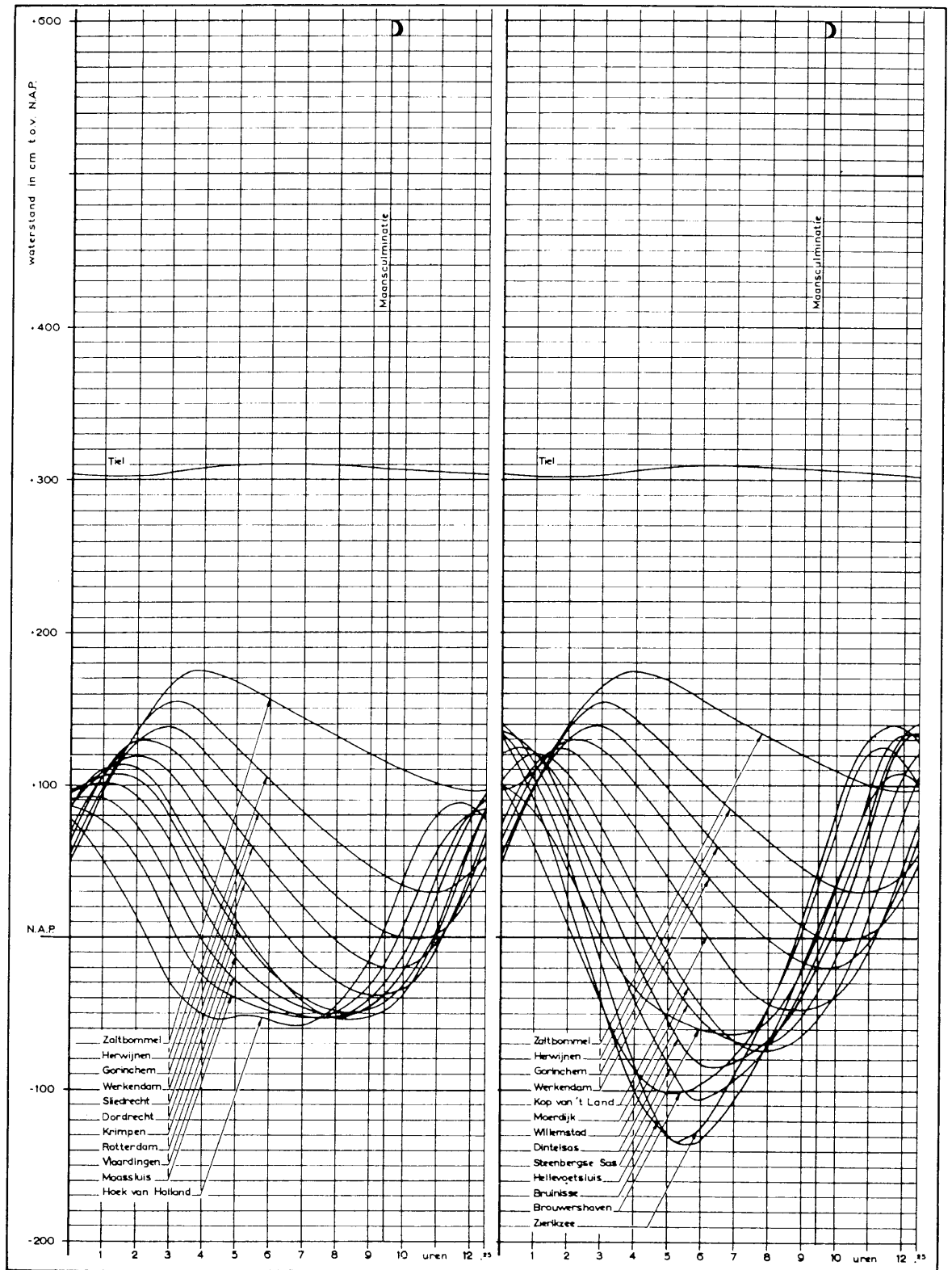
Figuur 4.2.2. Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en variërende Rijnafvoeren op Nieuwe Waterweg-Scheur-Oude Maas-Beneden-Merwede-Boven-Merwede-Waal bij de toestand vóór de uitvoering van de deltaxwerken



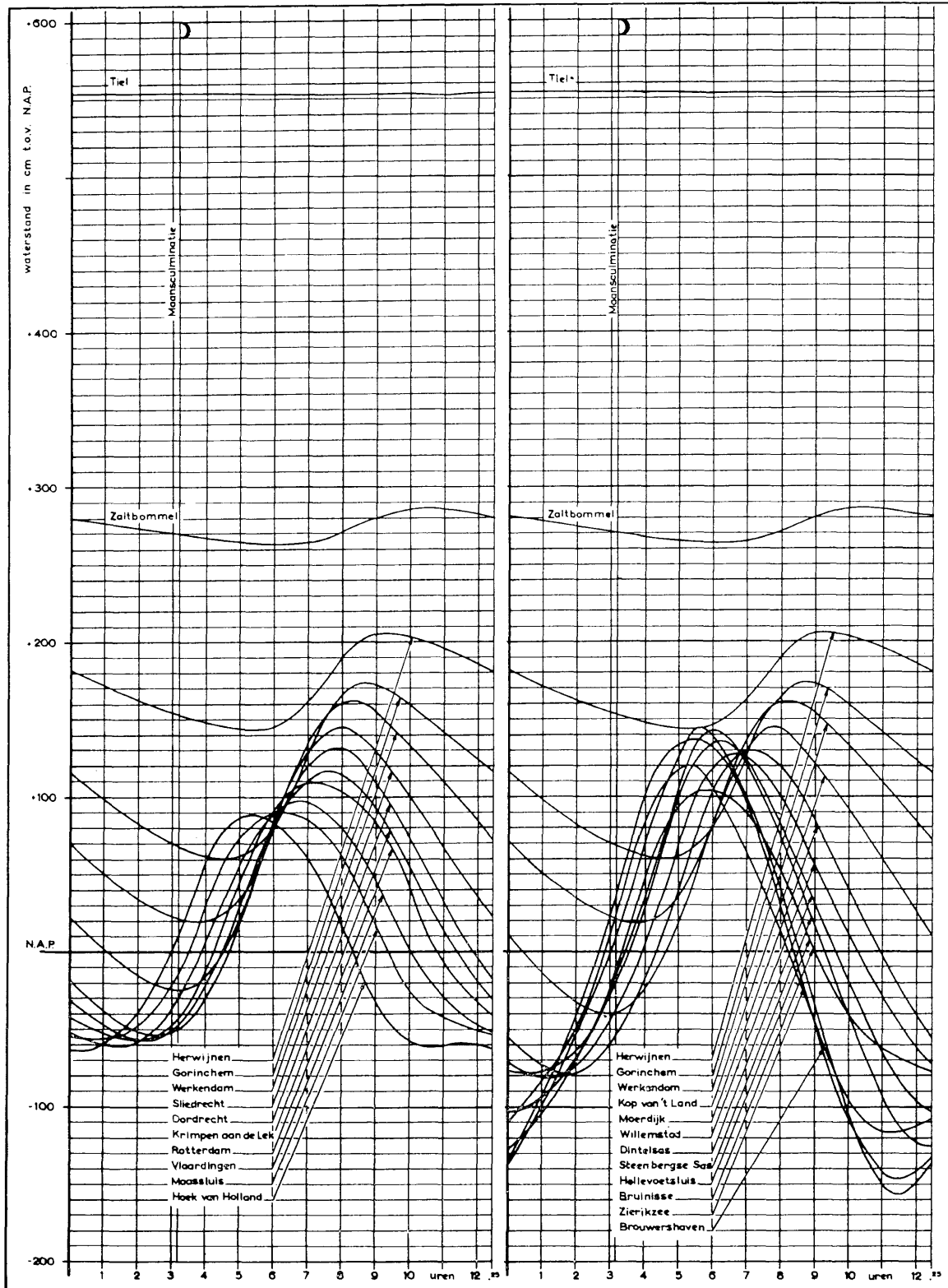
Figuur 4.2.3. Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en variërende Rijnafvoeren op Haringvliet-Hollands Diep-Nieuwe Merwede-Boven-Merwede-Waal bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken



Figuur 4.2.4. Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij normaal getij in zee en variërende Rijnafvoeren op Boven-Merwede-Waal-Rijn bij de toestand vóór de uitvoering van de delawerken

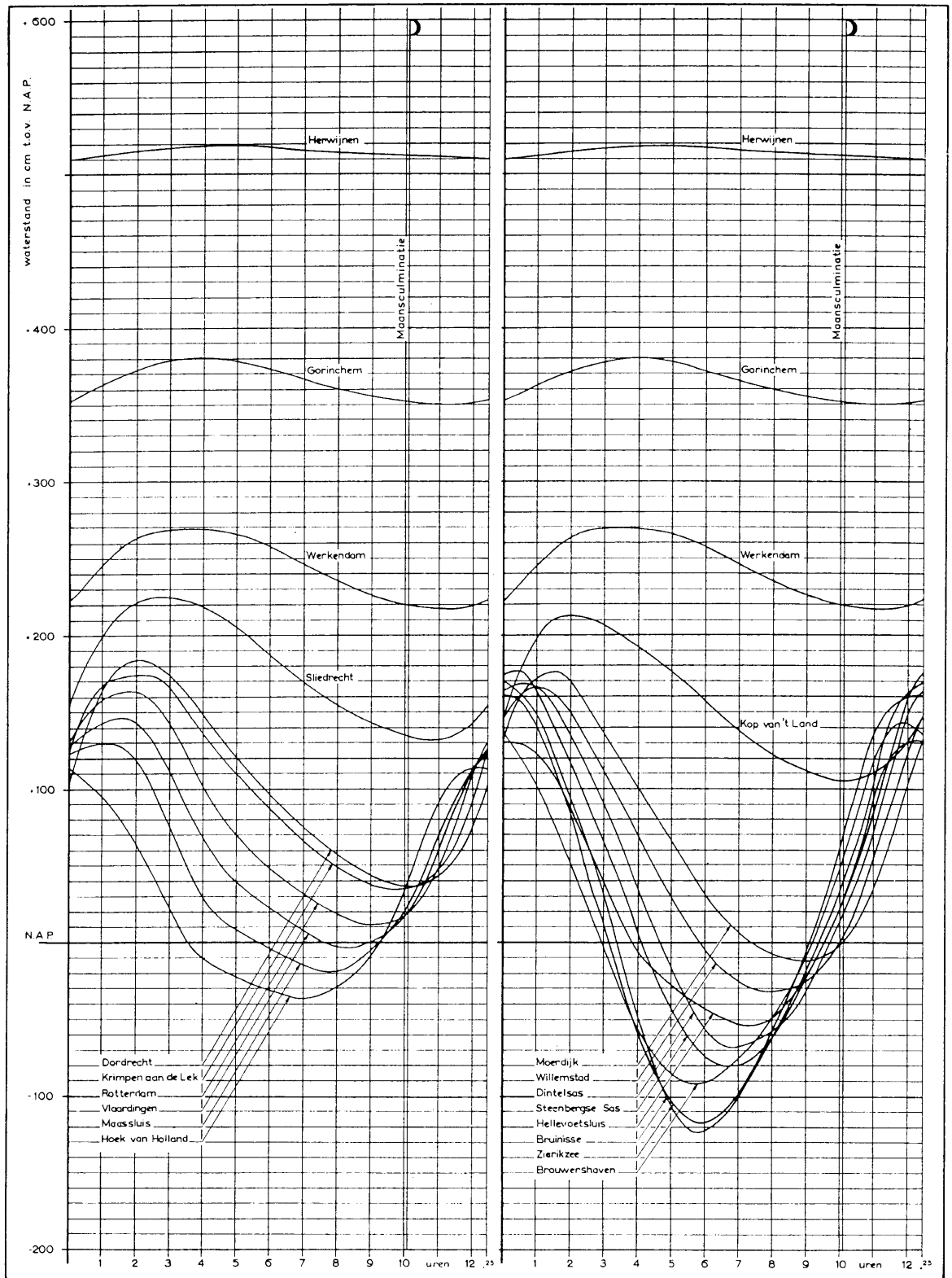


Figuur 4.2.5. Gemiddelde verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken, afgeleid uit de geregistreerde getijden in de periode 15 september t/m 30 september 1953 in de natuur. Gemiddelde Rijnafvoer in deze periode ca. 980 m<sup>3</sup>/sec



Figuur 4.2.6. Gemiddelde verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken, afgeleid uit de geregistreerde getijden in de periode 18 juli t/m 2 augustus 1955 in de natuur. Gemiddelde Rijnafvoer in deze periode ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec





Figuur 4.2.7. Geregistreerd verticaal getij op 22 januari 1955 in de natuur (toestand vóór de uitvoering van de delta-werken). Rijnafvoer ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec

In deze figuren zijn tevens de getijkrommen van Zierikzee, Bruinisse, Steenbergse Sas en Dintelsas getekend, om o.a. de verzwakking van het verticale getij, dat zich via Oosterschelde, Zijpe en Volkerak naar het noordelijk deltagebied voortplant, aan te geven. De gegevens voor deze figuren zijn ontleend aan geregistreerde verticale getijden.

Vergelijkt men de getijkrommen van de figuren 4.2.5, 4.2.6 en 4.2.7 onderling bij toenemende Rijnafoer, dan valt de invloed van de afvoer op de getijbeweging onmiddellijk op. Bij toenemende afvoer neemt het tijverschil in stroomopwaartse richting af, terwijl de middenstand uiteraard toeneemt.

De verticale getijden te Hoek van Holland, Hellevoetsluis, Brouwershaven en Zierikzee, welke weergegeven zijn in de figuren 4.2.5, 4.2.6 en 4.2.7, zijn onderling niet gelijk. Dit is niet een gevolg van de invloed van de afvoer van de Rijn, maar van het getij in zee, dat voor de beschouwde dagen verschillend was. Wanneer het verticale getij op een bepaalde dag wordt beschouwd, kunnen de afwijkingen ten opzichte van het astronomische getij op die dag langs de kust groot zijn (zie 4.1).

### 4.3 De H.W.- en L.W.-standen na de uitvoering van de deltawerken

Zoals behandeld is in 3.0 en ook in een andere bijdrage <sup>1)</sup>, zullen na de uitvoering van de deltawerken ingrijpende wijzigingen in de waterbeweging optreden. Na volledige uitvoering van de deltawerken worden de waterstanden in het door de dammen door Oosterschelde, Brouwershavense Gat, Grevelingen en Hellegat omsloten gebied, nl. het Zeeuwse Meer en het Grevelingenmeer, onafhankelijk van de waterstanden in zee.

De waterstanden op het Zeeuwse Meer kunnen alleen wijzigingen ondergaan door lozingen, verdamping, regenval en de waterbehoefte voor landbouw, enz. <sup>1)</sup>

Zodra de dam door het Hellegat voltooid is, kan de getijgolf, die thans via het Volkerak het noordelijk deltagebied binnendringt, zich daar niet meer doen gevoelen. Vooral in het Haringvliet en het Hollands Diep wordt daardoor de getijbeweging zwakker.

In de figuren 4.3.1, 4.3.2 en 4.3.3 zijn voor de afvoer bij O.L.R. (ca. 980 m<sup>3</sup>/sec), bijna gemiddelde afvoer (ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec) en hoge afvoer (ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec) de verticale getijden voor het deltagebied benoorden de dam door het Hellegat, zoals deze in het hydraulisch model zijn gemeten, grafisch voorgesteld, zowel voor het geval met open als met gesloten Oude Maas nabij de Westgeul.

Aan de binnenzijde van de Haringvlietsluizen zal, afhankelijk van de afvoer van de Rijn en de Maas en van het opgestelde spuiprogramma, het verticale getij aanzienlijk veranderen. Ten einde deze veranderingen in de verticale getijbewegingen te bepalen, werden in het hydraulisch model bij de hierboven genoemde afvoeren ook de verticale getijden bij verschillende peilschaalstations gemeten bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken (zie de figuren 4.3.4, 4.3.5 en 4.3.6). De veranderingen in de verticale getijbewegingen volgen uit onderlinge vergelijking van de figuren 4.3.1, 4.3.2 en 4.3.3 met de figuren 4.3.4, 4.3.5 en 4.3.6.

Daar de sluisen, zodra de binnenwaterstanden lager zijn dan de buitenwaterstanden, gesloten worden, wordt de mate van stijging van het binnenwater ook bepaald door de Rijn- en Maasafvoeren.

Uiteraard vult het bekken zich sneller en komt het tijdstip, waarop weer kan worden geloosd, eerder, naarmate de oppervlatafvoer groter is (zie ook figuur 4.3.7).

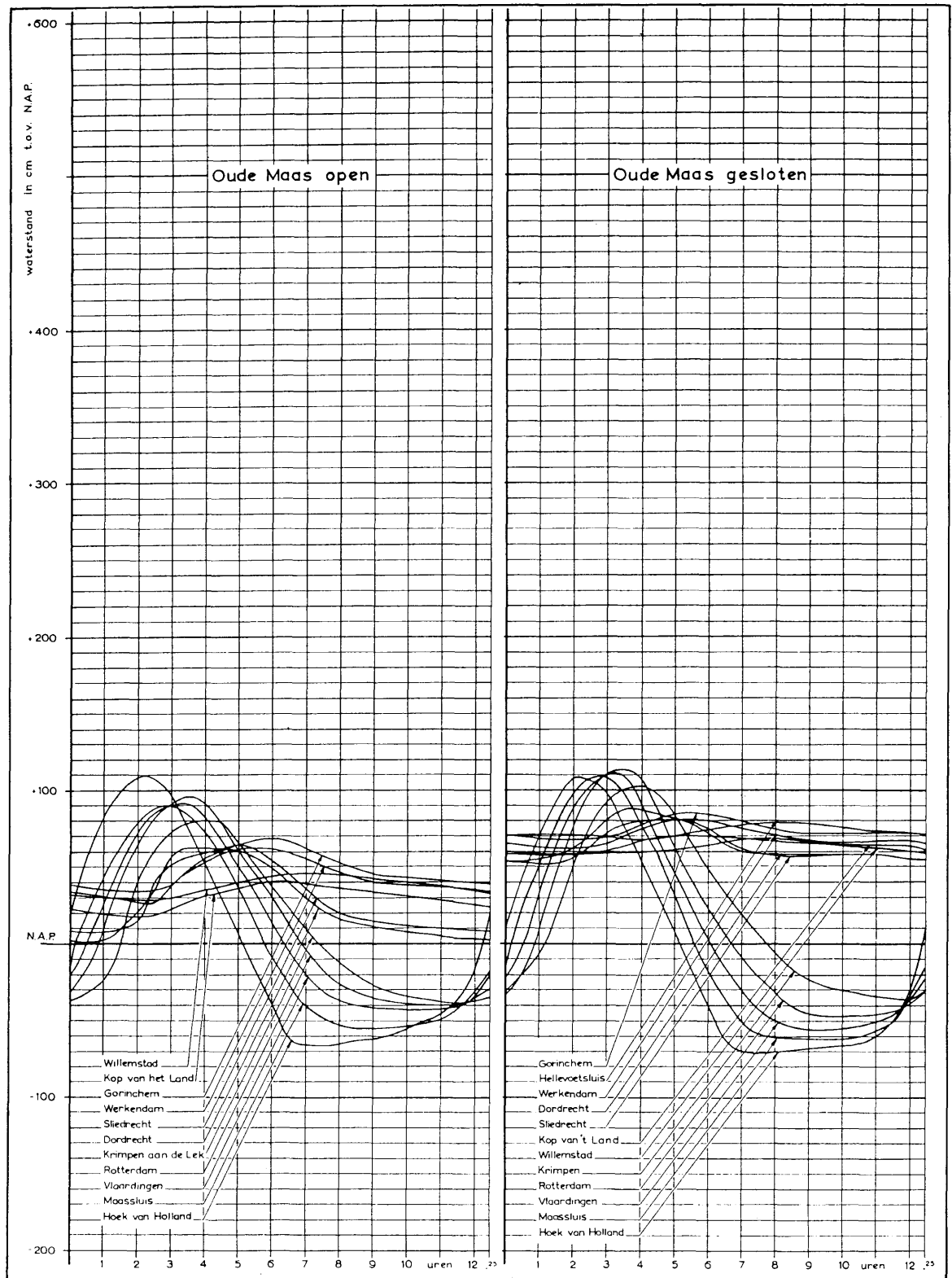
Bij lage afvoeren is de invloed van het getij, dat zich via de Dordtse Kil en het Spui in het Haringvliet voortplant ook mede bepalend voor de stijging van de waterstanden in dit bekken. Overigens zijn dan de schommelingen in de waterstanden op het Haringvlietbekken gedurende een getij gering.

Volgens 5.4 en 7.0 zijn ook voor de meer benedenwaarts gelegen plaatsen langs de bovenrivieren de zeer hoge afvoeren bepalend voor de veiligheid, omdat dan de getijbeweging zodanig gedempt is, dat deze praktisch geen invloed heeft op de hoogte van de waterstanden.

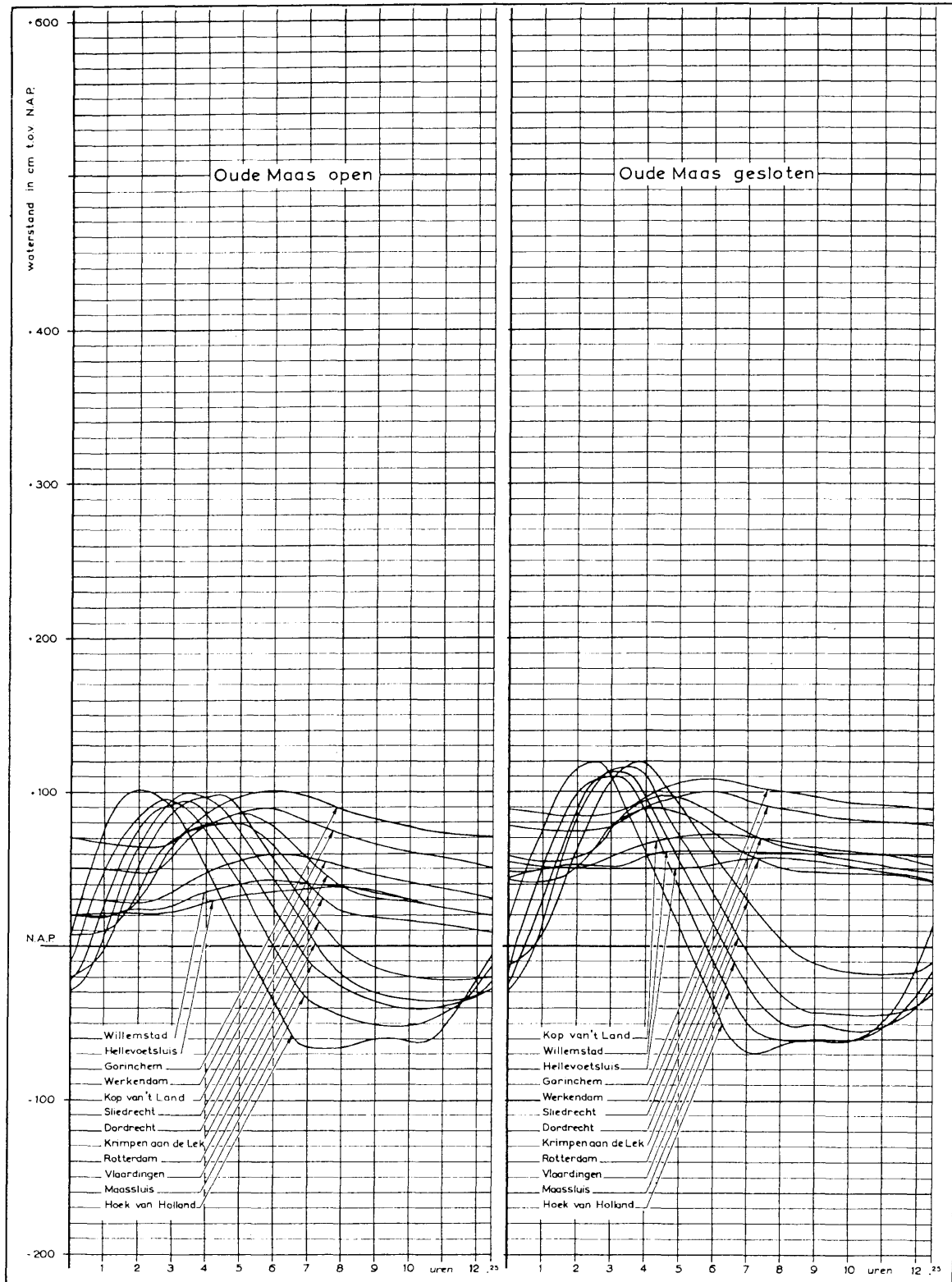
Langs de Nieuwe Waterweg en de aansluitende wateren daarentegen wordt de waterbeweging hoofdzakelijk beheerst door de getijgolf, die langs de Nieuwe Waterweg naar binnen trekt. Hier wordt dus de veiligheid bepaald door de extreme stormvloedstanden.

Opgemerkt wordt, dat in de desbetreffende bijdrage <sup>1)</sup> de veranderingen worden behandeld, die de H.W.- en L.W.-standen in het deltagebied zullen ondergaan bij normaal getij in zee, wanneer aan de gestelde eisen voor de zoetwaterhuishouding wordt voldaan. Daarbij werden de natte en de droge jaren

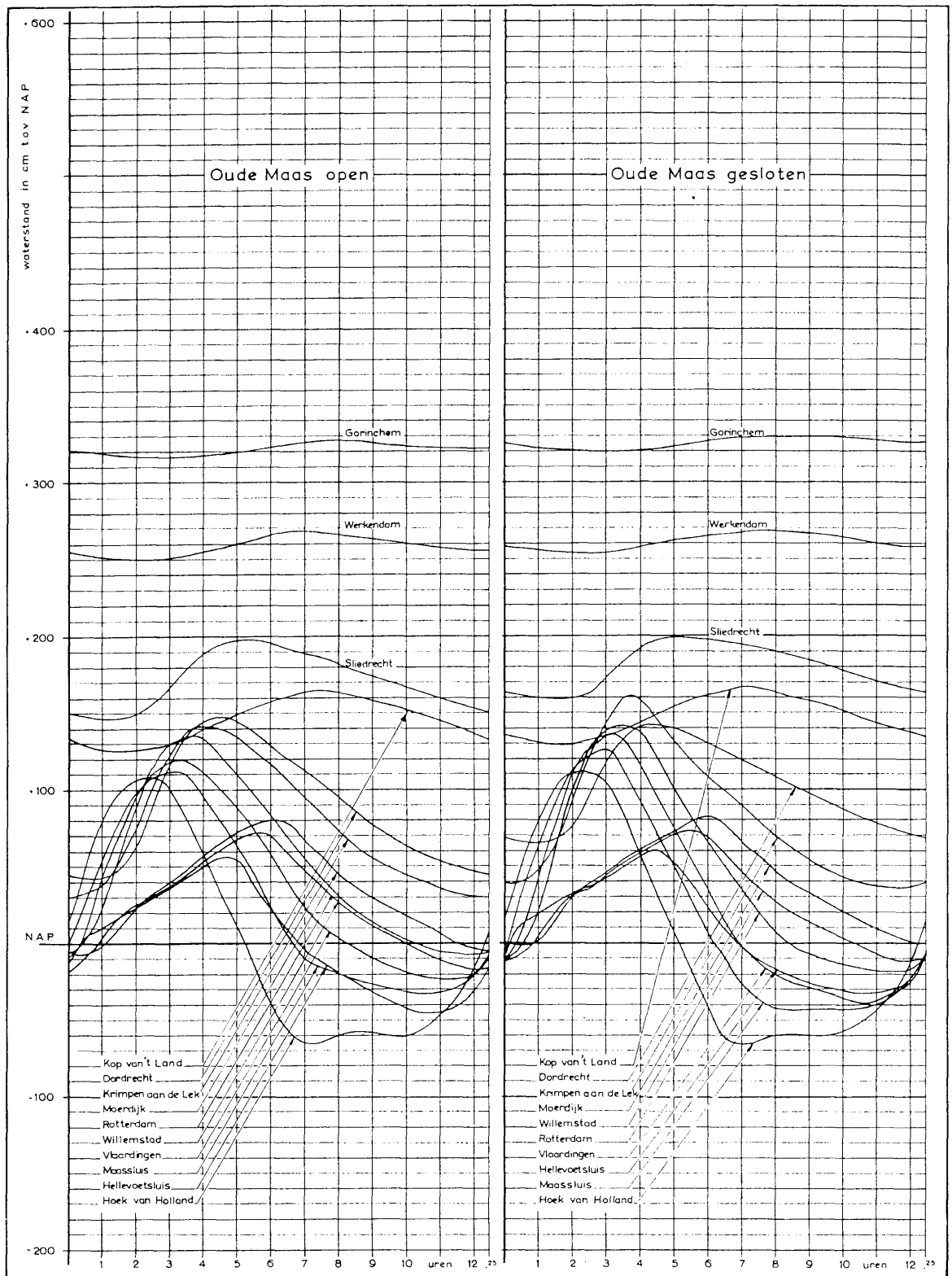
<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.4.



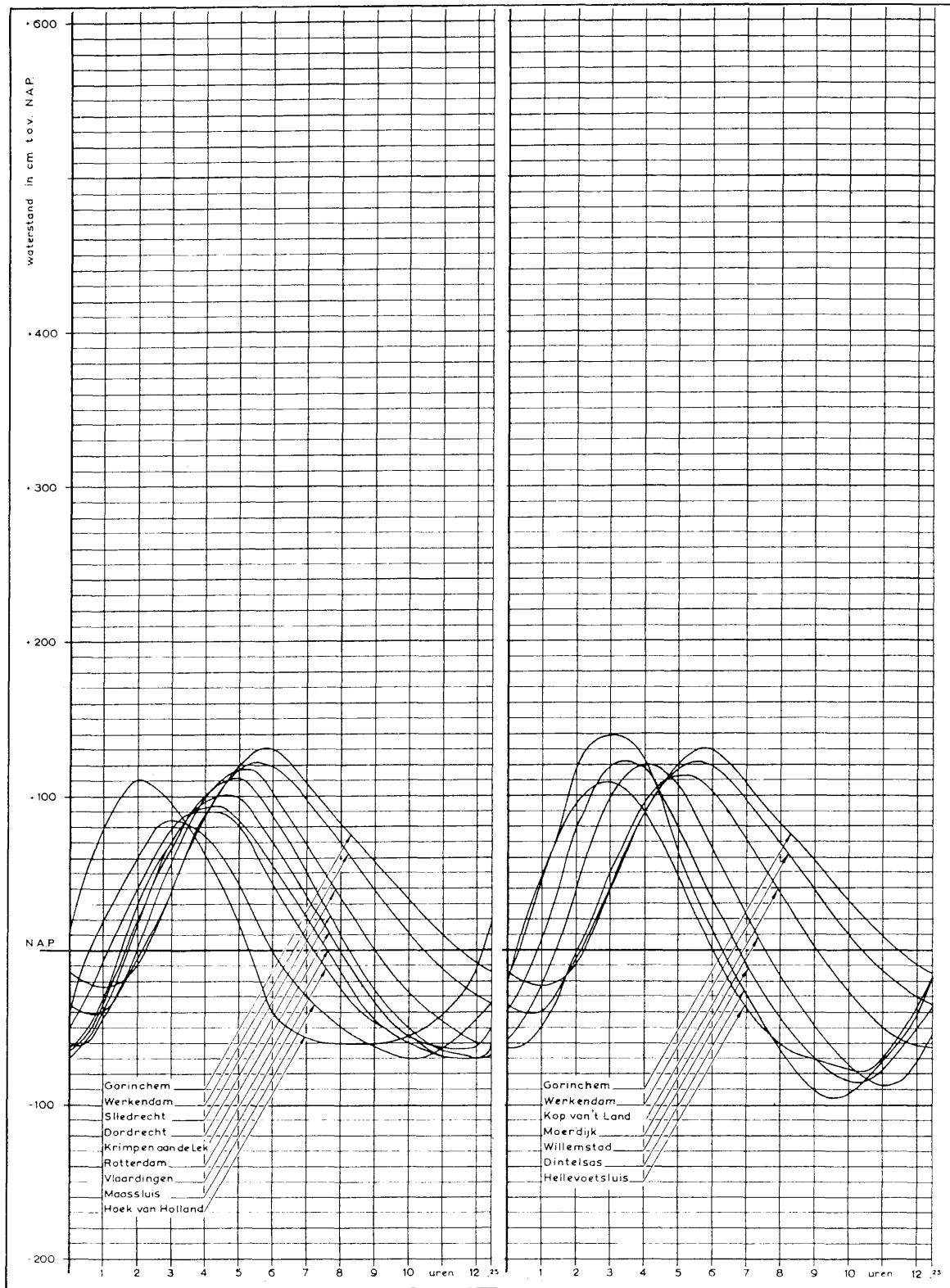
Figuur 4.3.1. Verticale getijbeweging na uitvoering van de deltawerken, zowel met open als gesloten Oude Maas, bij gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer bij O.L.R. (ca. 980 m<sup>3</sup>/sec) volgens modelproeven. Haringvlietsluizen gedurende gehele getij gesloten



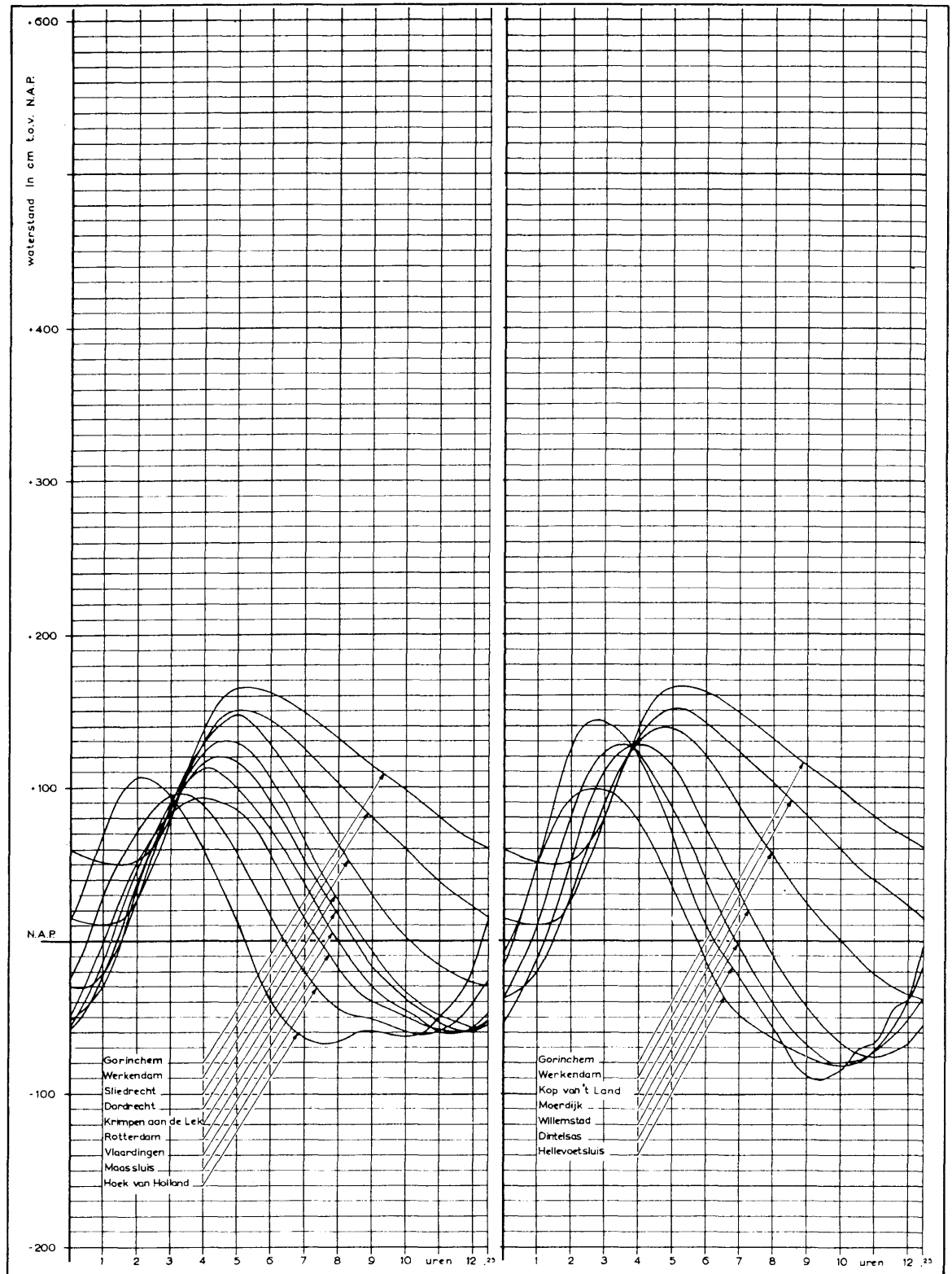
Figuur 4.3.2. Verticale getijbeweging na uitvoering van de deltawerken, zowel met open als gesloten Oude Maas, bij gemiddeld getij in zee en gemiddelde Rijnafvoer (ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec) volgens modelproeven. Effectieve opening van de Haringvlietsluizen tijdens de eb bij open Oude Maas 500 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. en bij gesloten Oude Maas 750 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. Afvoer door de Noord 275 m<sup>3</sup>/sec



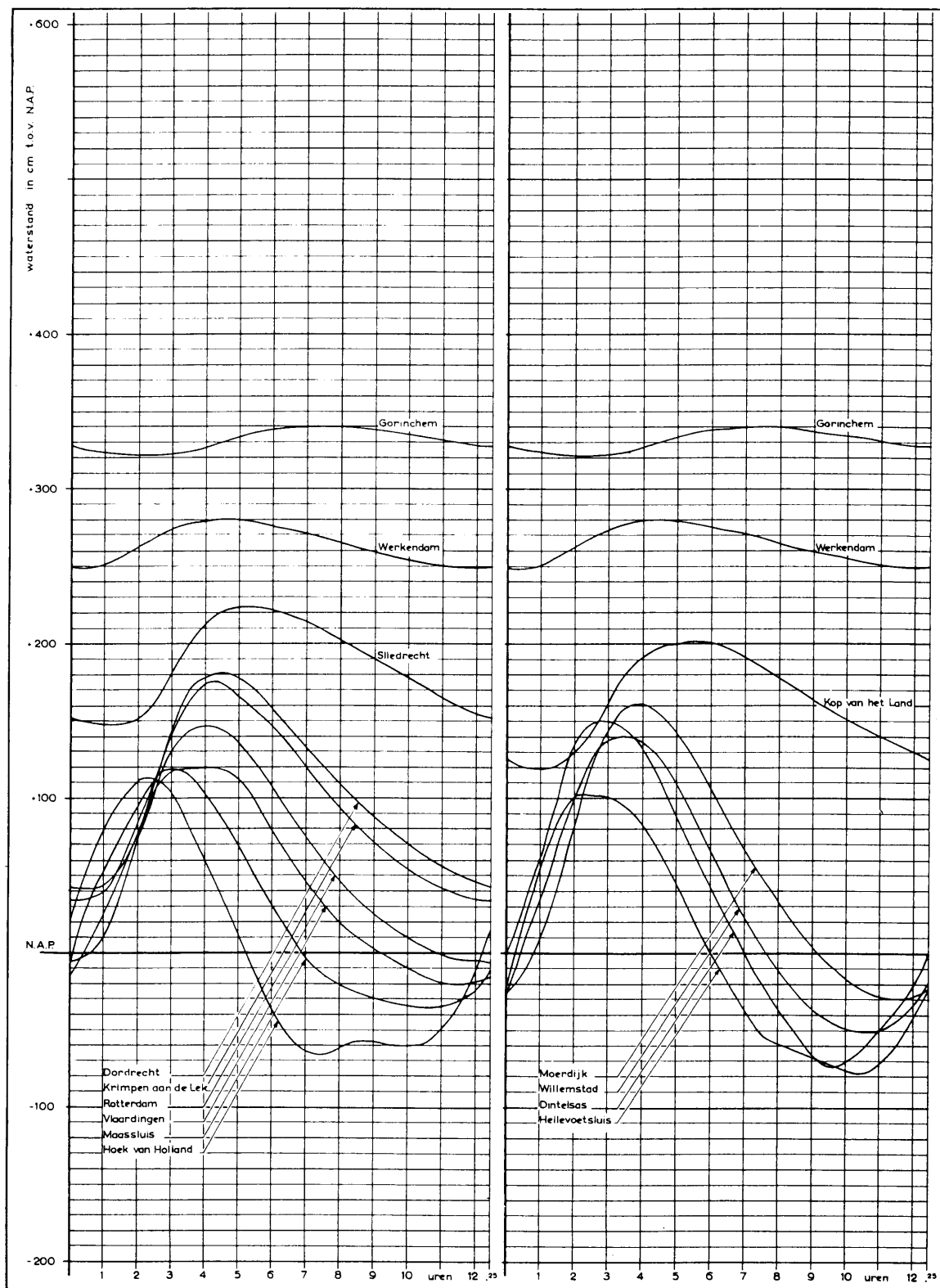
Figuur 4.3.3. Verticale getijbeweging na uitvoering van de deltawerken, zowel met open als gesloten Oude Maas, bij gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer van ca.  $9400 \text{ m}^3/\text{sec}$  volgens modelproeven. Effectieve opening van de Haringvlietsluizen tijdens de eb  $6000 \text{ m}^2$  beneden N.A.P.



Figuur 4.3.4. Verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken bij gemiddeld getij in zee en een Rijn-afvoer bij O.L.R. (ca. 980 m<sup>3</sup>/sec) volgens modelproeven



Figuur 4.3.5. Verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken bij gemiddeld getij in zee en een gemiddelde Rijnaflow (ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec) volgens modelproeven



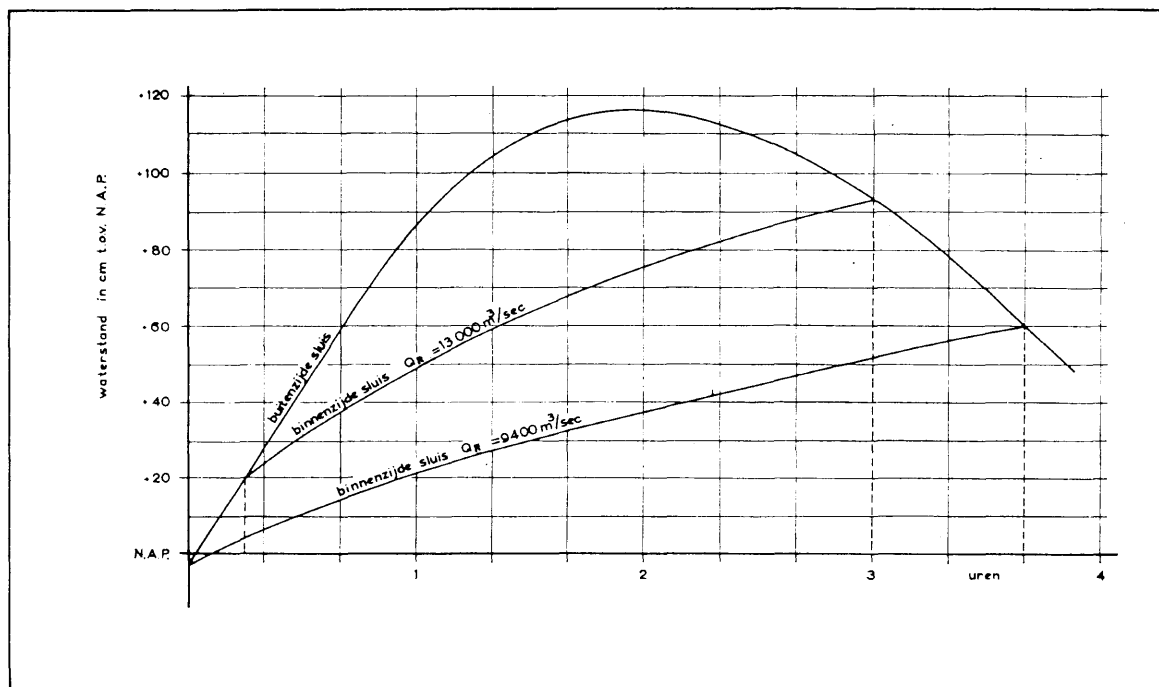
Figuur 4.3.6. Verticale getijbeweging vóór de uitvoering van de deltawerken bij gemiddeld getij in zee en hoge Rijn-afvoer (ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec) volgens modelproeven



Tabel 4.3.1  
 H.W.- en L.W.-standen vóór en na de uitvoering van het Deltaplan, afgerond op 5 cm, voor verschillende peilschaalstations in het deltagebied, in cm t.o.v. N.A.P., bij gemiddeld getij in zee en verschillende Rijnafvoeren

Afvoer . . . . .	Afvoer bij O.L.R. ca. 980 m³/sec						Gemiddelde afvoer ca. 2300 m³/sec						Hoge afvoer ca. 9400 m³/sec													
	a		b		c		a		b		c		a		b		c									
	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.	H.W.	L.W.								
Hoek van Holland . . . . .	+ 85	- 65	+ 85	- 65	+ 85	- 65	+ 90	- 65	+ 90	- 65	+ 90	- 65	+ 100	- 65	+ 100	- 65	+ 100	- 65								
Maassluis . . . . .	+ 85	- 65	+ 90	- 55	+ 100	- 60	+ 90	- 60	+ 90	- 55	+ 95	- 65	+ 100	- 50	+ 100	- 50	+ 100	- 55								
Westgeul . . . . .	+ 95	- 65	+ 95	- 50	+ 110	- 60	+ 100	- 60	+ 95	- 45	+ 110	- 60	+ 120	- 35	+ 110	- 35	+ 125	- 45								
Rotterdam . . . . .	+ 100	- 65	+ 95	- 45	+ 110	- 50	+ 110	- 60	+ 105	- 45	+ 110	- 50	+ 135	- 25	+ 120	- 30	+ 125	- 35								
Krimpen aan de Lek . . . . .	+ 105	- 60	+ 85	- 40	+ 105	- 35	+ 120	- 55	+ 100	- 25	+ 105	- 30	+ 155	+ 5	+ 120	- 5	+ 130	+ 5								
Dordrecht . . . . .	+ 115	- 65	+ 65	+ 5	+ 85	+ 55	+ 135	- 55	+ 85	+ 5	+ 75	+ 20	+ 170	+ 15	+ 130	+ 15	+ 125	+ 40								
Sliedrecht . . . . .	+ 115	- 50	+ 60	+ 10	+ 80	+ 65	+ 145	- 25	+ 85	+ 30	+ 70	+ 35	+ 205	+ 120	+ 170	+ 120	+ 175	+ 135								
Werkendam . . . . .	+ 135	- 25	+ 65	+ 35	+ 85	+ 75	+ 160	+ 25	+ 95	+ 65	+ 85	+ 70	+ 280	+ 240	+ 270	+ 240	+ 270	+ 245								
Gorinchem . . . . .	+ 135	- 10	+ 65	+ 35	+ 85	+ 75	+ 175	+ 60	+ 105	+ 80	+ 100	+ 75	+ 375	+ 360	+ 360	+ 355	+ 360	+ 355								
Kop van 't Land . . . . .	+ 125	- 55	+ 55	+ 25	+ 85	+ 70	+ 150	- 75	+ 70	+ 35	+ 55	+ 30	+ 195	+ 95	+ 160	+ 100	+ 165	+ 105								
Moerdijk . . . . .	+ 120	- 85	+ 40	+ 25	+ 70	+ 65	+ 130	- 75	+ 45	+ 20	+ 40	+ 20	+ 145	- 40	+ 65	- 10	+ 70	+ 10								
Mond der Donge . . . . .	+ 115	- 70	+ 40	+ 20	+ 70	+ 55	+ 125	- 60	+ 50	+ 20	+ 50	+ 25	+ 175	+ 40	+ 100	+ 50	+ 105	+ 55								
Willemstad . . . . .	+ 120	- 85	+ 40	+ 25	+ 70	+ 60	+ 130	- 80	+ 45	+ 20	+ 40	+ 20	+ 145	- 50	+ 65	- 20	+ 70	- 15								
Hellevoetsluis . . . . .	+ 95	- 80	+ 35	+ 25	+ 70	+ 50	+ 105	- 80	+ 40	+ 25	+ 35	+ 20	+ 115	- 75	+ 55	- 40	+ 60	- 35								
Spijkenisse . . . . .	+ 95	- 65	+ 75	- 40	+ 75	+ 60	+ 105	- 60	+ 65	- 40	+ 55	+ 15	+ 120	- 35	+ 105	- 35	+ 105	+ 35								
Goidschalxoord . . . . .	+ 105	- 70	+ 70	- 20	+ 80	+ 60	+ 120	- 60	+ 80	- 10	+ 65	+ 20	+ 140	- 30	+ 110	- 25	+ 100	+ 30								
Puttershoek . . . . .	+ 115	- 70	+ 70	0	+ 80	+ 55	+ 130	- 60	+ 85	0	+ 60	+ 20	+ 155	- 15	+ 125	- 5	+ 115	+ 35								
's-Gravendeel . . . . .	+ 115	- 75	+ 55	+ 5	+ 75	+ 60	+ 130	- 65	+ 70	+ 10	+ 60	+ 20	+ 155	- 15	+ 95	- 5	+ 100	+ 20								
Effectieve opening beneden N.A.P. van de Haringvlietsluizen in m²	—																		sluizen gesloten	—	6 000	6 000				
Afvoer door de Noord in m³/sec	140																		300	785	275	500	750	550	450	500

Gegevens toestand a, volgens T.O. 1941-1950 [7].  
 Gegevens toestanden b en c, afgeleid m.b.v. modelproeven en berekeningen.  
 N.B. Voor genoemde toestanden a, b en c zie 4.4.1.



Figuur 4.3.7. Tijdsduur van sluiting van de Haringvlietsluizen tijdens de vloed

beschouwd, die in de periode 1946 tot 1950 zijn voorgekomen, indien deze zich na de uitvoering van de deltawerken zouden herhalen.

Ten slotte vindt men in tabel 4.3.1 H.W.- en L.W.-standen, die optreden bij de in deze paragraaf beschouwde drie Rijnafvoeren met gemiddeld getij in zee, zowel voor de toestand vóór als na de uitvoering van de deltawerken, respectievelijk met open en gesloten Oude Maas nabij het splitsingspunt met de Nieuwe Maas.

Bij gemiddelde afvoer is de afvoer door de Noord, zowel bij open als gesloten Oude Maas, gesteld op  $275 \text{ m}^3/\text{sec}$  (zie 4.4). Om deze afvoer door de Noord te bereiken, moet de effectieve opening van de Haringvlietsluizen bij gesloten Oude Maas ca.  $750 \text{ m}^2$  beneden N.A.P. en bij open Oude Maas ca.  $500 \text{ m}^2$  beneden N.A.P. zijn.

De gegevens vóór de uitvoering van de deltawerken zijn afkomstig uit waarnemingen in de natuur, verricht door de directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Ze zijn te vinden in het Tienjarig Overzicht der Waterhoogten 1941–1950 [7].

De te verwachten H.W.- en L.W.-standen na de uitvoering van de werken zijn afgeleid met behulp van metingen in het hydraulisch model en met behulp van uitkomsten van getijberekeningen.

#### 4.4 De maximale eb- en vloedsnelheden in het noordelijk deltagebied vóór en na de uitvoering van de deltawerken

##### 4.4.1 Inleiding

In een dwarsprofiel van een niet te brede rivier zonder veel bochtwerking en Corioliseffecten (invloed van de aardrotatie), is het verticale getij praktisch overal hetzelfde en kan dus aan de oever worden bepaald.

De snelheden zijn echter minder gemakkelijk te meten, daar deze in een dwarsprofiel van plaats tot plaats verschillen ten gevolge van de bodemfiguratie en de bodemwrijving.

In het hydraulisch model wordt bovendien het stromingsveld verstoord door de aanwezigheid van de weerstandsstaafjes<sup>1)</sup>. Derhalve werd in het model in plaats van de snelheid op één punt de

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.1.

totale stroom door het dwarsprofiel bepaald, na uitvoerige ijkingen vooraf. Met behulp van het gelijktijdig gemeten verticale getij kan dan de gemiddelde snelheid voor ieder moment in het dwarsprofiel worden berekend.

Ter controle van de gemeten stroomkrommen in het model worden deze voor belangrijke gevallen tevens berekend uit de verticale getijden, die in de natuur en in het model gemeten zijn.

Opgemerkt wordt, dat in het elektrische analogon het horizontale getij (de stromen en de gemiddelde snelheden in het dwarsprofiel) met dezelfde mate van nauwkeurigheid kan worden gemeten als het verticale getij<sup>1)</sup>.

Voor het verkrijgen van een inzicht in de veranderingen, die de eb- en vloednelheden zullen ondergaan door de uitvoering van de deltawerken, worden zowel modeluitkomsten als uitkomsten van berekeningen gebruikt. De maximale eb- en vloednelheden, welke in de volgende subparagrafen zijn vermeld (zie de tabellen 4.4.1 t/m 4.4.3 en ook de figuren 4.4.1 t/m 4.4.9) hebben betrekking op de gemiddelde snelheden in het dwarsprofiel.

In de volgende drie subparagrafen worden drie toestanden beschouwd, nl.:

- a. de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken;
- b. de toestand na de uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas;
- c. de toestand na de uitvoering van de deltawerken met gesloten Oude Maas nabij het splitsingspunt met de Nieuwe Maas.

Bij deze drie toestanden zijn verschillende combinaties van getij en Rijnafvoeren beschouwd, terwijl de aangenomen opening van de Haringvlietsluizen tijdens de lozingsperiode tevens is vermeld, nl.:

1. Gemiddeld getij in zee; Rijnafvoer bij O.L.R. ca. 980 m<sup>3</sup>/sec. De Haringvlietsluizen zijn gedurende het gehele getij gesloten.
2. Gemiddeld getij in zee; Rijnafvoer ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec. Opening in de Haringvlietsluizen tijdens de ebperiode bij open Oude Maas ca. 500 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. en bij gesloten Oude Maas ca. 750 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. (De afvoer door de Noord is in beide gevallen 275 m<sup>3</sup>/sec.)
3. Gemiddeld getij in zee; hoge Rijnafvoer ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec. De Haringvlietsluizen zijn gedurende de lozingsperiode geheel geopend. (Sluisopening ca. 6000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P.)

#### 4.4.2 *De maximale eb- en vloednelheden bij de toestanden a, b en c, gemiddeld getij in zee en afvoer bij O.L.R. (ca. 980 m<sup>3</sup>/sec)*

In verband met de lage Rijnafvoer zijn de Haringvlietsluizen gedurende het gehele getij gesloten verondersteld, zodat de afvoeren via de Waal, de Lek en de Maas door het Scheur en de Nieuwe Waterweg naar zee stromen. Verminderingen van de opperwaterafvoeren vanwege de zoetwaterhuishouding zijn niet in rekening gebracht.

Wordt de Oude Maas in de benedenmond afgesloten, dan stromen de opperwaterafvoeren via de Waal en de Maas door de Noord. Bij open Oude Maas verdelen deze afvoeren zich over de Noord en de Oude Maas.

In tabel 4.4.1 zijn de maximale eb- en vloednelheden vermeld. Dit zijn de maxima van de gemiddelde snelheidskrommen, die bepaald zijn voor het gehele stroomvoerende dwarsprofiel ter plaatse (zie ook figuren 4.4.1, 4.4.2 en 4.4.3).

Bij de beschouwing van de maximale eb- en vloednelheden in de Nieuwe Waterweg en in het Scheur blijkt, dat bij de toestanden b en c deze snelheden afnemen ten opzichte van die bij toestand a. Bij toestand c (afgesloten Oude Maas) is vooral in het Scheur deze vermindering groter dan bij toestand b (open Oude Maas).

Ook zonder Deltaplan zouden bij afgesloten Oude Maas de maximale eb- en vloednelheden in het Scheur afnemen. Immers, het kombergingsgebied van de Oude Maas heeft nu niet meer door het Scheur gevuld en geledigd te worden. Dit zou dan gebeuren via het Spui, de Dordtse Kil en de Noord.

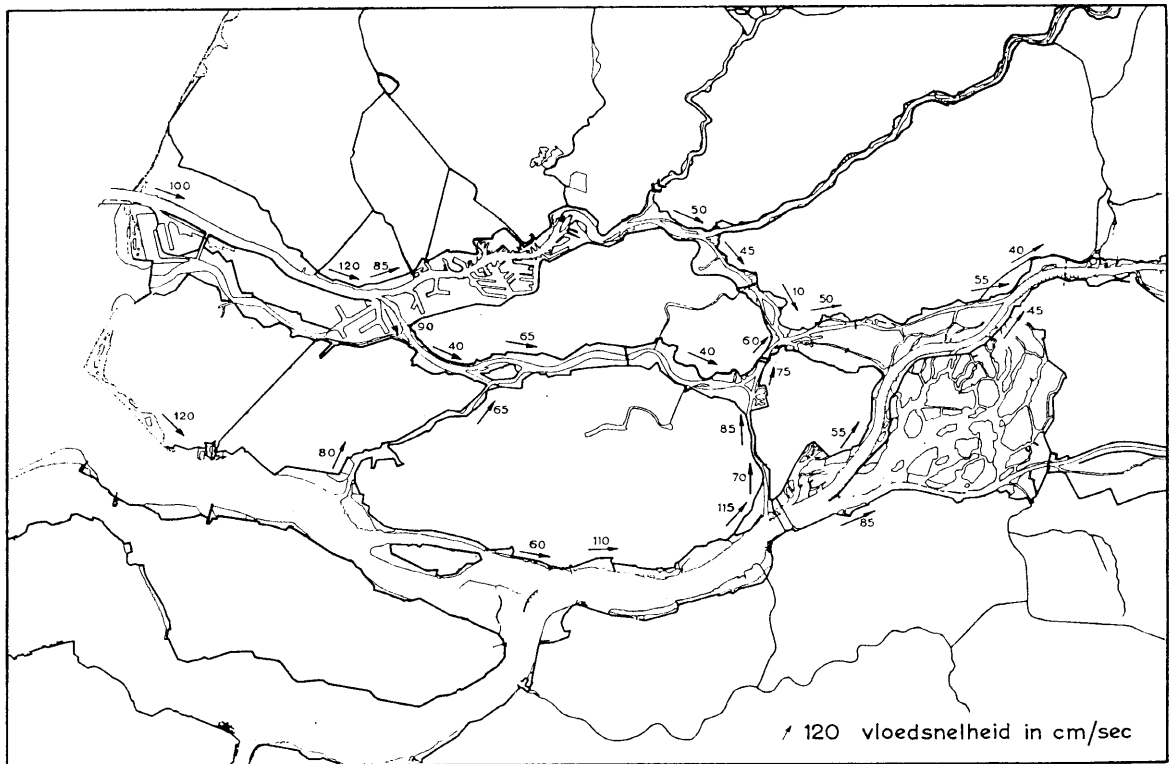
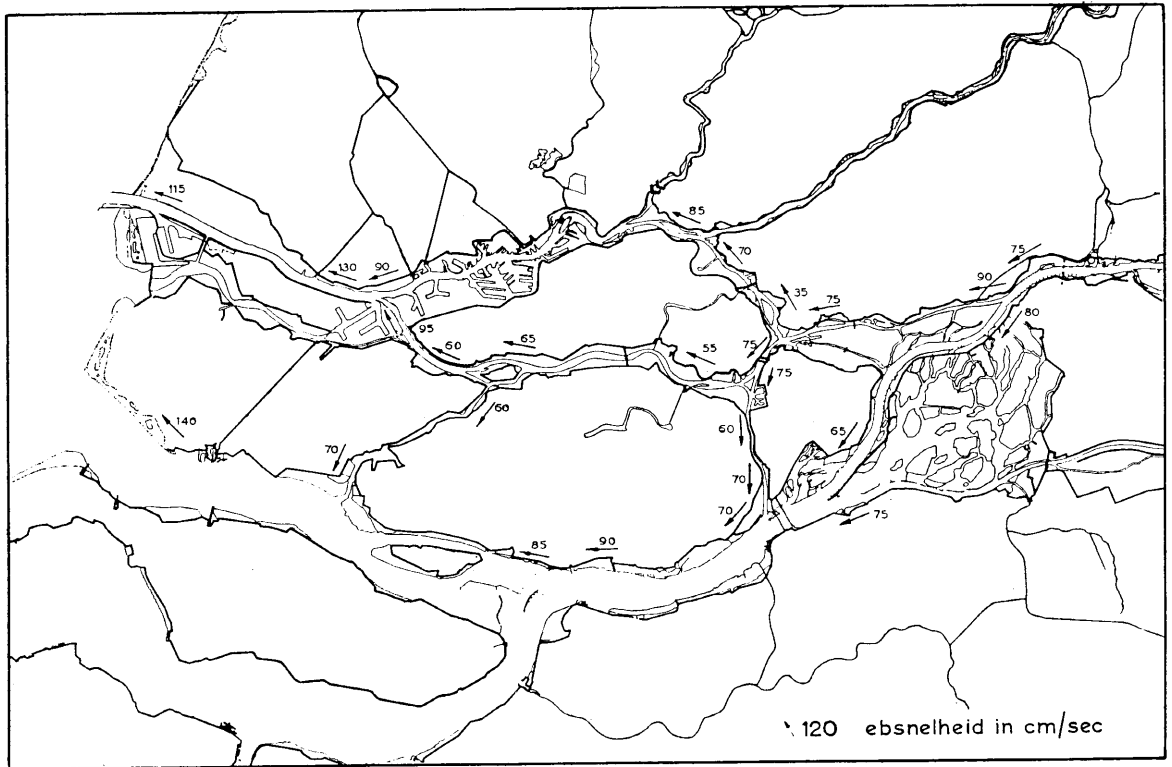
Men zou verwachten, dat na de uitvoering van de deltawerken, dus bij afgesloten Haringvliet en Hellegat, de maximale snelheden op de Nieuwe Waterweg en het Scheur belangrijk groter zouden worden dan bij toestand a. Immers de waterbeweging in het noordelijke deltabekken wordt dan geheel

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage III.8.

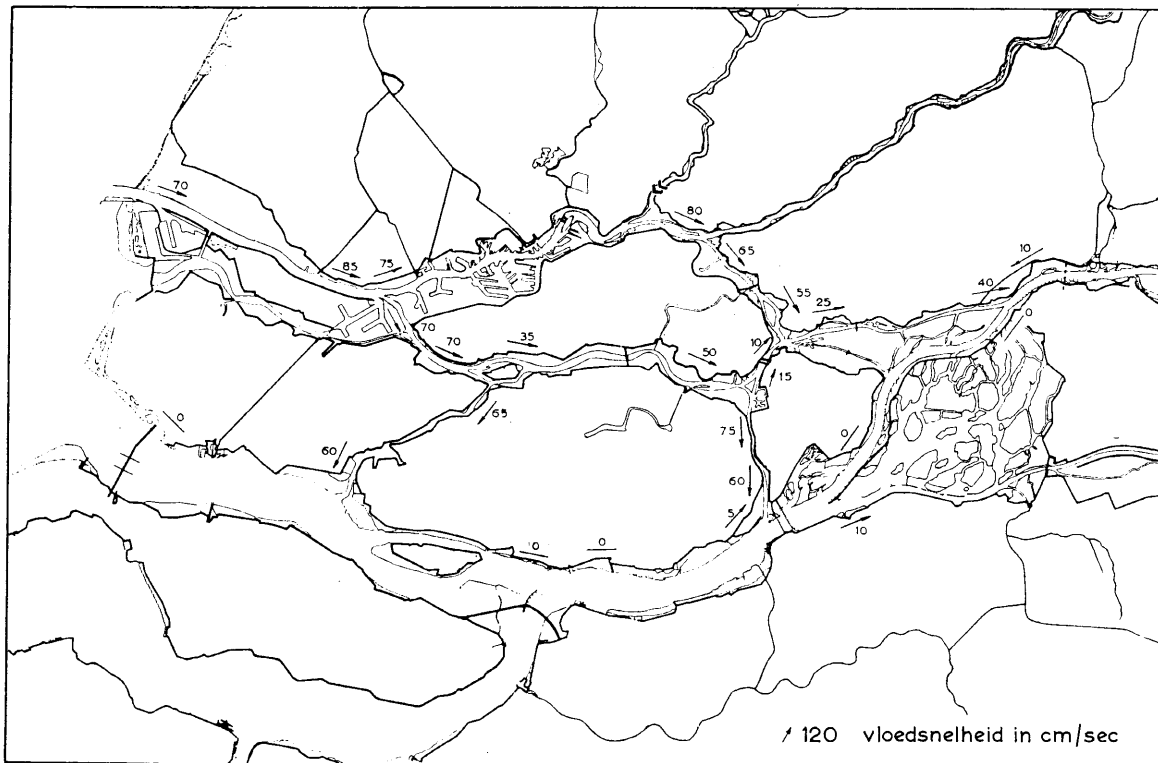
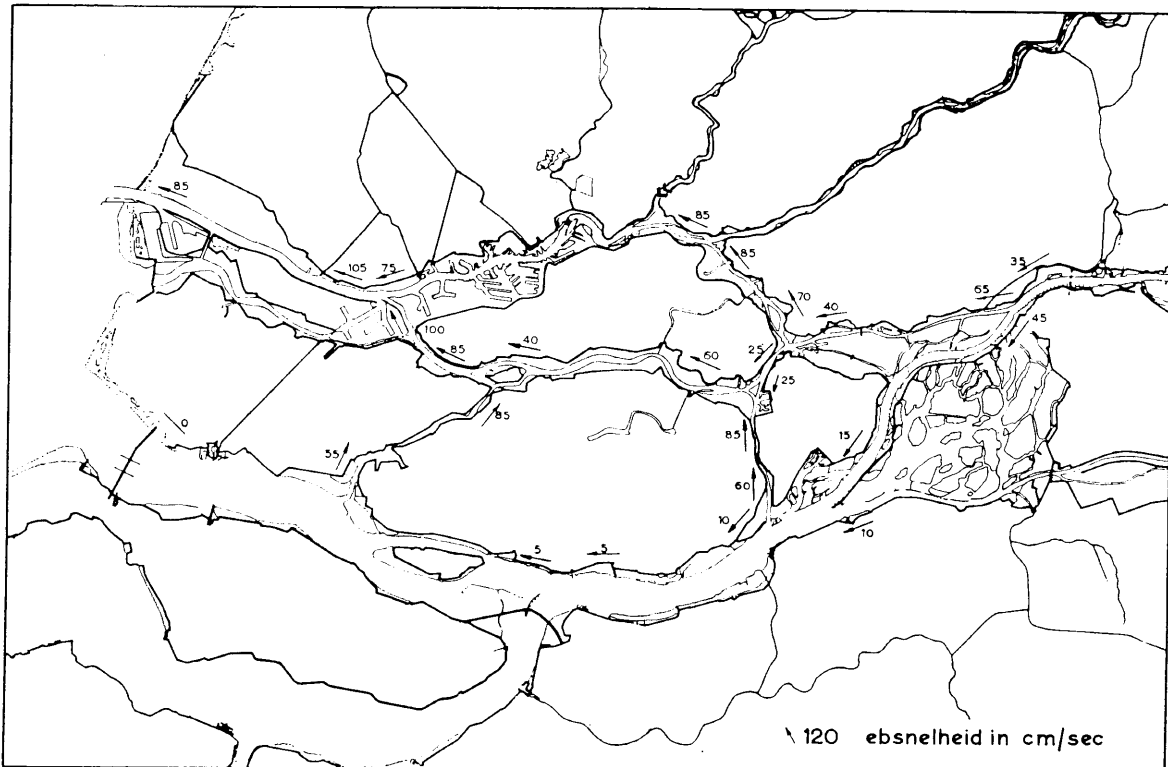
Tabel 4.4.1

Maximale eb- en vloedsnelheden, afgerond op 5 cm, bij verschillende toestanden met gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer van ca. 980 m<sup>3</sup>/sec (O.L.R.)

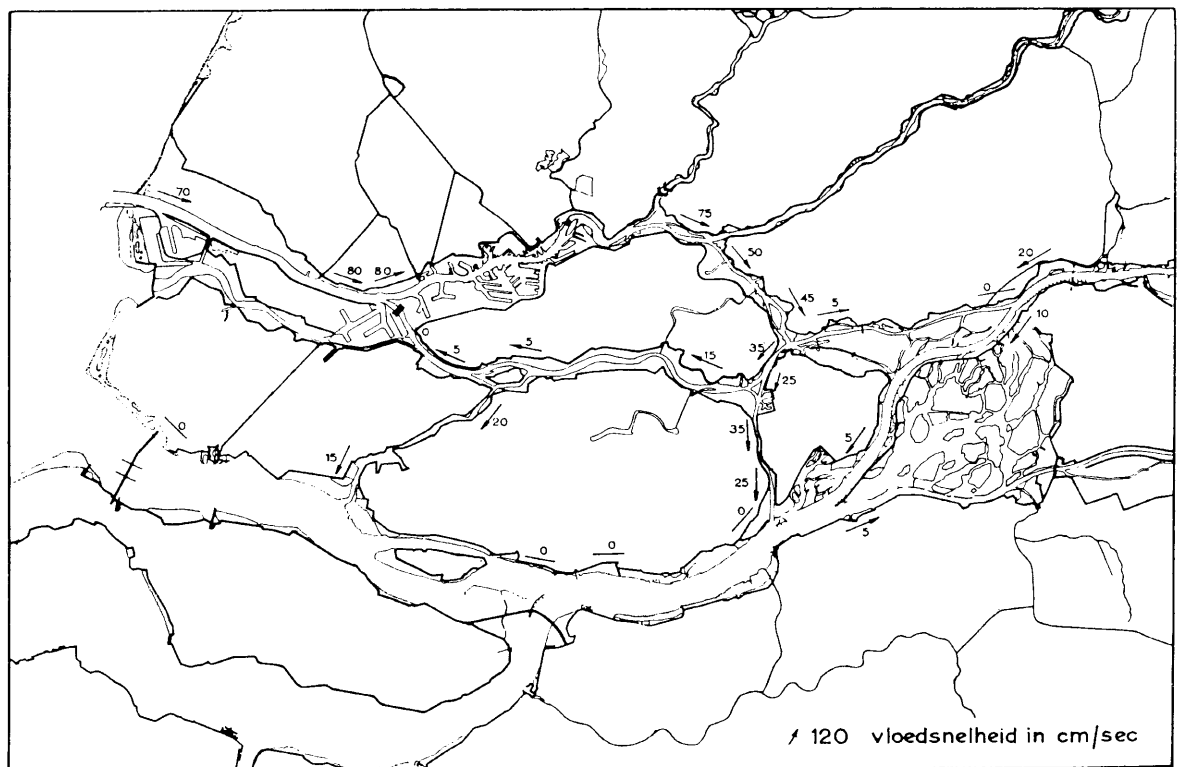
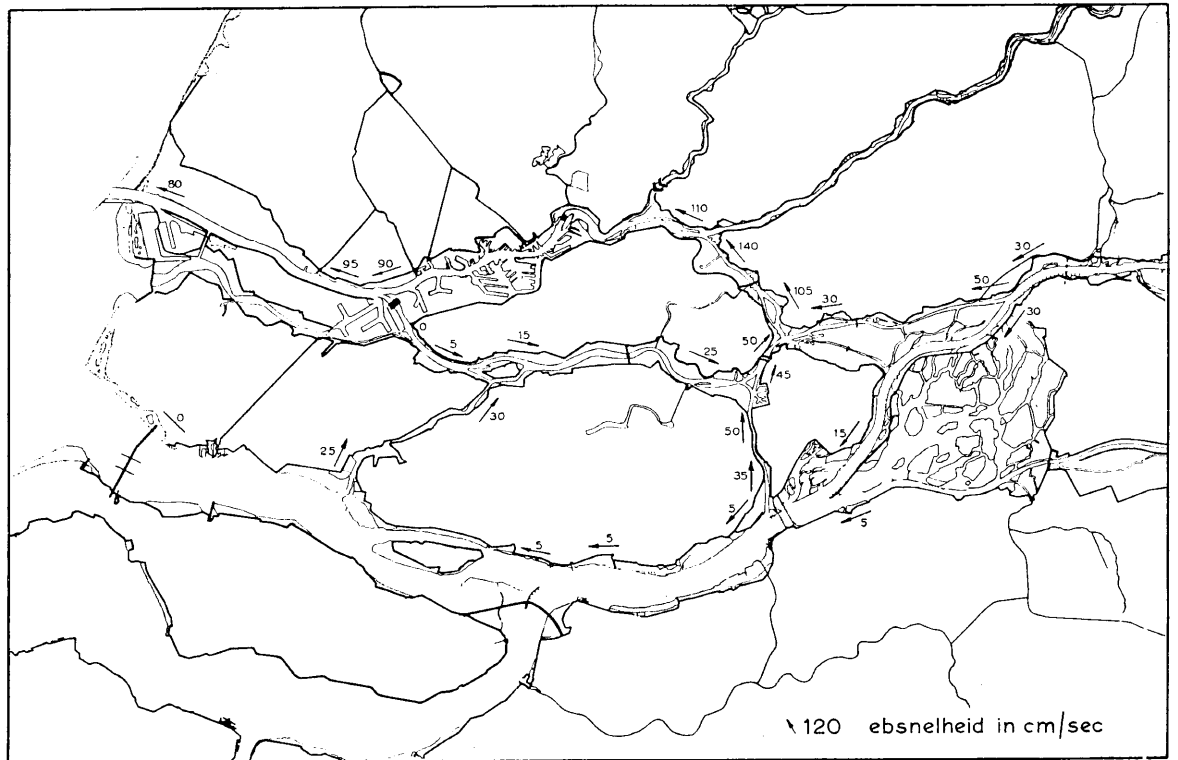
Rivier	Plaats	Kilometer- raai	Toestand a		Toestand b		Toestand c	
			Toestand van het deltagebied vóór de uitvoering der werken		Toestand na uitvoering van de werken met open Oude Maas nabij de Westgeul		Toestand na uitvoering van de werken met gesloten Oude Maas nabij de Westgeul	
			Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloedsnelheid in cm/sec	Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloedsnelheid in cm/sec	Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloedsnelheid in cm/sec
Nieuwe Waterweg . . . . .	Hoek van Holland	1030, <sup>260</sup>	115 O → W	100 W → O	85 O → W	70 W → O	80 O → W	70 W → O
Scheur . . . . .	beneden Westgeul	1014, <sup>000</sup>	130 O → W	120 W → O	105 O → W	85 W → O	95 O → W	80 W → O
Nieuwe Maas . . . . .	boven Westgeul	1013, <sup>000</sup>	90 O → W	85 W → O	75 O → W	75 W → O	90 O → W	80 W → O
Nieuwe Maas . . . . .	bij Krimpen aan de Lek	989, <sup>825</sup>	85 O → W	50 W → O	85 O → W	80 W → O	110 O → W	75 W → O
Noord . . . . .	bij Krimpen aan de Lek	984, <sup>450</sup>	70 Z → N	45 N → Z	85 Z → N	65 N → Z	140 Z → N	50 N → Z
Noord . . . . .	bij Dordrecht	976, <sup>750</sup>	35 Z → N	10 N → Z	70 Z → N	55 N → Z	105 Z → N	45 N → Z
Oude Maas . . . . .	bij Westgeul	1006, <sup>500</sup>	95 O → W	90 W → O	100 O → W	70 W → O	0	0
Oude Maas . . . . .	beneden Spui	995, <sup>770</sup>	60 O → W	40 W → O	85 O → W	70 W → O	5 W → O	5 O → W
Oude Maas . . . . .	boven Spui	994, <sup>770</sup>	65 O → W	65 W → O	40 O → W	35 W → O	15 W → O	5 O → W
Oude Maas . . . . .	beneden Krabbegeul	980, <sup>440</sup>	55 O → W	40 W → O	60 O → W	50 W → O	25 W → O	15 O → W
Oude Maas . . . . .	boven Mallegat	978, <sup>340</sup>	75 O → W	75 W → O	25 O → W	15 W → O	45 W → O	25 O → W
Oude Maas . . . . .	bij Dordrecht	976, <sup>665</sup>	75 O → W	60 W → O	25 O → W	10 W → O	50 W → O	35 O → W
Beneden-Merwede . . . . .	bij Dordrecht	975, <sup>665</sup>	75 O → W	50 W → O	40 O → W	25 W → O	30 O → W	5 W → O
Beneden-Merwede . . . . .	bij Werkendam	961, <sup>750</sup>	90 O → W	55 W → O	65 O → W	40 W → O	50 O → W	0
Boven-Merwede . . . . .	bij Werkendam	979, <sup>260</sup>	75 O → W	40 W → O	35 O → W	10 O → W	30 O → W	20 O → W
Nieuwe Merwede . . . . .	bij Anna Jacomina Plaat	961, <sup>750</sup>	65 O → W	55 W → O	15 O → W	0	15 O → W	5 O → W
Nieuwe Merwede . . . . .	bij Werkendam	1009, <sup>600</sup>	80 O → W	45 W → O	45 O → W	0 W → O	30 O → W	10 O → W
Spui . . . . .	bij de Beningen	995, <sup>860</sup>	70 O → W	80 W → O	55 W → O	60 O → W	25 W → O	15 O → W
Dordtse Kil . . . . .	bij Oude Maas	988, <sup>200</sup>	60 O → W	65 W → O	85 W → O	65 O → W	30 W → O	20 O → W
Dordtse Kil . . . . .	bij Hollands Diep	981, <sup>950</sup>	70 N → Z	70 Z → N	60 Z → N	60 N → Z	35 Z → N	25 N → Z
Dordtse Kil . . . . .	bij 's-Gravendeel	981, <sup>950</sup>	60 N → Z	85 Z → N	85 Z → N	75 N → Z	50 Z → N	35 N → Z
Haringvliet . . . . .	bij de bouwput	140 O → W	140 O → W	120 W → O	0	0	0	0
Haringvliet . . . . .	bij Hellegat	85 O → W	85 O → W	60 W → O	5 O → W	0 W → O	5 O → W	0 W → O
Hollands Diep . . . . .	bij Willemstad	90 O → W	90 O → W	110 W → O	5 O → W	0 W → O	5 O → W	0 W → O
Hollands Diep . . . . .	beneden Dordtse Kil	115 W → O	115 W → O	115 W → O	10 O → W	5 W → O	5 O → W	0 W → O
Amer . . . . .	bij Anna Jacomina Plaat	261, <sup>950</sup>	75 O → W	85 W → O	10 O → W	10 W → O	5 O → W	5 W → O



Figuur 4.4.1. Toestand a. Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer bij O.L.R. (ca. 980 m<sup>3</sup>/sec)



Figuur 4.4.2. Toestand b. Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer bij O.L.R. (ca. 980 m<sup>3</sup>/sec)



Figuur 4.4.3. Toestand c. Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met gesloten Oude Maas. Gemiddeld getijd in zee en een Rijnafvoer bij O.L.R. (ca. 980 m<sup>3</sup>/sec)

bepaald door het getij, dat via de mond van de Nieuwe Waterweg binnenkomt, terwijl bovendien de afvoeren via de Lek, de Waal en de Maas door het Scheur en de Nieuwe Waterweg naar zee moeten afvloeien. Zowel uit berekeningen als uit metingen in het hydraulisch model blijkt, dat deze veronderstelling niet juist is. Het blijkt nl., dat de maximale eb- en vloednelheden in de Nieuwe Waterweg en het Scheur bij de toestand c (gesloten Oude Maas) beide met circa 30% verminderen ten opzichte van die bij toestand a. Bij de toestand b (open Oude Maas) is deze vermindering maar weinig kleiner. De grootste vermindering treedt dus op, indien de Oude Maas wordt afgesloten. In dit geval wordt het kombergingsgebied van de Oude Maas niet direct meer gevuld en geleidigd door de Nieuwe Waterweg en het Scheur, maar indirect via de Noord.

Een analoog verschijnsel heeft zich voorgedaan, maar dan in tegengestelde zin, na de afsluiting van de Zuiderzee. Ondanks het feit, dat de maximale stromen in het Zeegat van Den Helder door de afsluiting van de Zuiderzee veel kleiner zijn geworden, zijn toch de maximale snelheden in dit zeegat na de afsluiting toegenomen. Voor een nadere verklaring van deze paradox wordt verwezen naar de aan deze bijdrage toegevoegde Appendix.

In de benedenmond van de Nieuwe Maas nabij de Oude Maas zijn de maximale eb- en vloednelheden bij toestand b kleiner dan die bij toestand a. Bij toestand c zijn ze vrijwel gelijk aan die bij toestand a. Nabij het splitsingspunt met de Noord zijn bij de toestand b de maximale ebsnelheden vrijwel gelijk aan die bij de toestand a, terwijl de maximale vloednelheden beduidend toenemen. Bij de toestand c nemen hier de maximale ebsnelheden aanzienlijk toe ten opzichte van die bij de toestanden a en b. De maximale vloednelheden zijn iets kleiner dan die bij de toestand b, maar zijn opmerkelijk groter dan bij de toestand a.

De toeneming van de maximale stroomsnelheden in de Nieuwe Maas bij het splitsingspunt met de Noord bij de toestand c en in mindere mate bij de toestand b is een onmiddellijk gevolg van de ingrijpende wijzigingen in de stromingstoestand van de Noord.

Daar de Noord bij afgesloten Oude Maas (toestand c) de toegangsweg voor het getij tot de Oude Maas en het Haringvlietbekken is, nemen de maximale snelheden zeer beduidend toe ten opzichte van die bij de toestand a, zoals uit de gegevens van tabel 4.4.1 blijkt. In de benedenmond van de Noord worden de maximale ebsnelheden zelfs ongeveer het dubbele van die bij de toestand a. De maximale vloednelheden blijven echter aanzienlijk kleiner dan de maximale ebsnelheden vanwege de bovenafvoeren via de Waal en de Maas door de Noord. Bij open Oude Maas worden de maximale ebsnelheden in de Noord ten opzichte van die bij afgesloten Oude Maas aanmerkelijk kleiner, terwijl dan de maximale vloednelheden toenemen.

Op Haringvliet—Hollands Diep—Amer zijn steeds de maximale snelheden gering. Deze zeearm is dan praktisch een meer geworden. Ook op de drie Merweden worden de snelheden bij het Deltaplan, zowel met open als gesloten Oude Maas (toestanden b en c), kleiner dan bij de toestand a.

De maximale snelheden in het Spui nabij het splitsingspunt met de Oude Maas nemen bij de toestand b ten opzichte van die bij de toestand a toe, terwijl de maximale snelheden in het Spui nabij het Haringvliet afnemen. In vergelijking met de toestand van vóór de uitvoering van de deltawerken keren uiteraard de vloed en de eb op deze rivier van richting om, zodat de bovenmond van het Spui bij de toestand a bij de toestanden b en c de benedenmond wordt. Het stromingsbeeld bij het splitsingspunt Oude Maas—Spui wordt bij open Oude Maas aanzienlijk gecompliceerder dan voorheen.

Evenals in het Spui worden bij open Oude Maas de maximale snelheden in de Krabbegeul en in de bovenmond van de Dordtse Kil groter dan bij de toestand a. Bij de toestanden b en c zijn de richtingen van de eb- en vloednelheden dan weer tegengesteld gericht aan die bij toestand a. De bovenmond van de Dordtse Kil bij toestand a moet weer de benedenmond worden genoemd bij de toestanden b en c. Bij het splitsingspunt Dordtse Kil—Oude Maas—Krabbegeul zal, evenals bij het Spui, na de uitvoering van de deltawerken de stromingstoestand gecompliceerder worden.

#### 4.4.3 *De maximale eb- en vloednelheden bij de toestanden a, b en c in het deltagebied en de eb- en vloedvolumes in de Nieuwe Waterweg. Rijnafvoer is ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec en het getij is het gemiddelde*

In tabel 4.4.2 zijn de maximale eb- en vloednelheden vermeld (zie ook figuren 4.4.4, 4.4.5 en 4.4.6).

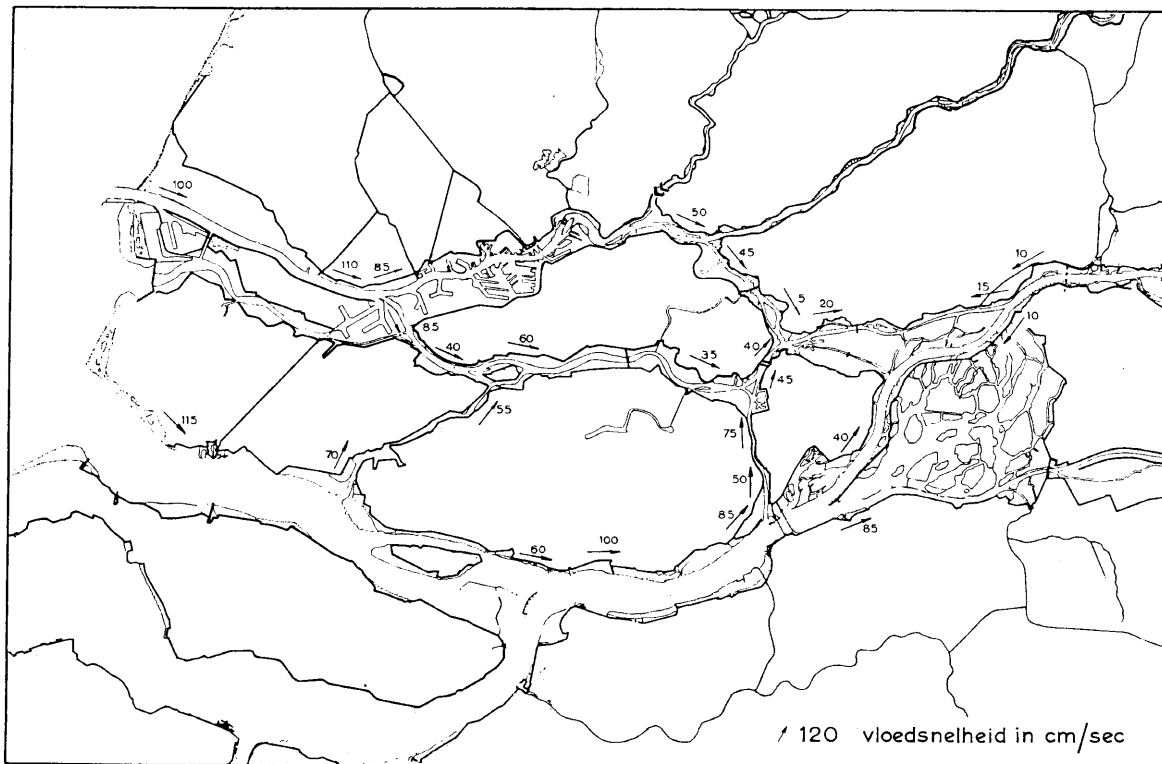
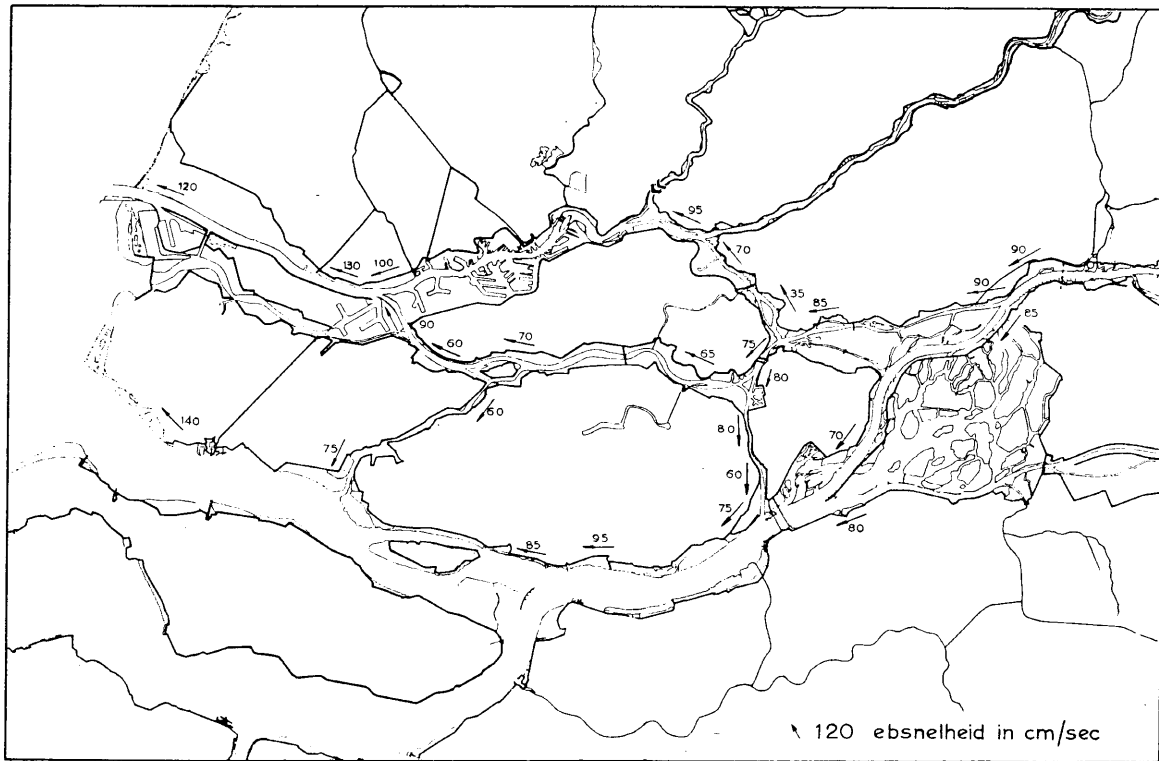
Zowel uit metingen in de natuur als uit berekeningen blijkt, dat de Noord bij de toestand a bij een gemiddelde afvoer van de Rijn van ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec, 275 m<sup>3</sup> Rijnwater per seconde in noordelijke richting naar de Nieuwe Maas afvoert.



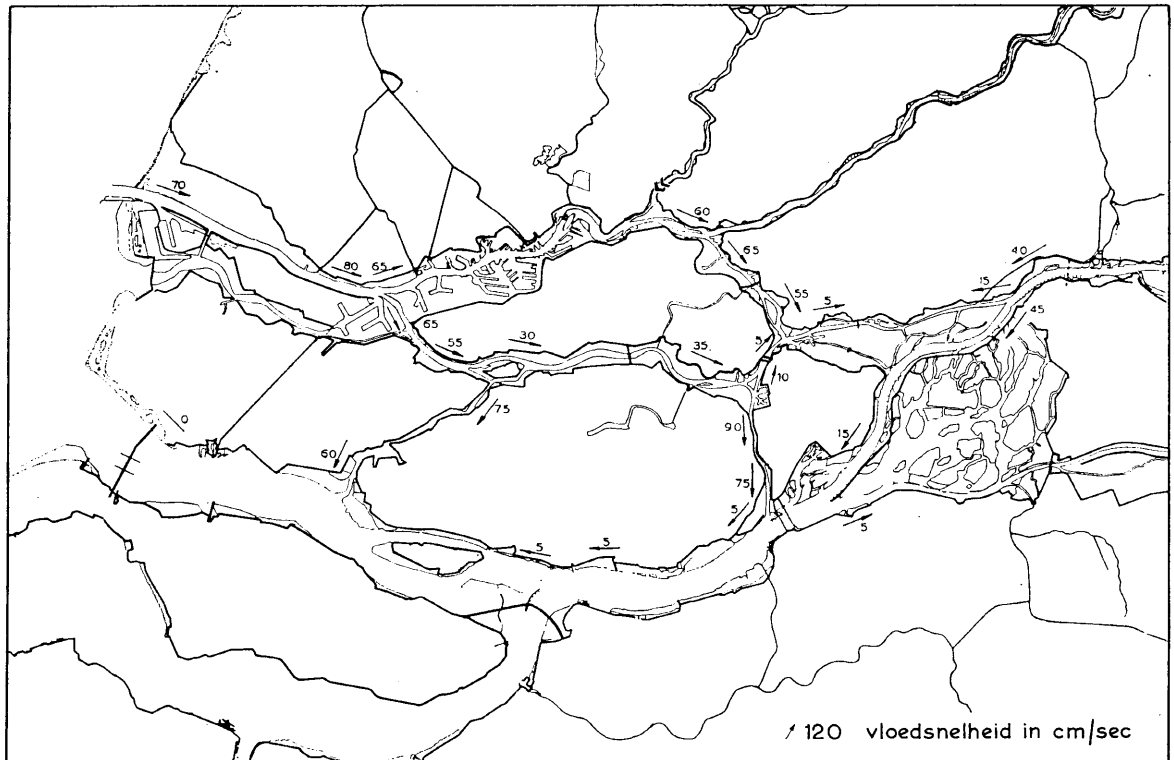
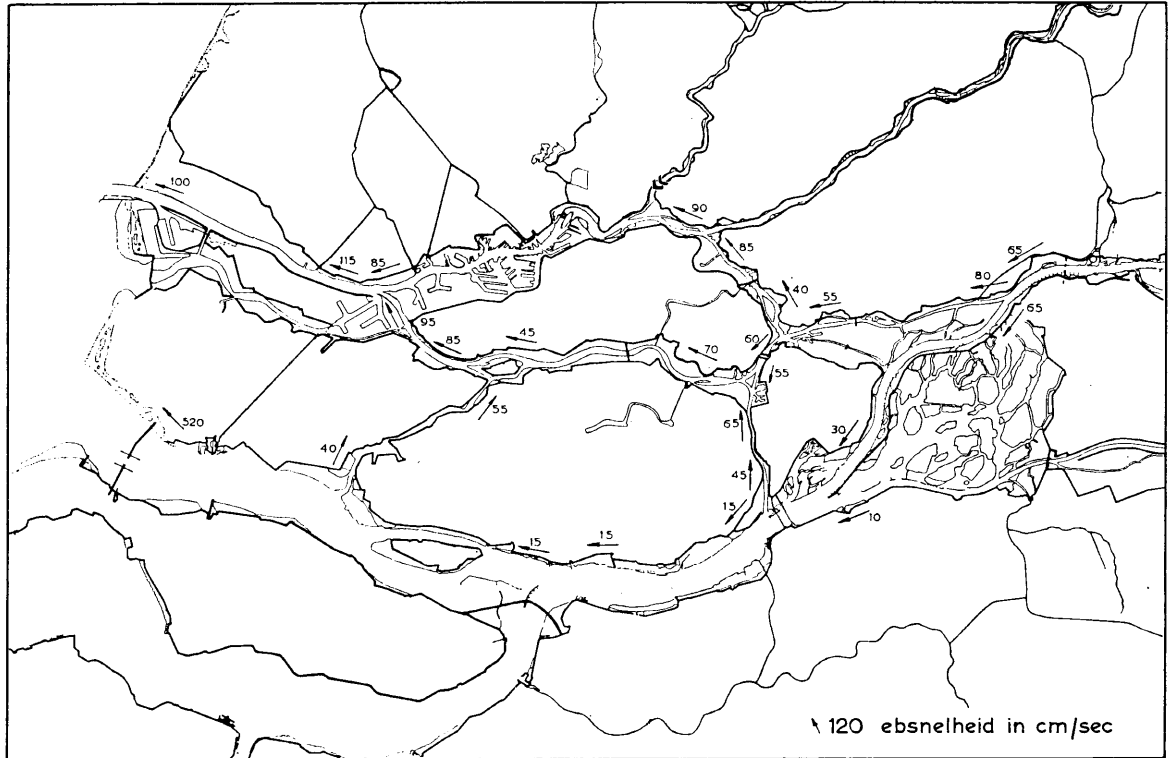
Tabel 4.4.2

Maximale eb- en vloodsnelheden, afgerond op 5 cm, bij verschillende toestanden met gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer van ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec (gemiddelde afvoer)

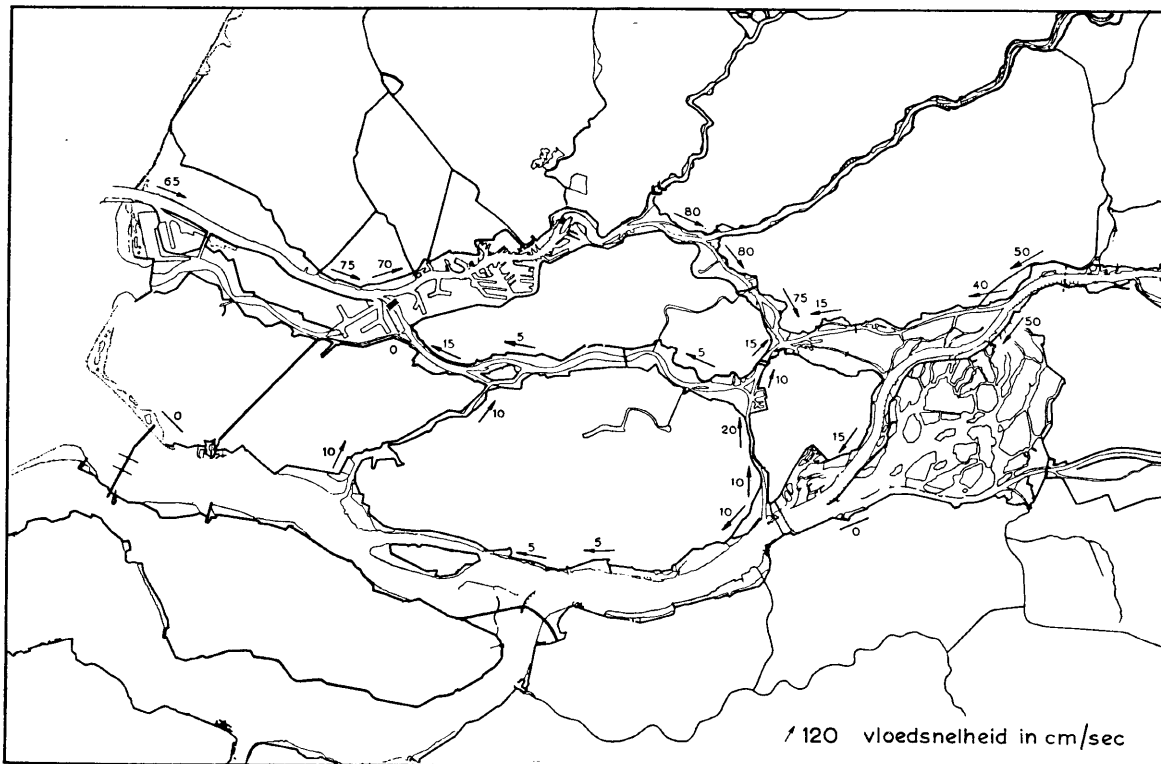
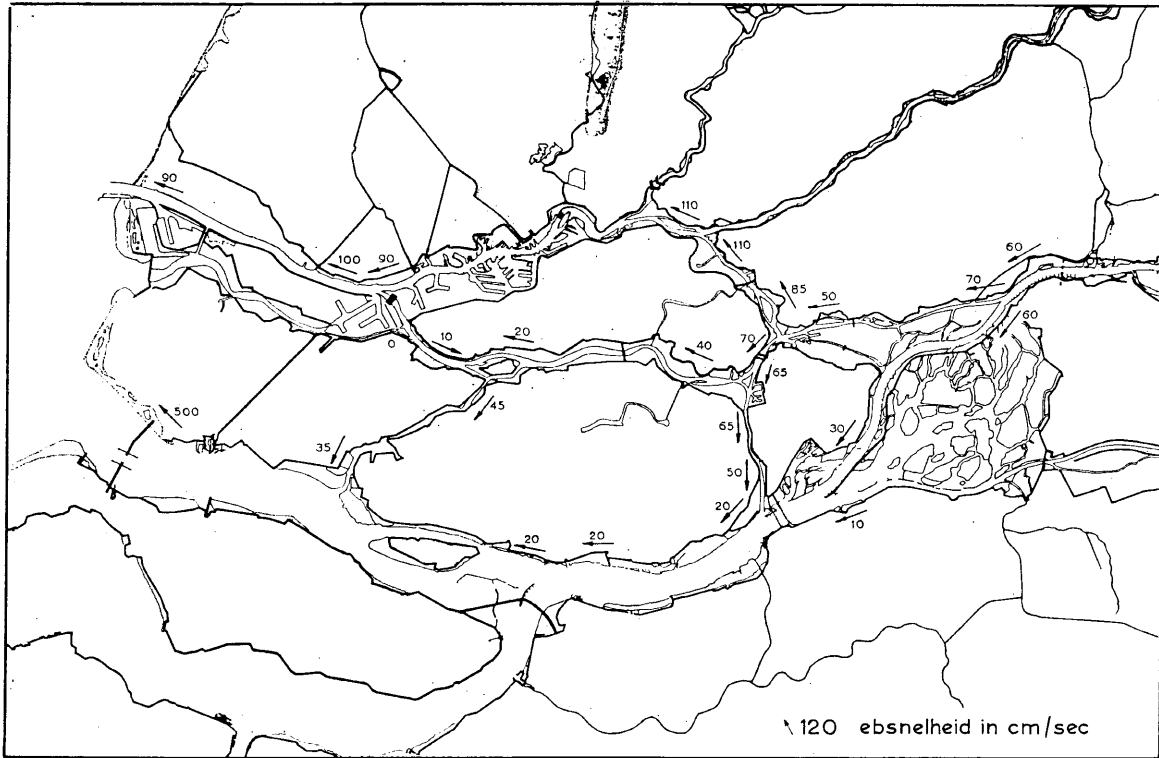
Rivier	Plaats	Kilometer-raai	Toestand a		Toestand b		Toestand c	
			Toestand van het deltagebied vóór de uitvoering der werken		Toestand na uitvoering van de werken met open Oude Maas nabij de Westgeul		Toestand na uitvoering van de werken met gesloten Oude Maas nabij de Westgeul	
			Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloodsnelheid in cm/sec	Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloodsnelheid in cm/sec	Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloodsnelheid in cm/sec
Nieuwe Waterweg . . . . .	Hoek van Holland	1030, <sup>260</sup>	120 O→W	100 W→O	100 O→W	70 W→O	90 O→W	65 W→O
Scheur . . . . .	beneden Westgeul	1014, <sup>000</sup>	130 O→W	110 W→O	115 O→W	80 W→O	100 O→W	75 W→O
Nieuwe Maas . . . . .	boven Westgeul	1013, <sup>000</sup>	100 O→W	85 W→O	85 O→W	65 W→O	90 O→W	70 W→O
Nieuwe Maas . . . . .	bij Krimpen aan de Lek	989, <sup>625</sup>	95 O→W	50 W→O	90 O→W	60 W→O	110 O→W	80 W→O
Noord . . . . .	bij Krimpen aan de Lek	984, <sup>450</sup>	70 Z→N	45 N→Z	85 Z→N	65 N→Z	110 Z→N	80 N→Z
Noord . . . . .	bij Dordrecht	976, <sup>750</sup>	35 Z→N	5 N→Z	40 Z→N	55 N→Z	85 Z→N	75 N→Z
Oude Maas . . . . .	bij Westgeul	1006, <sup>500</sup>	90 O→W	85 W→O	95 O→W	65 W→O	0	0
Oude Maas . . . . .	beneden Spui	995, <sup>770</sup>	60 O→W	40 W→O	85 O→W	55 W→O	10 W→O	15 O→W
Oude Maas . . . . .	boven Spui	994, <sup>770</sup>	70 O→W	60 W→O	45 O→W	30 W→O	20 O→W	5 O→W
Oude Maas . . . . .	beneden Krabbegeul	980, <sup>440</sup>	65 O→W	35 W→O	70 O→W	35 W→O	40 O→W	5 O→W
Oude Maas . . . . .	boven Mallegat	978, <sup>340</sup>	80 O→W	45 W→O	55 O→W	10 W→O	65 O→W	10 W→O
Oude Maas . . . . .	bij Dordrecht	976, <sup>665</sup>	75 O→W	40 W→O	60 O→W	5 W→O	70 O→W	15 W→O
Beneden-Merwede . . . . .	bij Dordrecht	975, <sup>665</sup>	85 O→W	20 W→O	55 O→W	5 W→O	50 O→W	15 O→W
Beneden-Merwede . . . . .	bij Werkendam	961, <sup>750</sup>	90 O→W	15 O→W	80 O→W	15 O→W	70 O→W	40 O→W
Boven-Merwede . . . . .	bij Werkendam	960, <sup>750</sup>	90 O→W	10 O→W	65 O→W	40 O→W	60 O→W	50 O→W
Nieuwe Merwede . . . . .	bij Anna Jacomina Plaat	979, <sup>260</sup>	70 O→W	40 W→O	30 O→W	15 O→W	30 O→W	15 O→W
Nieuwe Merwede . . . . .	bij Werkendam	961, <sup>750</sup>	85 O→W	10 O→W	65 O→W	45 O→W	60 O→W	50 O→W
Spui . . . . .	bij de Beningen	1009, <sup>500</sup>	75 O→W	70 W→O	40 W→O	60 O→W	35 O→W	10 W→O
Spui . . . . .	bij Oude Maas	995, <sup>880</sup>	60 O→W	55 W→O	55 W→O	75 O→W	45 O→W	10 W→O
Dordtse Kil . . . . .	bij Hollands Diep	988, <sup>200</sup>	60 N→Z	50 Z→N	45 Z→N	75 N→Z	50 N→Z	10 Z→N
Dordtse Kil . . . . .	bij 's-Gravendeel	981, <sup>950</sup>	80 N→Z	75 Z→N	65 Z→N	90 N→Z	65 N→Z	20 Z→N
Haringvliet . . . . .	bij de bouwput		140 O→W	115 W→O	520 O→W	0	500 O→W	0
Haringvliet . . . . .	bij Hellegat		85 O→W	60 W→O	15 O→W	5 O→W	20 O→W	5 O→W
Hollands Diep . . . . .	bij Willemstad		95 O→W	100 W→O	15 O→W	5 O→W	20 O→W	5 O→W
Hollands Diep . . . . .	beneden Dordtse Kil		75 O→W	85 W→O	15 O→W	5 O→W	20 O→W	10 O→W
Amer . . . . .	bij Anna Jacomina Plaat	261, <sup>950</sup>	80 O→W	85 W→O	10 O→W	5 W→O	10 O→W	0 W→O



Figuur 4.4.4. Toestand a. Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Gemiddeld getij in zee en een gemiddelde Rijnafvoer (ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec)



Figuur 4.4.5. Toestand b. Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een gemiddelde Rijnafvoer (ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec)



Figuur 4.4.6. Toestand c. Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met gesloten Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een gemiddelde Rijnaflow (ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec)

De grens van 300 mg Cl/l ten tijde van de H.W.-kentering op de Nieuwe Maas ligt dan nabij de Parkhaven.

Voor het overeenkomstig geval na uitvoering van de deltawerken wordt zowel bij open als bij gesloten Oude Maas (de toestanden b en c), een zodanige effectieve spuiopening van de Haringvlietsluizen aangenomen, dat ook dan de opperwaterafvoer door de Noord van 275 m<sup>3</sup>/sec gehandhaafd blijft. De opperwaterafvoer langs de Nieuwe Maas is dan gemiddeld 725 m<sup>3</sup>/sec (de afvoer van de Lek is 450 m<sup>3</sup>/sec en van de Noord 275 m<sup>3</sup>/sec). Bij open Oude Maas zal de effectieve opening van de Haringvlietsluizen ca. 500 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. en bij gesloten Oude Maas ca. 750 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. moeten bedragen. In deze gevallen zal de grens van 300 mg Cl/l verder benedenstrooms van de Parkhaven komen te liggen, daar de maximale snelheden op de Nieuwe Waterweg en het Scheur kleiner zijn dan vóór de uitvoering van de deltawerken (zie ook 3.0).

De grootste vermindering van de snelheden treedt uiteraard weer op, als bij de toestand c ook de Oude Maas nabij de Westgeul wordt afgesloten. Dan zal de grens van 300 mg Cl/l het verst zeewaarts voorkomen.

Ten gevolge van de vermindering van de snelheden in de Nieuwe Waterweg en het Scheur zullen ook de totale vloed- en ebvolumes afnemen.

Bij gemiddelde getijbeweging in zee en een Rijnafvoer van 2300 m<sup>3</sup>/sec bedraagt bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken bij Hoek van Holland het vloedvolume circa 70.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en het ebvolume 115.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. De hoeveelheid opperwater, welke per getij door het Scheur en de Nieuwe Waterweg naar zee stroomt, bedraagt dan ongeveer 45.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, wat overeenkomt met een afvoer van 1000 m<sup>3</sup>/sec. Na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas (toestand b) worden de vloed- en ebvolumes respectievelijk ongeveer 45.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 100.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en bij gesloten Oude Maas (toestand c) respectievelijk ongeveer 45.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 80.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Hierbij is uiteraard weer aangenomen, dat de afvoeren bij de toestanden b en c respectievelijk per getij ongeveer 55.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (1200 m<sup>3</sup>/sec) en 35.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (800 m<sup>3</sup>/sec) zijn.

Op het Haringvliet, het Hollands Diep, de Amer en de Nieuwe Merwede nemen bij de toestanden b en c de maximale snelheden belangrijk af. Vooral op het Haringvliet en het Hollands Diep worden de snelheden klein, terwijl er geen vloedstroom meer voorkomt. De snelheid is dus steeds gericht naar de Haringvlietsluizen, waarmee wordt gespuid gedurende de tijd, dat de binnenwaterstand hoger is dan de buitenwaterstand.

Over de drie verbindingstakken met het Haringvlietbekken, nl. de Noord, de Dordtse Kil en het Spui, wordt opgemerkt, dat de maximale eb- en vloodsnelheden in beneden- en bovenmond van de Noord na uitvoering van de deltawerken, zowel in de toestanden b als c, aanzienlijk groter zijn dan bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. De grootste vermeerderingen van de maximale snelheden worden weer bij gesloten Oude Maas gevonden (zie 4.4.2). In het Spui en de Dordtse Kil keren, evenals in 4.4.2 beschreven is, de vloed en de eb van richting om. Bij open Oude Maas (toestand b) nemen de vloodsnelheden in het Spui bij het Bereneiland toe ten opzichte van de ebsnelheden bij toestand a. Dit is ook in de Dordtse Kil bij 's-Gravendeel het geval. Daar de vloed vanaf de Oude Maas via de Krabbegeul de Dordtse Kil binnendringt, zullen ook de maximale vloodsnelheden in de Krabbegeul gaan toenemen.

Bij gesloten Oude Maas zijn zowel in het Spui bij het Bereneiland als in de Dordtse Kil bij 's-Gravendeel de maximale snelheden gelijk aan of kleiner dan bij de toestand vóór de uitvoering van de werken.

#### 4.4.4 *De maximale eb- en vloodsnelheden bij de toestanden a, b en c met hoge Rijnafvoer (ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec) en gemiddeld getij in zee*

In tabel 4.4.3 zijn de maximale eb- en vloodsnelheden vermeld, zoals deze bij de toestanden a, b en c kunnen worden verwacht (zie ook figuren 4.4.7, 4.4.8 en 4.4.9).

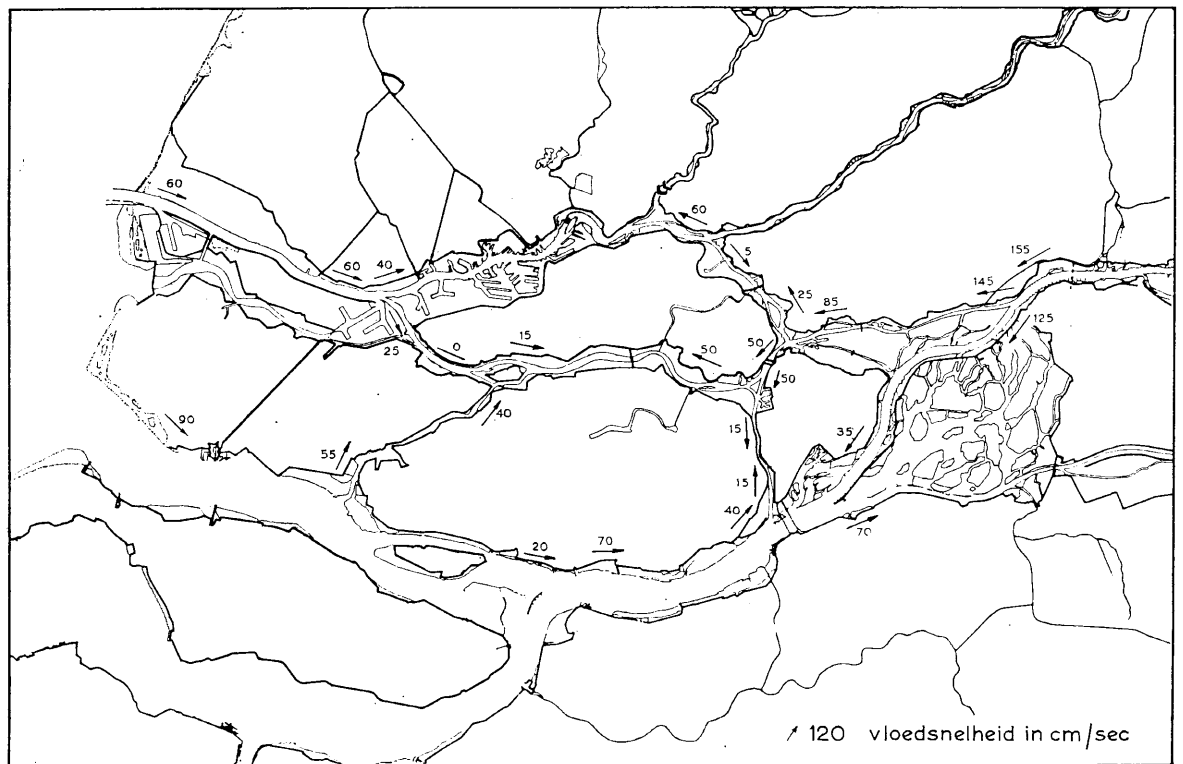
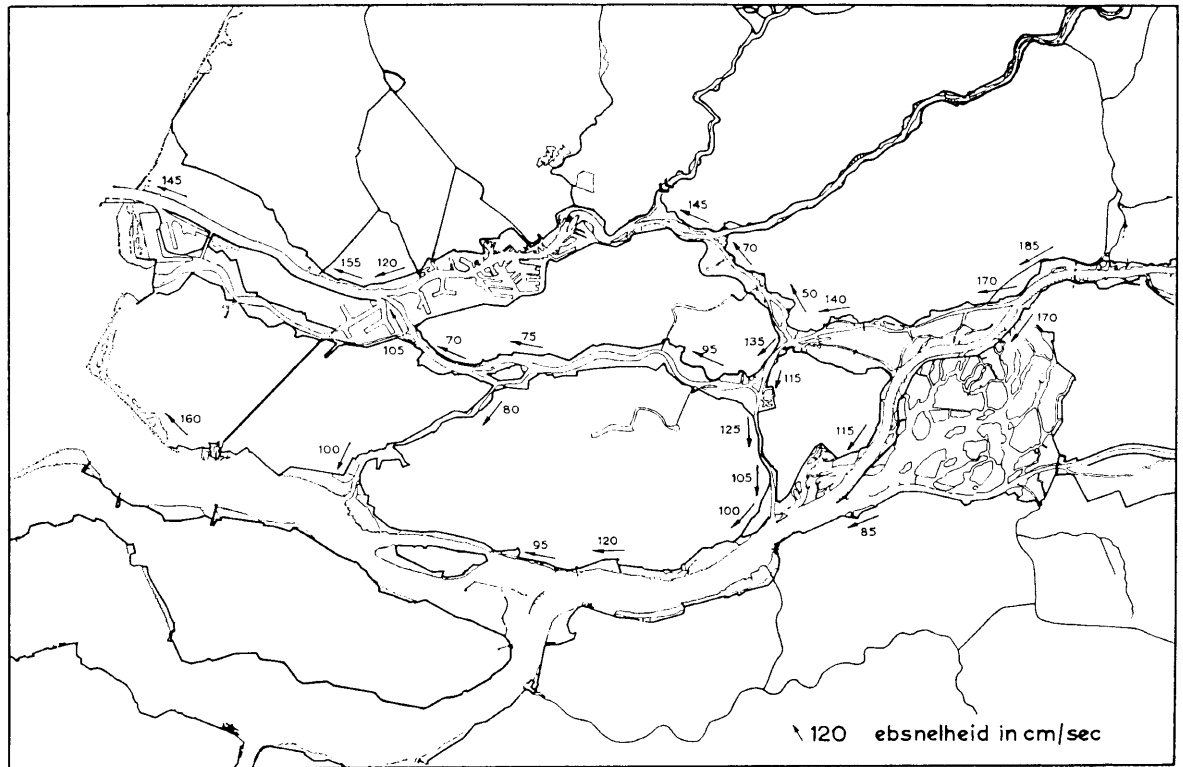
In dit geval zijn de Haringvlietsluizen bij hogere binnenwaterstanden dan buitenwaterstanden geheel geopend (effectieve opening 6000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P.).

Bij de toestand b (open Oude Maas) blijken de maximale snelheden in de Nieuwe Waterweg en het Scheur maar weinig kleiner te zijn dan bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Bij gesloten Oude Maas zijn uiteraard de maximale snelheden weer kleiner dan bij de toestanden a en b. De verminderingen zijn echter geringer dan bij de afvoer bij O.L.R. en bij de gemiddelde afvoer van de Rijn.

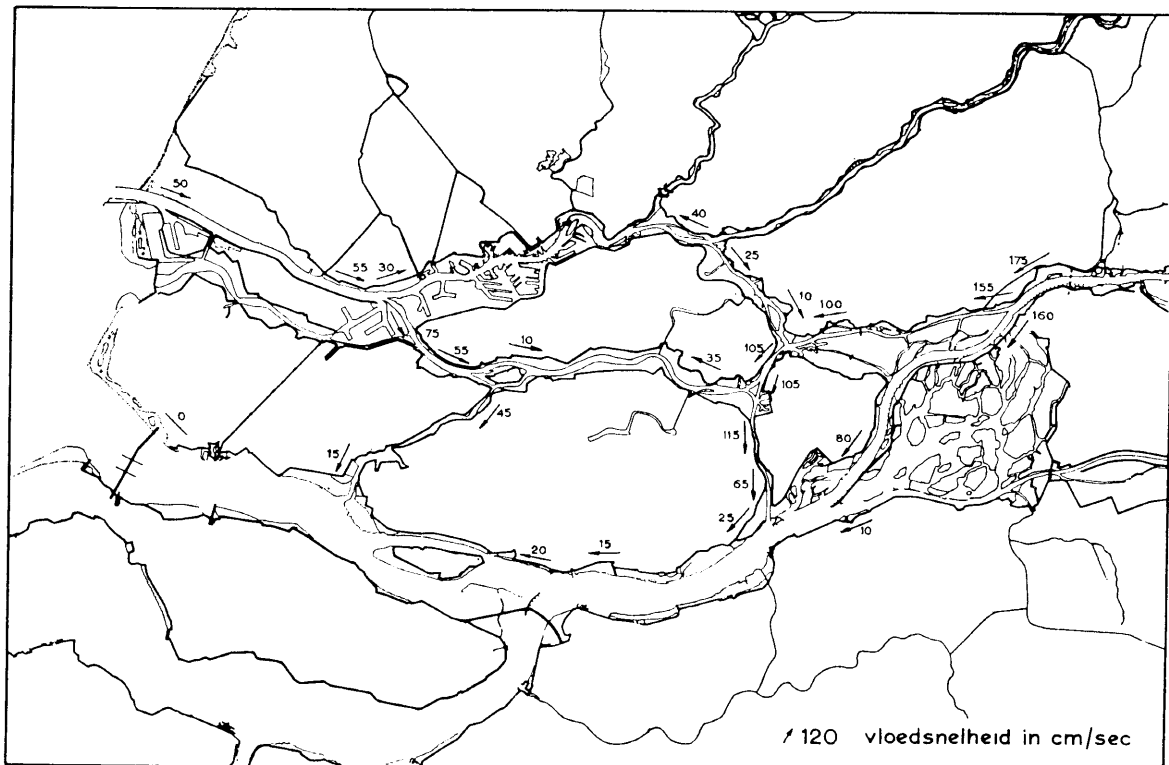
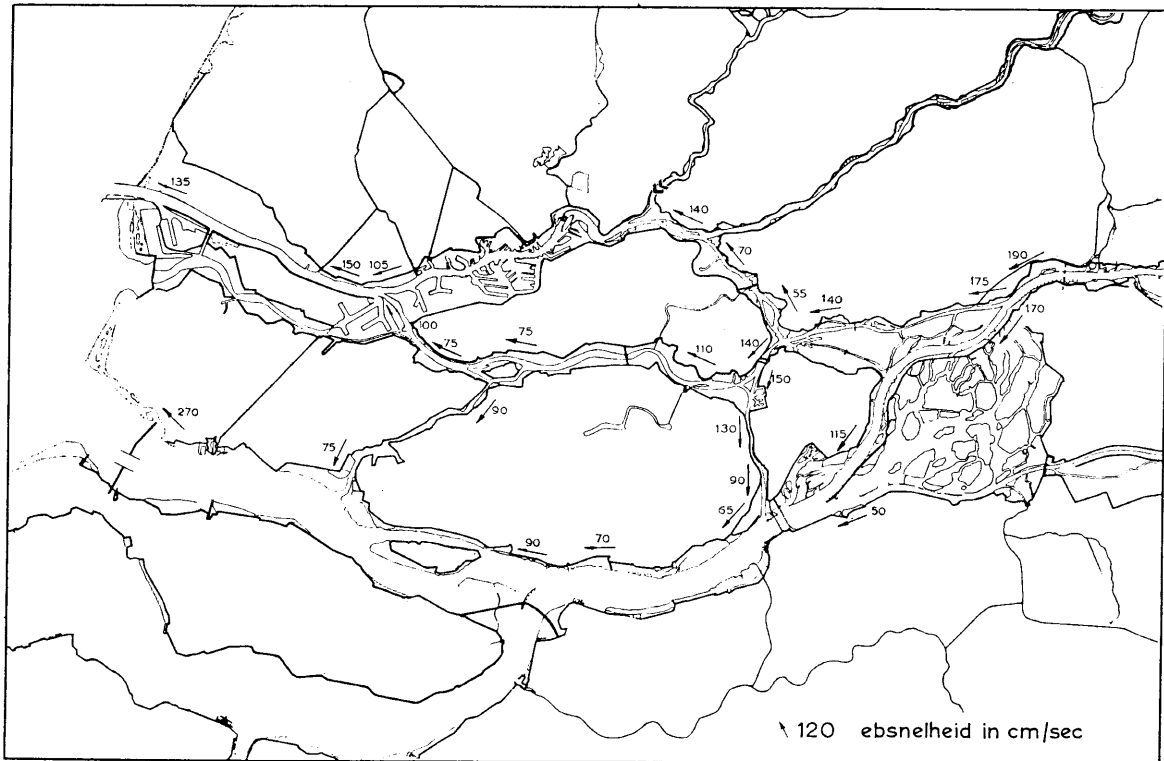
Tabel 4.4.3

Maximale eb- en vloednelheden, afgerond op 5 cm, bij verschillende toestanden met gemiddeld getij in zee en een Rijnafvoer van ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec (hoge afvoer)

Rivier	Plaats	Kilometer-raai	Toestand a		Toestand b		Toestand c	
			Toestand van het deltagebied vóór de uitvoering der werken		Toestand na uitvoering van de werken met open Oude Maas nabij de Westgeul		Toestand na uitvoering van de werken met gesloten Oude Maas nabij de Westgeul	
			Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloednelheid in cm/sec	Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloednelheid in cm/sec	Maximum ebsnelheid in cm/sec	Maximum vloednelheid in cm/sec
Nieuwe Waterweg . . . . .	Hoek van Holland	1030, <sup>200</sup>	145 O→W	60 W→O	135 O→W	50 W→O	120 O→W	50 W→O
Scheur . . . . .	beneden Westgeul	1014, <sup>000</sup>	155 O→W	60 W→O	150 O→W	55 W→O	125 O→W	40 W→O
Nieuwe Maas . . . . .	boven Westgeul	1013, <sup>000</sup>	120 O→W	40 W→O	105 O→W	30 W→O	125 O→W	40 W→O
Nieuwe Maas . . . . .	bij Krimpen aan de Lek	989, <sup>025</sup>	145 O→W	60 O→W	140 O→W	40 O→W	160 O→W	25 W→O
Noord . . . . .	bij Krimpen aan de Lek	984, <sup>450</sup>	70 Z→N	5 N→Z	70 Z→N	25 N→Z	105 Z→N	55 N→Z
Noord . . . . .	bij Dordrecht	976, <sup>750</sup>	50 Z→N	25 Z→N	55 Z→N	10 N→Z	80 Z→N	40 N→Z
Oude Maas . . . . .	bij Westgeul	1006, <sup>500</sup>	105 O→W	25 W→O	100 O→W	75 W→O	0	0
Oude Maas . . . . .	beneden Spui	995, <sup>770</sup>	70 O→W	0 W→O	75 O→W	55 W→O	10 W→O	10 O→W
Oude Maas . . . . .	boven Spui	994, <sup>770</sup>	75 O→W	15 W→O	75 O→W	10 W→O	40 O→W	25 O→W
Oude Maas . . . . .	beneden Krabbegeul	980, <sup>440</sup>	95 O→W	50 O→W	110 O→W	35 O→W	110 O→W	45 O→W
Oude Maas . . . . .	boven Mallegat	978, <sup>340</sup>	115 O→W	50 O→W	150 O→W	105 O→W	155 O→W	105 O→W
Oude Maas . . . . .	bij Dordrecht	976, <sup>665</sup>	135 O→W	50 O→W	140 O→W	105 O→W	145 O→W	90 O→W
Beneden-Merwede . . . . .	bij Dordrecht	975, <sup>665</sup>	140 O→W	85 O→W	140 O→W	100 O→W	135 O→W	105 O→W
Beneden-Merwede . . . . .	bij Werkendam	961, <sup>750</sup>	170 O→W	145 O→W	175 O→W	155 O→W	170 O→W	150 O→W
Boven-Merwede . . . . .	bij Werkendam	960, <sup>750</sup>	185 O→W	155 O→W	190 O→W	175 O→W	180 O→W	165 O→W
Nieuwe Merwede . . . . .	bij Anna Jacomina Plaat	979, <sup>260</sup>	115 O→W	35 O→W	115 O→W	80 O→W	110 O→W	80 O→W
Nieuwe Merwede . . . . .	bij Werkendam	961, <sup>750</sup>	170 O→W	125 O→W	170 O→W	160 O→W	160 O→W	150 O→W
Spui . . . . .	bij de Beningen	1009, <sup>500</sup>	100 O→W	55 W→O	75 O→W	15 O→W	95 O→W	25 O→W
Spui . . . . .	bij Oude Maas	995, <sup>880</sup>	80 O→W	40 W→O	90 O→W	45 O→W	100 O→W	50 O→W
Dordtse Kil . . . . .	bij Hollands Diep	988, <sup>200</sup>	105 N→Z	15 Z→N	90 N→Z	65 N→Z	95 N→Z	75 N→Z
Dordtse Kil . . . . .	bij 's-Gravendeel	981, <sup>950</sup>	125 N→Z	15 N→Z	130 N→Z	115 N→Z	125 N→Z	120 N→Z
Haringvliet . . . . .	bij de bouwput		160 O→W	90 W→O	270 O→W	0	310 O→W	0
Haringvliet . . . . .	bij Hellegat		95 O→W	20 W→O	90 O→W	20 O→W	100 O→W	20 O→W
Hollands Diep . . . . .	bij Willemstad		120 O→W	70 W→O	70 O→W	15 O→W	75 O→W	15 O→W
Hollands Diep . . . . .	beneden Dordtse Kil		100 O→W	40 W→O	65 O→W	25 O→W	65 O→W	30 O→W
Amer . . . . .	bij Anna Jacomina Plaat	261, <sup>950</sup>	85 O→W	70 W→O	50 O→W	10 O→W	50 O→W	10 O→W

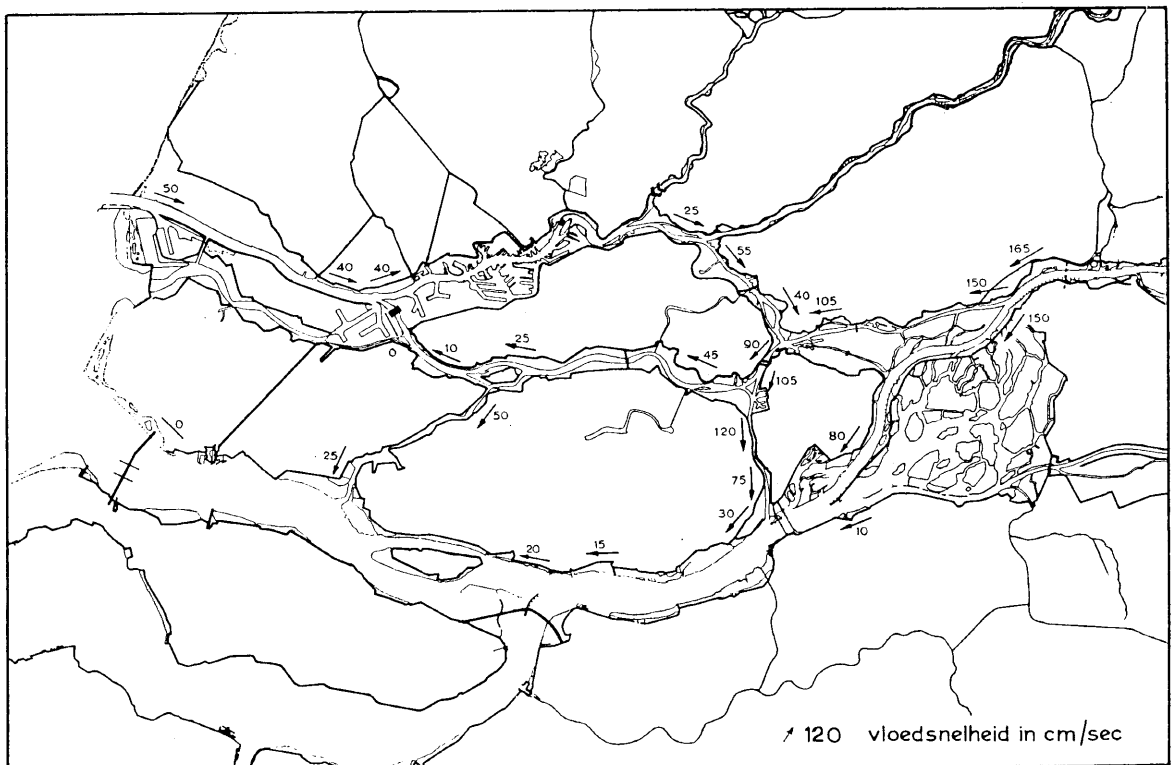
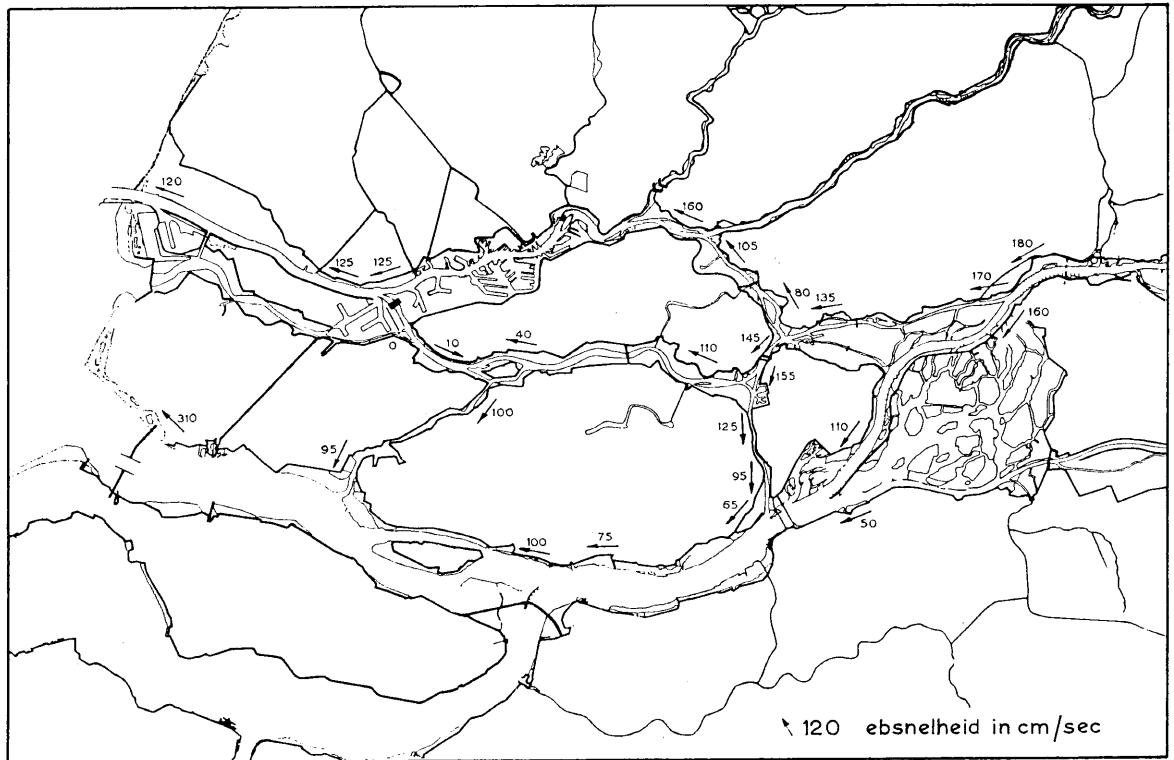


Figuur 4.4.7. Toestand a. Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Gemiddeld getij in zee en een hoge Rijnafvoer (ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec)



Figuur 4.4.8. Toestand b. Maximale eb- en vloedsnelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een hoge Rijnafvoer (ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec)





Figuur 4.4.9. Toestand c. Maximale eb- en vloodsnelheden bij de toestand na uitvoering van de deltawerken met gesloten Oude Maas. Gemiddeld getij in zee en een hoge Rijnafoer (ca. 9400 m<sup>3</sup>/sec)

Vóór de uitvoering van de deltawerken bereiken de maximale ebsnelheden in het deltagebied in het algemeen grote waarden, in de Beneden-Merwede bij Dordrecht ca. 140 cm/sec en in de Nieuwe Merwede en Boven-Merwede bij Werkendam zelfs ca. 170 à 180 cm/sec, terwijl er geen kenteringen meer optreden. Door de uitvoering van de deltawerken veranderen deze hoge maximale ebsnelheden echter vrijwel niet.

Ook in de Nieuwe Maas nabij het splitsingspunt met de Noord zijn bij toestand a de maximale snelheden hoog in vergelijking met die bij gemiddelde afvoer, nl. ca. 145 cm/sec tegen ca. 95 cm/sec. In de Noord zijn dan echter de maximale snelheden bij hoge afvoer niet veel hoger dan bij gemiddelde afvoer, terwijl in de benedenmond vrijwel geen vloedstroom meer voorkomt en nabij Dordrecht in het geheel niet meer.

Bij de toestand b zijn de maximale ebsnelheden in de Noord vrijwel gelijk aan die bij de toestand a, maar wel komt er dan over de gehele lengte van de Noord vloedstroom voor. Bij de toestand c met afgesloten Oude Maas nemen de maximale ebsnelheden in de Noord ten opzichte van die bij de toestand a weer aanzienlijk toe en zijn de maximale vloedsnelheden uiteraard ook groter dan bij de toestand b wegens de stroming naar het Haringvlietbekken en het afgesloten Oude-Maasbekken.

Bij de toestanden b en c komen in het Hollands Diep en het Haringvliet, ten gevolge van het geheel openen van de Haringvlietsluizen tijdens eb, maximale snelheden voor, welke ongeveer even groot zijn als bij de gemiddelde afvoer en de afvoer bij O.L.R., bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Het Haringvliet en het Hollands Diep krijgen bij de toestanden b en c het karakter van een bovenrivier, hoewel door de getij-invloed nog variaties merkbaar zijn in de snelheden en de waterstanden. De toestand wordt dus analoog aan die op de Merweden bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken.

Bij de toestanden b en c treedt in de Dordtse Kil een steeds naar het Hollands Diep gerichte snelheid op, waarbij het verschil tussen maximale en minimale snelheid afhankelijk is van het al of niet openhouden van de Oude Maas. De maximale snelheden in de Dordtse Kil bij 's-Gravendeel zijn echter niet veel hoger dan bij toestand a.

Na de uitvoering van de deltawerken is de stroomrichting in het Spui voortdurend gericht naar het Haringvliet in tegenstelling met de toestand daarvóór.

In de benedenmond van de Oude Maas bij de Nieuwe Maas zijn de maximale ebsnelheden vóór en na de deltawerken ongeveer dezelfde. De maximale vloedsnelheden zijn in het laatste geval echter aanzienlijk groter in verband met de stroming naar het Haringvlietbekken vanwege het gesloten sluizen-complex tijdens vloed.

Zoals uit tabel 4.4.3 blijkt, treden na de uitvoering van de deltawerken bij open Oude Maas, alleen in de Oude Maas beneden Goidschalxoord, de Noord, de Nieuwe Maas, de Nieuwe Waterweg en het Scheur kenteringen op. De snelheden in de overige rivieren hebben steeds dezelfde richting. Wordt dan ook de Oude Maas afgesloten, dan komen alleen in de Oude Maas tussen de bovenmond van het Spui en de afsluitdam in de benedenmond van de Oude Maas, in de Noord, de Nieuwe Maas, de Nieuwe Waterweg en het Scheur nog kenteringen voor.

## **5.0 HET VERLOOP VAN DE S.V.-STANDEN IN HET DELTAGEBIED BIJ VERSCHILLENDE AFVOEREN VAN DE RIJN VÓÓR EN NA DE UITVOERING VAN HET DELTAPLAN**

### **5.1 De vaststelling van het basispeil te Hoek van Holland en een algemene beschouwing over de invloeden, die de S.V.-standen in het deltagebied bepalen**

In twee andere bijdragen <sup>1)</sup> zijn uitgebreide statistische studies behandeld, die ten doel hebben het berekenen van de kans, dat een bepaald stormvloedhoogwater of een bepaalde S.V.-stand langs de Nederlandse kust kan voorkomen. Op grond van deze studies werd door de Deltacommissie als uitgangspunt voor de vaststelling van de dijkhoogten in het deltagebied na uitvoering van de deltawerken een S.V.-stand te Hoek van Holland van N.A.P. + 500 cm aangenomen. Deze stand heeft een overschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$  per jaar. De S.V.-stand van N.A.P. + 500 cm te Hoek van Holland en de S.V.-standen op andere plaatsen langs de kust en in het deltagebied, die dezelfde overschrijdings-

<sup>1)</sup> Zie de Bijdragen II.1 en II.3.

frequentie hebben, worden in het vervolg basispeilen genoemd. Opgemerkt wordt, dat de S.V.-stand van N.A.P. + 400 cm te Hoek van Holland een overschrijdingsfrequentie heeft van  $2,5 \cdot 10^{-3}$  per jaar.

Vóór de uitvoering van de deltawerken kunnen de S.V.-standen in het deltagebied berekend worden, als bekend zijn:

1. het verloop van de waterstanden in de monden van de zeearmen gedurende de gehele stormvloed (de stormvloedkrommen);
2. de afvoeren van de Rijn en de Maas;
3. de meteorologische omstandigheden (de windkrachten en de windrichtingen), i.v.m. de bepaling van de op- en afwaaiing in de rivieren van het deltagebied.

Na de uitvoering van de deltawerken is het voldoende, dat het verloop van de waterstanden gedurende de gehele stormvloed in de mond van de Rotterdamse Waterweg (Hoek van Holland) en in de mond van het Haringvliet alleen in de beginperiode van de stormvloed bekend zijn, i.v.m. het vaststellen van het tijdstip, waarop de Haringvlietssluzen gesloten moeten worden. De sub 2 en sub 3 genoemde factoren moeten uiteraard ook gegeven zijn.

De invloed van het sluiten van de Haringvlietssluzen is van betekenis voor de S.V.-standen in het Haringvlietbekken en neemt af in de aangrenzende rivieren. Te Dordrecht en omgeving is ze in het algemeen van geringe betekenis.

Is echter alleen de S.V.-stand te Hoek van Holland bekend in plaats van de volledige stormvloedkromme, dan zijn de S.V.-standen in het deltagebied niet ondubbelzinnig bepaald. Uit de ervaring is echter gebleken, dat matige wijzigingen in de vorm van de stormvloedkromme in zee in de omgeving van de S.V.-stand de S.V.-standen in het deltagebied vóór de uitvoering van de deltawerken slechts in geringe mate beïnvloeden. Na de uitvoering van de werken zal de invloed van de opperwaterafvoer op de S.V.-stand in stroomopwaartse richting zich in sterke mate doen gevoelen. De invloed van de vorm van de S.V.-kromme in zee op de S.V.-standen in dit gebied zal daarentegen relatief geringer worden.

Vooral bij extreem hoge stormvloeden zullen de stormvloedkrommen in de omgeving van de S.V.-stand een analoge vorm hebben. Indien nl. bij langdurige stormen de windkracht en de windrichting hun maximale invloed op de waterstanden hebben bereikt, zullen de veranderingen hierin hoofdzakelijk bepaald worden door die van het getij, waarvan de werking continu blijft doorgaan.

Zo blijken bij de meeste zware stormen, die in de waarnemingsperiode zijn voorgekomen, de tijdstippen van de S.V.-standen langs de Nederlandse kust niet in belangrijke mate te verschillen van die van de voorspelde H.W.-standen van het normale getij. Ook het verloop van de top van de stormvloedkromme verschilt meestal niet essentieel van het verloop van het getij.

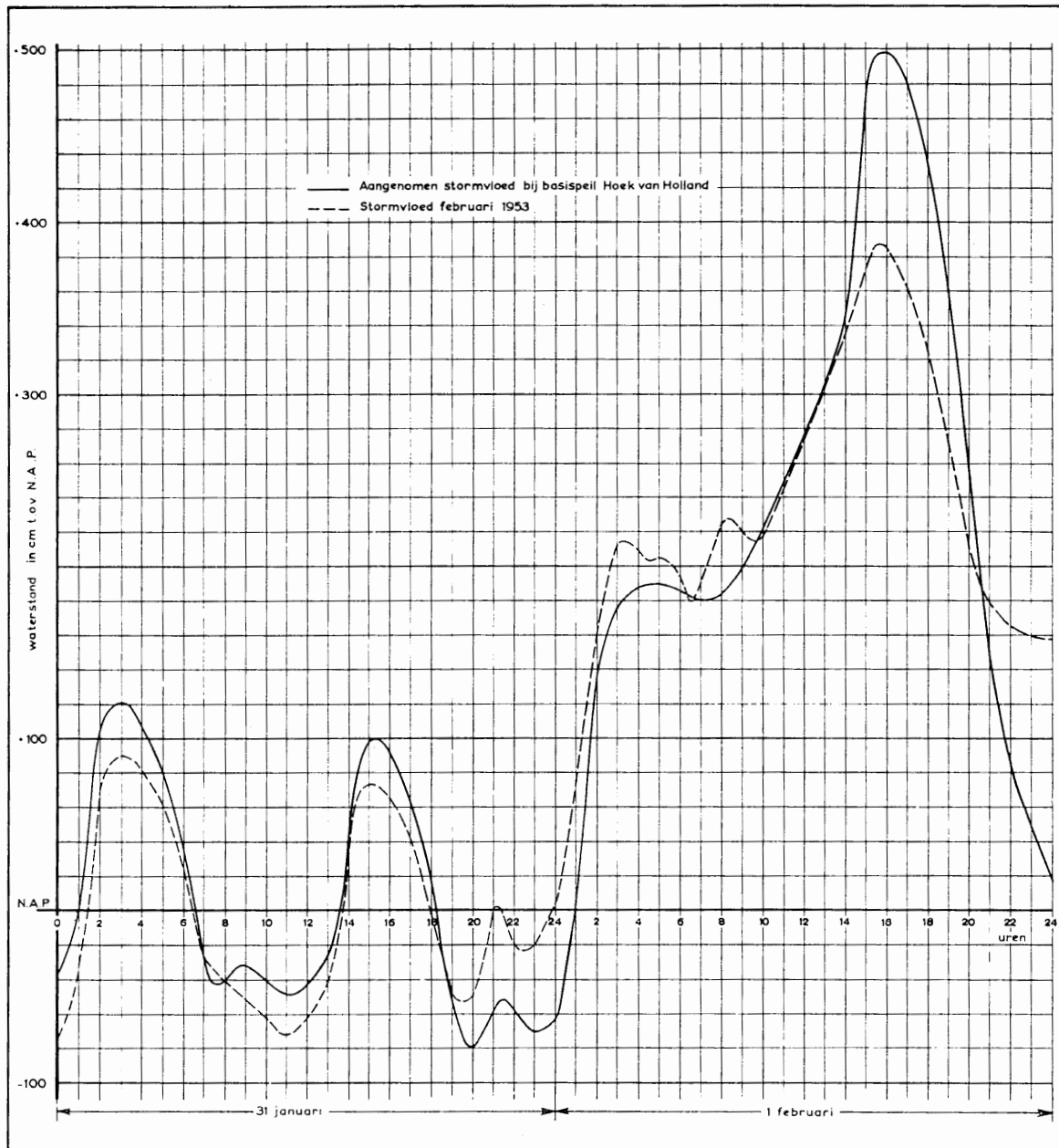
## 5.2 De bepaling van de hypothetische stormvloedkromme te Hoek van Holland

Voor het hypothetische geval van een S.V.-stand te Hoek van Holland van N.A.P. + 500 cm werd in verband met het voorgaande op de volgende wijze de „gemiddelde” stormvloedkromme geconstrueerd (zie figuur 5.2.1).

Zoals bekend, kan de stormvloedkromme gesplitst worden in een astronomisch getij en in een zg. meteorologisch effect of stormeffect<sup>1)</sup>. Het astronomisch getij, dat op een bepaalde plaats op een bepaalde dag zal voorkomen, is volgens de harmonische analyse van de getijden bekend. Het meteorologisch effect bij een bepaalde storm zou dan kunnen worden bepaald als het verschil van de stormvloedkromme en de astronomische getijkromme. Hierbij moet worden opgemerkt, dat het aldus verkregen stormeffect niet alleen bepaald wordt door de meteorologische invloeden op zee, maar ook door het samengaan van de astronomische getijstromen en de door de meteorologische invloeden veroorzaakte waterbeweging. De bepaling van deze onderlinge beïnvloeding heeft echter geen directe betekenis voor de constructie van de „gemiddelde” stormvloedkromme. Verondersteld werd, dat ze in het totale meteorologische effect is opgenomen.

De laatstgenoemde verhoging van de waterspiegel werd op de volgende wijze verkregen. Het maximale meteorologisch effect tijdens de stormvloed van 1894 werd vastgesteld op ca. 280 cm. Uitgaande van het astronomisch getij van 6 augustus 1948, waarvan het 2e H.W. ca. N.A.P. + 110 cm bedroeg, zal voor het bereiken van een stormvloedstand van N.A.P. + 500 cm het maximale meteorologische effect

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage III.1.

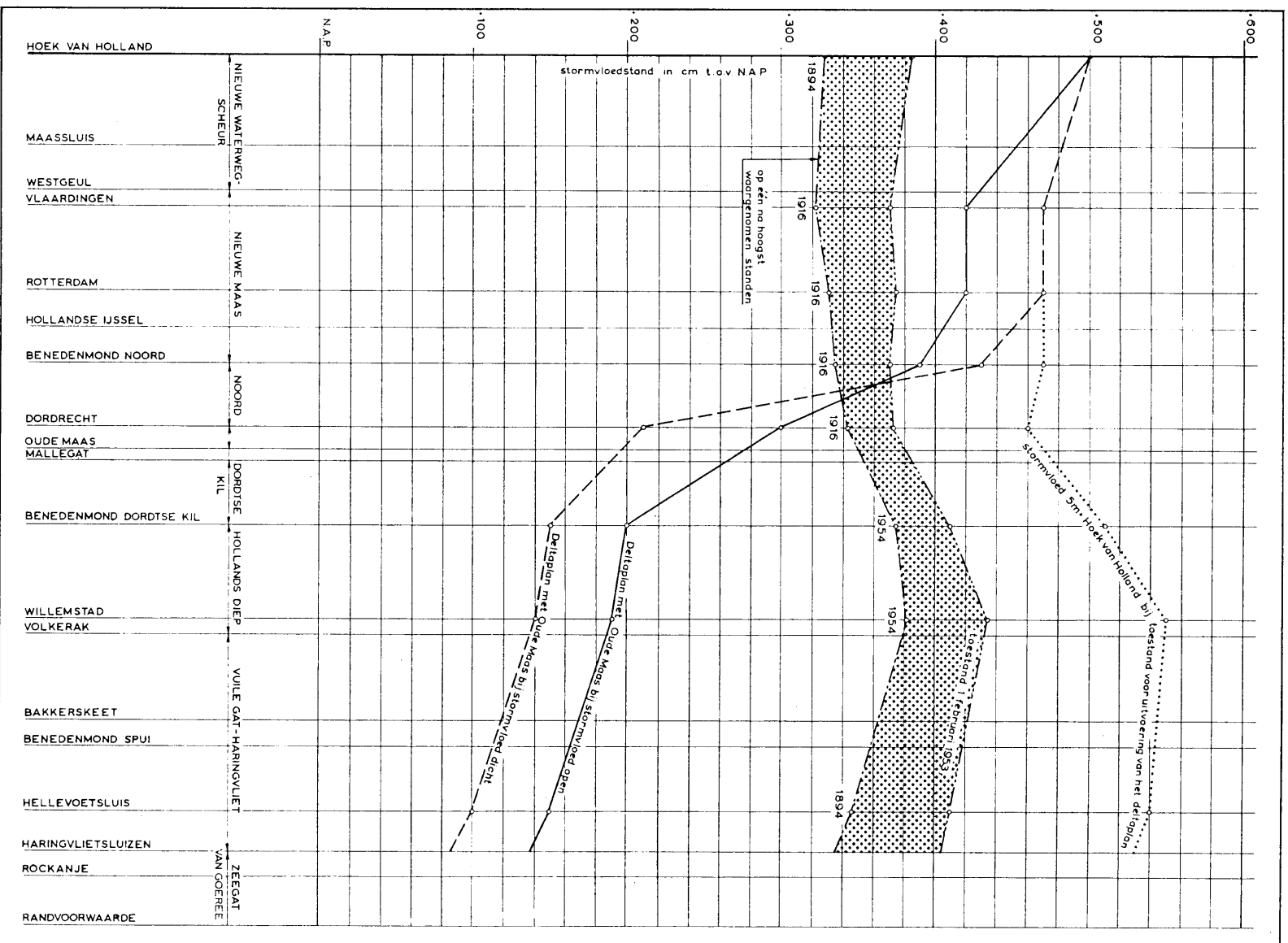


Figuur 5.2.1. Stormvloedkrommen met voorafgaande getijden voor Hoek van Holland, gebruikt als randvoorwaarden

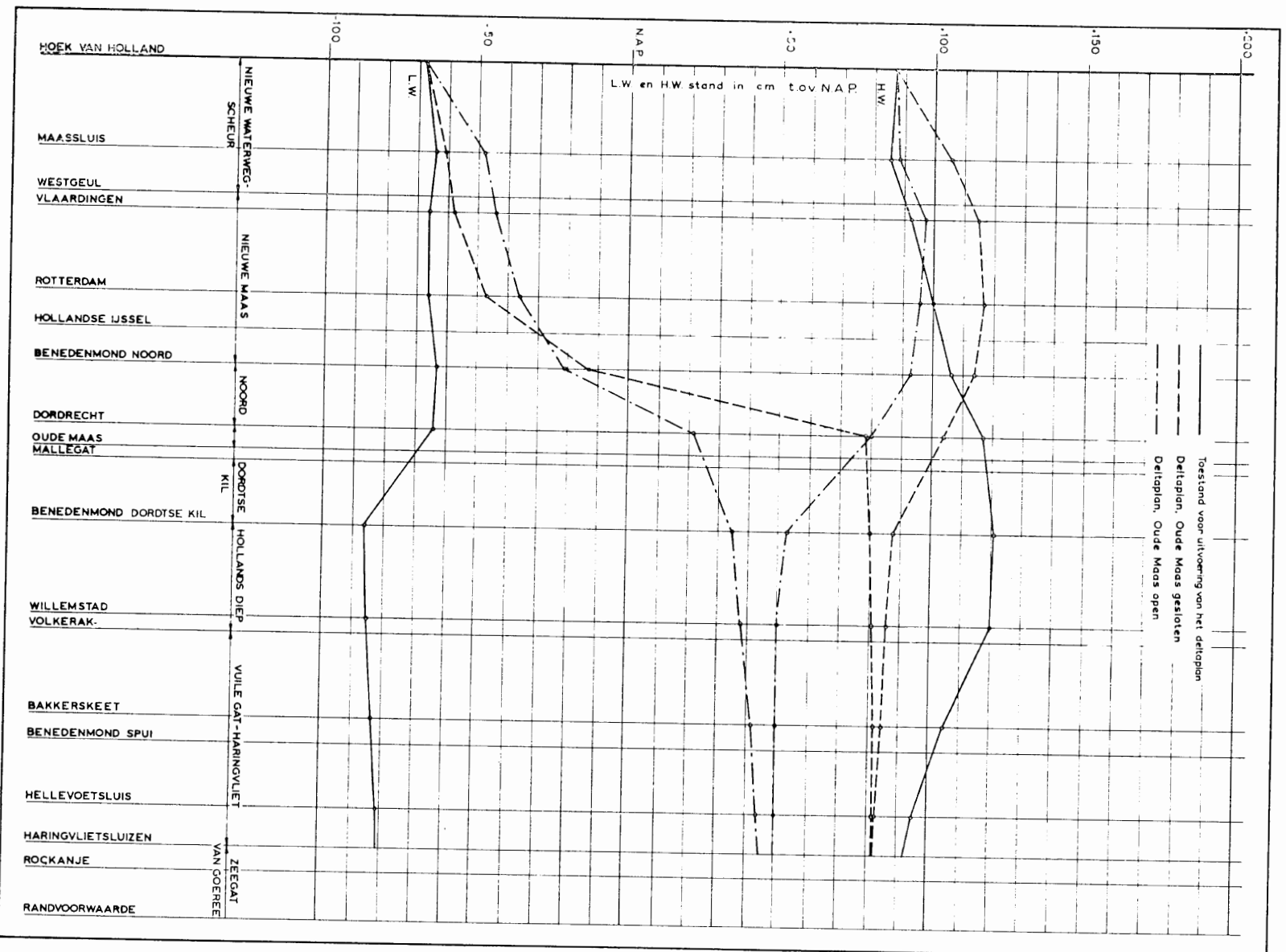
logisch effect ca. 390 cm moeten bedragen in plaats van 280 cm, indien men aanneemt, dat het astronomisch H.W. en het maximale meteorologisch effect samentreffen. Het verdere verloop van het meteorologisch effect tijdens de hypothetische stormvloed werd evenredig aangenomen met het verloop van dit effect tijdens de stormvloed van 1894, d.w.z., dat de stormeffecten, voorgekomen bij deze stormvloed, werden vermenigvuldigd met de factor  $\frac{390}{280}$ .

### 5.3 De basispeilen in het deltagebied vóór en na de uitvoering van de deltawerken

Voor de bepaling van de basispeilen in het deltagebied werd uitgegaan van de stormvloedkromme, behorende bij het basispeil te Hoek van Holland en die in het Zeegat van Goeree. De constructie van



Figuur 5.3.1. Verloop van de S.V.-standen bij een hypothetische stormvloed met topstand N.A.P. + 500 cm te Hoek van Holland en Rijnafvoer 3000 m³/sec bij de toestand vóór en bij die na uitvoering van het Deltaplan, zowel met open als gesloten Oude Maas. Ter vergelijking zijn ook gegeven het verloop van de S.V.-standen bij de stormvloed 1953 en het verloop van de op één na hoogst voorgekomen standen



Figuur 5.3.2. Verloop van de H.W.- en L.W.-standen bij de toestand vóór en bij die na uitvoering van het Deltaplan, zowel met open als gesloten Oude Maas, bij een afvoer bij O.L.R. en normaal getij in zee. Toestand na uitvoering der deltawerken met gedurende het gehele getij gesloten Haringvlietsluizen

de kromme voor Hoek van Holland is als voorbeeld in 5.2 behandeld; die in het Zeegat van Goeree geschiedde op analoge wijze.

Verder werd verondersteld, dat de Rijnafvoer gelijk is aan 3000 m<sup>3</sup>/sec en de Maasafvoer aan 500 m<sup>3</sup>/sec, daar de kans op het samentreffen van het basispeil te Hoek van Holland met grotere bovenafvoeren zo gering is, dat deze buiten beschouwing kan worden gelaten.

Met behulp van modelproeven en getijberekeningen kan dan de voortplanting van de bij het basispeil behorende stormvloed in het deltagebied worden bepaald.

In figuur 5.3.1 zijn deze standen voor verschillende plaatsen in het deltagebied weergegeven, zowel vóór als na uitvoering van het Deltaplan. In dit laatste geval zijn de Haringvlietsluizen gesloten. Hierbij werd zowel het geval van open als van gesloten Oude Maas beschouwd.

Volgens de gegevens van deze figuur treedt na uitvoering van het Deltaplan een zeer belangrijke verlaging op van de S.V.-standen op de Noord, de Dordtse Kil, de Beneden-Merwede, het Hollands Diep en het Haringvliet. Deze is relatief belangrijker dan bij het normale getij, als de Haringvliet-sluizen gedurende het gehele getij gesloten zijn, hetgeen het geval is bij zeer lage opperwaterafvoeren (zie ook 3.0 en figuur 5.3.2).

#### 5.4 De rivierarmen in het deltagebied, waar de hoogste waterstanden door de Rijnafvoeren worden bepaald

Daar allerlei combinaties van stormvloeden en opperwaterafvoeren mogelijk zijn, kunnen dezelfde S.V.-standen op verschillende manieren worden bereikt. Zo kan een matige stormvloed, gecombineerd met een hoge afvoer, dezelfde S.V.-stand veroorzaken als een hogere stormvloed, gecombineerd met een lagere opperwaterafvoer. Dit is bijv. voor Dordrecht en omgeving van belang.

Rivieropwaarts gaande, worden hoge waterstanden in steeds sterkere mate bepaald door de hoge Rijnafvoeren in plaats van door de stormvloed. Dit blijkt uit een statistisch onderzoek van de waargenomen H.W.-standen in de jaren 1905 tot en met 1950 te Sliedrecht, Werkendam, Kop van 't Land en Gorinchem, die respectievelijk langs de Beneden-Merwede, de Nieuwe Merwede en de Boven-Merwede zijn gelegen.

Enige resultaten van dit onderzoek zijn vermeld in tabel 5.4.1.

Tabel 5.4.1

Aantal groepen van H.W.-standen, gelijk aan of hoger dan het grenspeil, respectievelijk te Sliedrecht, Kop van 't Land, Werkendam en Gorinchem, ontstaan door stormvloeden en/of Rijnafvoeren (periode 1905-1950)

Plaats	Grenspeil in cm t.o.v. N.A.P.	Totaal aantal groepen van H.W.-standen, gelijk aan of hoger dan het grenspeil	Aantal groepen van H.W.-standen, gelijk aan of hoger dan het grenspeil, ontstaan door stormvloeden	Aantal groepen van H.W.-standen, gelijk aan of hoger dan het grenspeil, ontstaan door hoge Rijnafvoeren
	1	2	3	4
Sliedrecht . . . . .	+ 285	19	15	4
Kop van 't Land . . . . .	+ 280	21	18	3
Werkendam . . . . .	+ 290	30	16	14
Gorinchem . . . . .	+ 305	60	15	45

In kolom 1 van deze tabel zijn de zg. grenspeilen opgegeven. Deze grenspeilen zijn H.W.-standen, welke een gemiddelde overschrijdingsfrequentie per jaar hebben van 0,5. Volgens afspraak wordt van stormvloeden gesproken, indien de gemeten H.W.-standen een kleinere overschrijdingsfrequentie bezitten, omdat H.W.-standen bij plaatsen langs de Noordzeekust, die hoger zijn dan het daar vastgestelde grenspeil, het gevolg zijn van stormvloeden, die in het algemeen een meer opvallend karakter hebben.

In kolom 2 is het aantal groepen vermeld van H.W.-standen, gelijk aan of hoger dan het grenspeil, ongeacht of deze door stormvloeden of door hoge Rijnafoeren zijn ontstaan.

Vervolgens werd het aantal groepen gesplitst in twee categorieën, resp. die, waarbij de overschrijding is veroorzaakt door stormvloeden en die, waarbij dit te wijten is aan hoge Rijnafoeren.

Het aantal groepen van iedere categorie, voorgekomen in de beschouwde 45 jaren, is in de kolommen 3 en 4 van deze tabel vermeld.

Van de 19 onafhankelijke groepen met waterstanden, gelijk aan of hoger dan het grenspeil te Sliedrecht, zijn er 15 het gevolg van stormvloeden en 4 het gevolg van hoge Rijnafoeren. Voor Kop van 't Land zijn deze getallen resp. 18 en 3. Voor deze peilschaalstations vormen bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken de stormvloeden nog de grootste bedreiging voor de veiligheid tegen overstromingen.

Verder stroomopwaarts gaande, zijn er te Werkendam 16 groepen met H.W.-standen, gelijk aan of hoger dan het grenspeil ten gevolge van stormvloeden en 14 groepen ten gevolge van hoge Rijnafoeren. Voor Gorinchem zijn deze getallen resp. 15 en 45. Verder blijkt, dat bij de groepen van kolom 3 van deze tabel geen hogere Rijnafoeren zijn voorgekomen dan 4900 m<sup>3</sup>/sec (stormvloed van 1906). Zie ook tabel 6.3.1. Bij de groepen van kolom 4 variëren de Rijnafoeren van 4650 m<sup>3</sup>/sec tot ca. 13 000 m<sup>3</sup>/sec, welke laatste afvoer is voorgekomen op 3 en 4 januari 1926.

In stroomopwaartse richting wordt derhalve de veiligheid steeds meer bedreigd door de hoge Rijnafoeren (zie ook 7.0).

De maatregelen, die de S.V.-standen in het deltagebied moeten verlagen, zullen stroomopwaarts minder effect hebben.

## 6.0 DE BEPALING VAN DE OVERSCHRIJDINGSKROMMEN DER H.W.-STANDEN VOOR PLAATSEN IN HET NOORDELIJK DELTAGEBIED ZOWEL VÓÓR ALS NA UITVOERING VAN HET DELTAPLAN

### 6.1 Inleiding

Uit de waargenomen H.W.-standen over een lange reeks van jaren kunnen de gemiddelde overschrijdingsfrequenties per jaar worden berekend. Deze waarden kunnen grafisch worden voorgesteld op zg. half-logaritmisch papier. Op de horizontale schaal zijn dan de H.W.-standen en op de verticale logaritmische schaal de overschrijdingsfrequenties uitgezet.

Daar er tussen de H.W.-standen langs de kust een onderling verband bestaat en in deze paragraaf het statistisch verloop van het optreden van de H.W.-standen wordt beschouwd, wordt alleen rekening gehouden met het statistisch verloop van de H.W.-standen te Hoek van Holland voor de bepaling van de overschrijdingskrommen voor plaatsen in het binnengebied van de delta.

De H.W.-standen in het binnengebied van de noordelijke delta zijn ook afhankelijk van de Rijnafoer. De afhankelijkheid van de afvoeren van de Maas werd buiten beschouwing gelaten, daar deze invloed slechts gering is, behalve voor plaatsen langs de Amer, de Bergse Maas en de Maas.

Daar stormvloeden en hoge Rijnafoeren niet gelijkmatig over een jaar zijn verspreid, is bij de statistische onderzoeken van dit hoofdstuk ook onderscheid gemaakt tussen de zomer- en de winterperiode. Als zomerperiode is beschouwd het tijdsinterval mei tot en met oktober en voor de winterperiode het overige deel van het jaar. Bij een verdergaand onderzoek zijn zelfs de overschrijdingsfrequenties voor ieder van de wintermaanden bepaald.

Voordat in dit hoofdstuk wordt overgegaan tot de behandeling van de methode voor de berekening van de overschrijdingsfrequenties bij een bepaalde plaats in het deltagebied, worden in 6.2 de gegevens vermeld, waarop de berekeningen berusten. Daarna wordt in 6.3 de berekening aangegeven van de overschrijdingsfrequenties per jaar voor het gezamenlijk optreden van H.W.-standen, hoger dan een bepaald H.W. te Hoek van Holland en van een bepaalde Rijnafoer, welke, zoals in een andere bijdrage<sup>1)</sup> is aangetoond, onderling onafhankelijk zijn. De berekening van de overschrijdingsfrequenties van de H.W.-standen voor plaatsen in het deltagebied voor de bestaande toestand en voor de toestand na

<sup>1)</sup> Zie ook Bijdrage II.3.



uitvoering van het Deltaplan is in 6.4 t/m 6.6 uiteengezet, met een discussie over de betrouwbaarheid van de hierbij verkregen resultaten. Als voorbeeld worden in de desbetreffende figuren en tabellen de H.W.-standen van Dordrecht beschouwd.

## 6.2 De gegevens voor de berekening van de overschrijdingskrommen in het deltagebied

Om deze berekeningen te kunnen uitvoeren, zijn de volgende gegevens bepaald:

1. De overschrijdingskrommen van de H.W.-standen te Hoek van Holland (indien de H.W.-stand daar hoger is dan het grenspeil, N.A.P. + 242 cm, wordt van een S.V.-stand gesproken).
2. De overschrijdingskrommen van de Rijnafoeren te Lobith.
3. De betrekkinglijnen, die de afhankelijkheid aangeven tussen de H.W.-standen bij een bepaalde plaats enerzijds en de H.W.-stand te Hoek van Holland en de Rijnafoer anderzijds, zowel voor de toestand vóór als na uitvoering van de deltawerken.

De overschrijdingskrommen werden zowel bepaald voor ieder van de wintermaanden november tot en met april als voor de gezamenlijke zomermaanden mei tot en met oktober en ook voor het gehele jaar. Deze splitsing in winter- en zomerperiode werd gemaakt, omdat stormvloed en hoge Rijnafoeren niet gelijkmatig over een jaar zijn verspreid; in de wintermaanden komen hoge stormvloed en hoge afvoeren voor, in de zomermaanden is dit in veel mindere mate het geval.

In de figuren 6.2.1 tot en met 6.2.6 zijn voor de maanden november tot en met april de gemiddelde overschrijdingskrommen voor de H.W.-standen te Hoek van Holland, bepaald uit alle beschikbare waarnemingen van de periode 1888—1948, getekend. Tevens zijn de dagafvoeren van de Rijn te Lobith, bepaald uit de periode 1902—1951, weergegeven.

De overschrijdingskrommen voor de H.W.-standen zijn rechtlijnig geëxtrapoleerd, waarbij het waarnemingsmateriaal niet homogeen gemaakt is, zoals door het Mathematisch Centrum<sup>1)</sup> wel is gedaan. Een dergelijke verfijning was in dit onderzoek niet effectief, omdat voor de bepaling van de overschrijdingskrommen voor de plaatsen in het deltagebied na uitvoering van de deltawerken het beschikbare materiaal uit modelproeven voor hoge waterstanden te beperkt is. Bij de opstelling van deze overschrijdingskrommen moesten ook de lagere waterstanden beschouwd worden in verband met het samentreffen van deze waterstanden met hoge Rijnafoeren (zie nader 6.3 e.v.). Uit de figuren blijkt, dat in december hoge stormvloed meer frequent zijn dan in de andere maanden, terwijl dit voor de hoge Rijnafoeren het geval is in januari. In deze maand wijkt de overschrijdingskromme voor de Rijnafoer in zeer belangrijke mate af van die in de overige maanden.

Verder is het opvallend, dat bij de extrapolatie van de H.W.-standen te Hoek van Holland bij gelijke frequenties in de maand april hogere standen worden gevonden dan in de maand maart.

De overschrijdingskrommen van de afvoeren zijn afgeleid uit de dagelijks waargenomen waterstanden om acht uur Amsterdamse Tijd te Lobith. De variatie, die de afvoer in één dag ondergaat, is meestal voldoende klein om aan te mogen nemen, dat de op één moment bepaalde afvoer representatief is voor de gehele dag. Deze werkwijze is te meer geoorloofd als het statistische onderzoekingen betreft.

In tabel 6.2.1 zijn voor enkele hoge H.W.-standen te Hoek van Holland en hoge afvoeren de gemiddelde overschrijdingsfrequenties per wintermaand opgegeven. Uit deze tabel blijkt inderdaad, dat in de maand december de kans op het voorkomen van extreme S.V.-standen groter is dan in januari, terwijl in de maand januari de kans op hoge Rijnafoeren het grootst is.

De in deze tabel opgegeven overschrijdingsfrequenties zijn echter verkregen door extrapolatie. Worden de overschrijdingsfrequenties van een zelfde H.W.-stand te Hoek van Holland voor de afzonderlijke maanden november tot en met april bij elkaar opgeteld, dan wordt een lijn gevonden, die voor de hoge H.W.-standen samenvalt met de door de Deltacommissie als „werklijn” aanvaarde overschrijdingskromme<sup>2)</sup>. Deze werklijn valt binnen het door het Mathematisch Centrum voor het homogene waarnemingsmateriaal gevonden spreidingsgebied voor de kleinere frequenties<sup>1)</sup>. Hoewel dit samenvallen in zekere mate als een toevaligheid beschouwd moet worden, blijkt, dat de toegepaste werkwijze toch wel bevredigende resultaten geeft.

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage II.1.

<sup>2)</sup> Zie deel 1.

Tabel 6.2.1

Maandoverschrijdingsfrequenties in de wintermaanden november tot en met april voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de afvoer van de Rijn te Lobith

H.W.-stand te Hoek van Holland in cm boven N.A.P.	november	december	januari	februari	maart	april
242 <sup>1)</sup> . . . . .	$1,25 \cdot 10^{-1}$	$1,80 \cdot 10^{-1}$	$1,10 \cdot 10^{-1}$	$6,10 \cdot 10^{-2}$	$2,40 \cdot 10^{-2}$	$2,80 \cdot 10^{-2}$
300 . . . . .	$1,40 \cdot 10^{-2}$	$3,10 \cdot 10^{-2}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$	$6,00 \cdot 10^{-3}$	$1,90 \cdot 10^{-3}$	$4,60 \cdot 10^{-3}$
400 . . . . .	$3,40 \cdot 10^{-4}$	$1,80 \cdot 10^{-3}$	$2,30 \cdot 10^{-4}$	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$2,50 \cdot 10^{-5}$	$2,10 \cdot 10^{-4}$
500 . . . . .	$8,50 \cdot 10^{-6}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$4,70 \cdot 10^{-6}$	$2,00 \cdot 10^{-6}$	$3,00 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$
Afvoer van de Rijn in m <sup>3</sup> /sec						
4 000 . . . . .	$2,40 \cdot 10^0$	$2,80 \cdot 10^0$	$6,10 \cdot 10^0$	$5,00 \cdot 10^0$	$4,20 \cdot 10^0$	$2,25 \cdot 10^0$
8 000 . . . . .	$1,85 \cdot 10^{-1}$	$7,00 \cdot 10^{-2}$	$5,90 \cdot 10^{-1}$	$1,20 \cdot 10^{-1}$	$6,00 \cdot 10^{-2}$	$2,20 \cdot 10^{-3}$
12 000 . . . . .	$5,00 \cdot 10^{-3}$	$3,00 \cdot 10^{-4}$	$7,80 \cdot 10^{-2}$	$2,50 \cdot 10^{-4}$	$6,00 \cdot 10^{-5}$	$1,90 \cdot 10^{-6}$
16 000 . . . . .	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$5,50 \cdot 10^{-7}$	$5,20 \cdot 10^{-8}$	$6,00 \cdot 10^{-9}$
zie figuur: . . . .	6.2.1	6.2.2	6.2.3	6.2.4	6.2.5	6.2.6

<sup>1)</sup> N.A.P. + 242 cm te Hoek van Holland is het grenspeil.

Verder blijkt, dat de richting van de „staart” van de jaaroverschrijdingskromme te Hoek van Holland niet in belangrijke mate van die van de maand december verschilt (figuur 6.2.7).

In figuur 6.2.8 is ook de overschrijdingskromme van de H.W.-standen voor de zomerperiode getekend. Deze wijkt in belangrijke mate af van die van de winterperiode, vooral bij hogere standen.

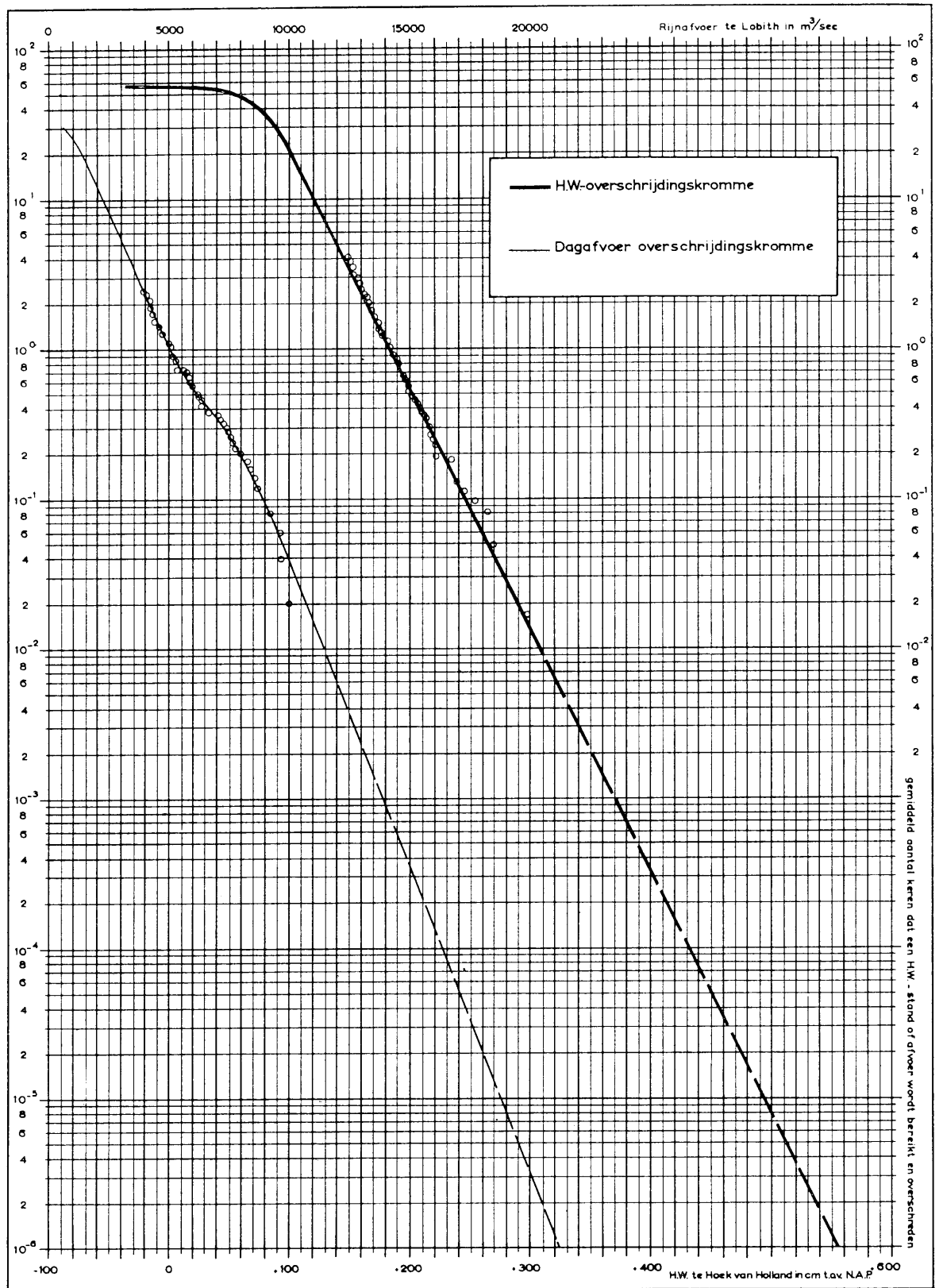
De frequenties voor de winterperiode bepalen in hoge mate de frequenties voor het gehele jaar, daar in de zomer nagenoeg geen stormvloedenvoorkomen. Tevens zijn in deze figuur de overschrijdingskrommen getekend van de Rijnafoeren te Lobith voor de zomer- en de winterperiode en het gehele jaar. Uit deze krommen volgen overeenkomstige conclusies als in [1] zijn aangegeven. De „staart” van de jaaroverschrijdingskromme komt vrijwel overeen met die van de maand januari. Wordt deze jaaroverschrijdingskromme rechtlijnig geëxtrapoleerd, dan wordt bij een jaaroverschrijdingsfrequentie van  $10^{-3}$  een afvoer gevonden van ca. 20 000 m<sup>3</sup>/sec. Deze afvoer is 50% hoger dan de tot nu toe hoogst bekende afvoer, die is voorgekomen op 3 en 4 januari 1926 (ca 13 000 m<sup>3</sup>/sec). Bij een dergelijk hoge Rijnafvoer zullen ook alle zijrivieren van de Rijn in Duitsland een zeer grote afvoer moeten hebben. Zolang echter de dijken langs de bovenrivieren niet in voldoende mate zijn verhoogd, zal de invloed van een dergelijk hoge afvoer van de Rijn op de waterstanden in het deltagebied van geringere betekenis zijn vanwege de dan meer stroomopwaarts voorkomende overstromingen.

Verder is voor de toestand vóór uitvoering van de werken als voorbeeld in figuur 6.2.9 de afhankelijkheid van de H.W.-standen te Dordrecht van die te Hoek van Holland en van de Rijnafoeren grafisch voorgesteld. Hierbij is dan de H.W.-stand te Hoek van Holland als parameter gebruikt. De lijnen van deze grafiek, betrekkinglijnen genoemd, werden als volgt uit de waarnemingen in de natuur verkregen.

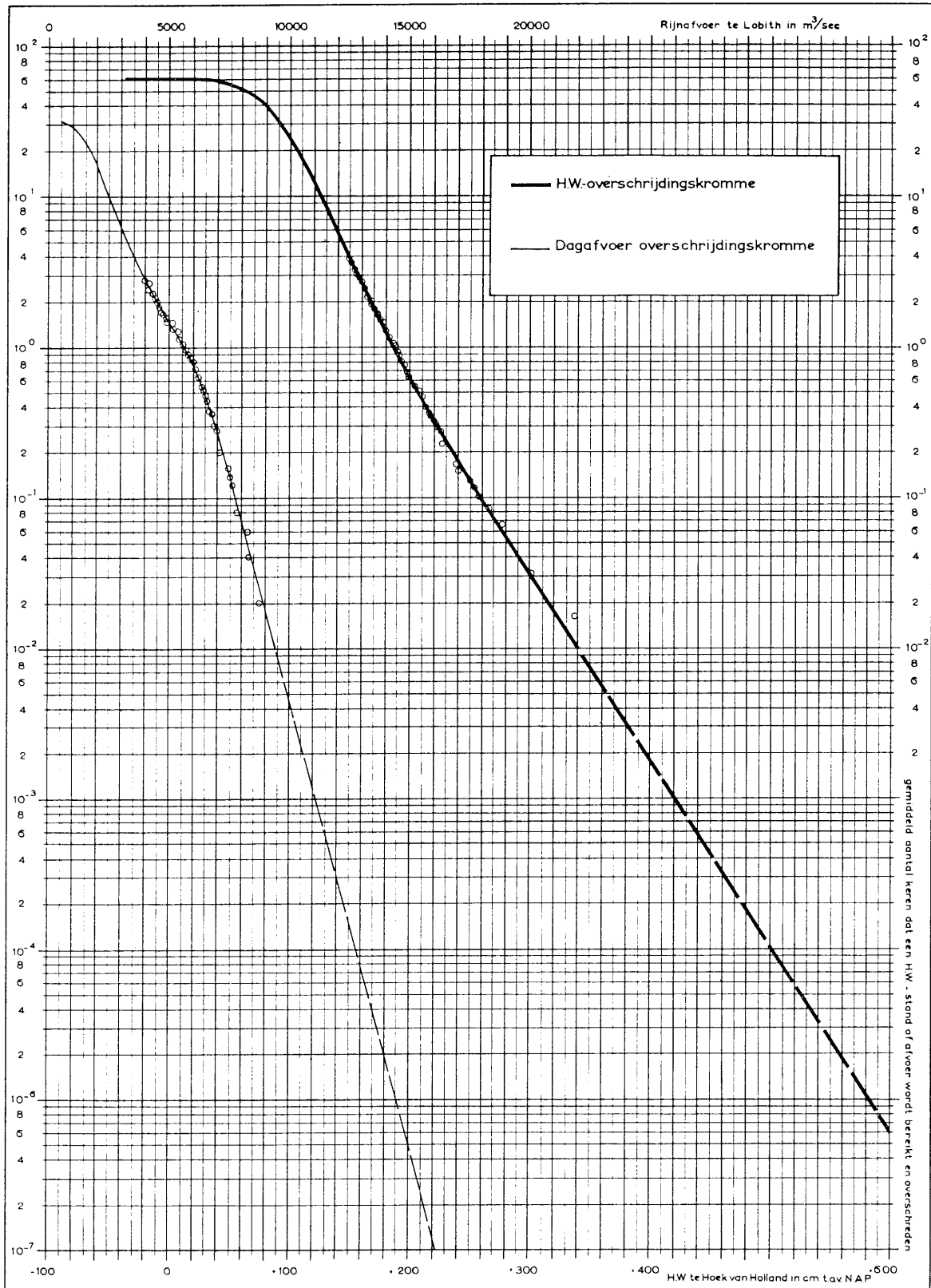
De H.W.-standen te Dordrecht werden onderverdeeld in opeenvolgende intervallen van 10 cm en de Rijnafoeren te Lobith in intervallen van 100 m<sup>3</sup>/sec. Voor iedere combinatie van deze intervallen werden de corresponderende H.W.-standen te Hoek van Holland uit de waarnemingen vastgesteld, waarbij voor verschillende combinaties de H.W.-standen te Hoek van Holland in hetzelfde interval kunnen zijn gelegen. Vervolgens werden lijnen getekend, die de betrekking aangeven tussen de H.W.-standen te Dordrecht en de Rijnafoeren te Lobith, bij bepaalde parameterwaarden van de H.W.-standen te Hoek van Holland. Zo werd uit de waarnemingen in de jaren 1945–1956 de verzameling lijnen verkregen, die in figuur 6.2.9 is aangegeven.

Voor de bepaling van het verband bij extreme H.W.-standen en Rijnafoeren werden ook gegevens gebruikt uit voorgaande jaren.

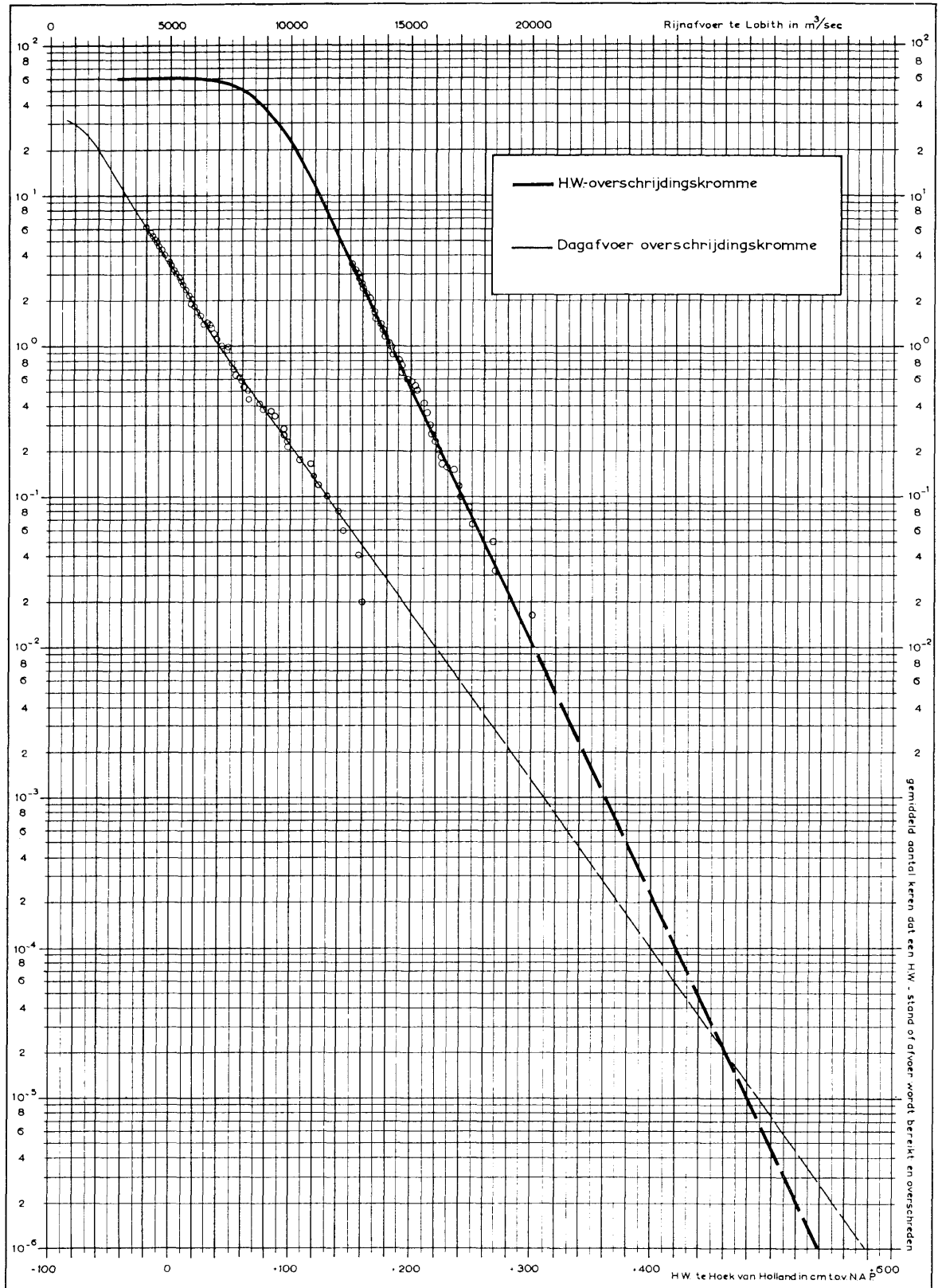
Door rechtlijnige extrapolatie van deze betrekkinglijnen kan dan een verband worden verkregen tussen de H.W.-standen te Dordrecht, de afvoeren van de Rijn en de H.W.-standen te Hoek van Holland voor combinaties, welke tot nu toe niet zijn voorgekomen.



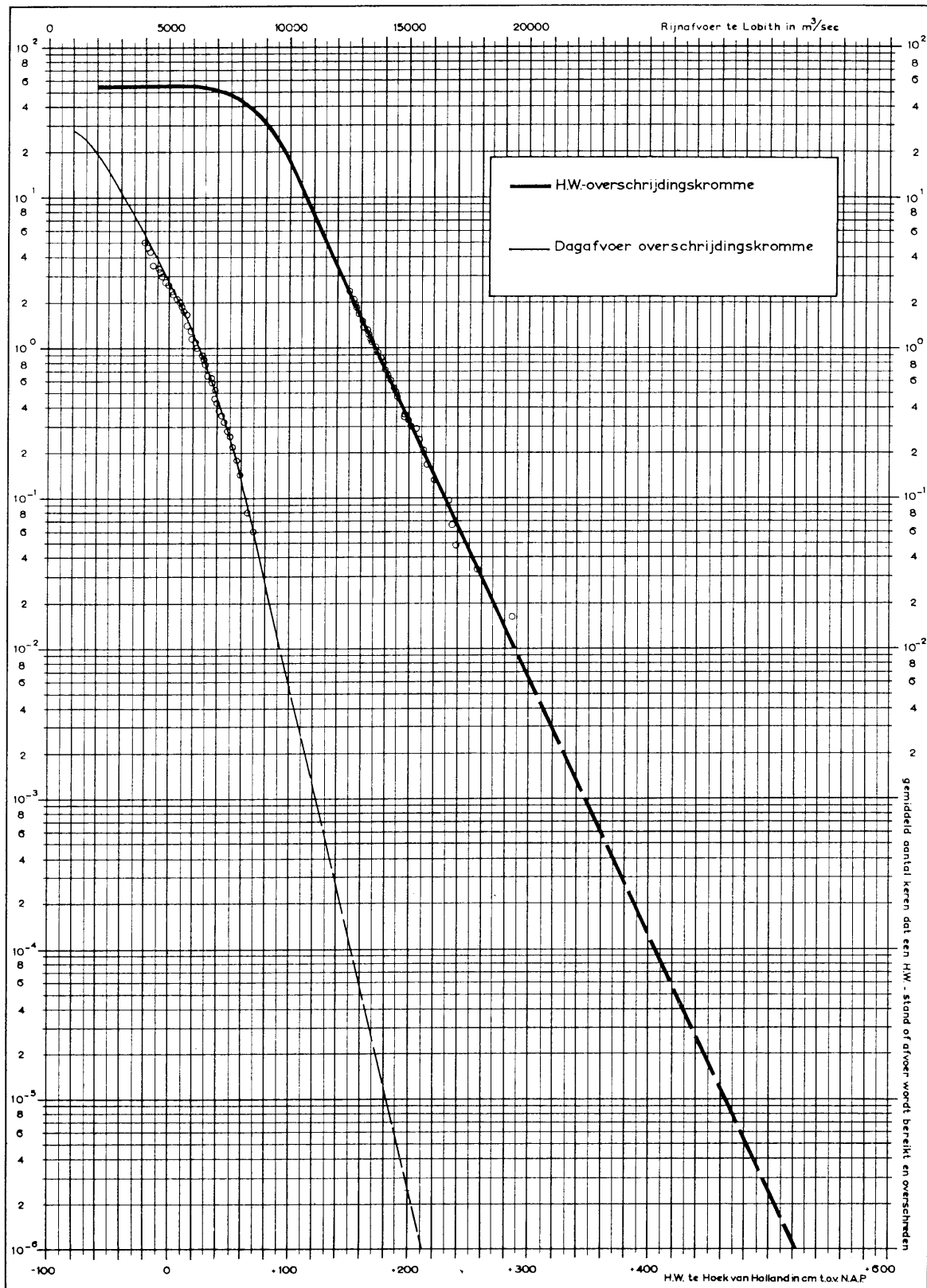
Figuur 6.2.1. Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand *november* voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith



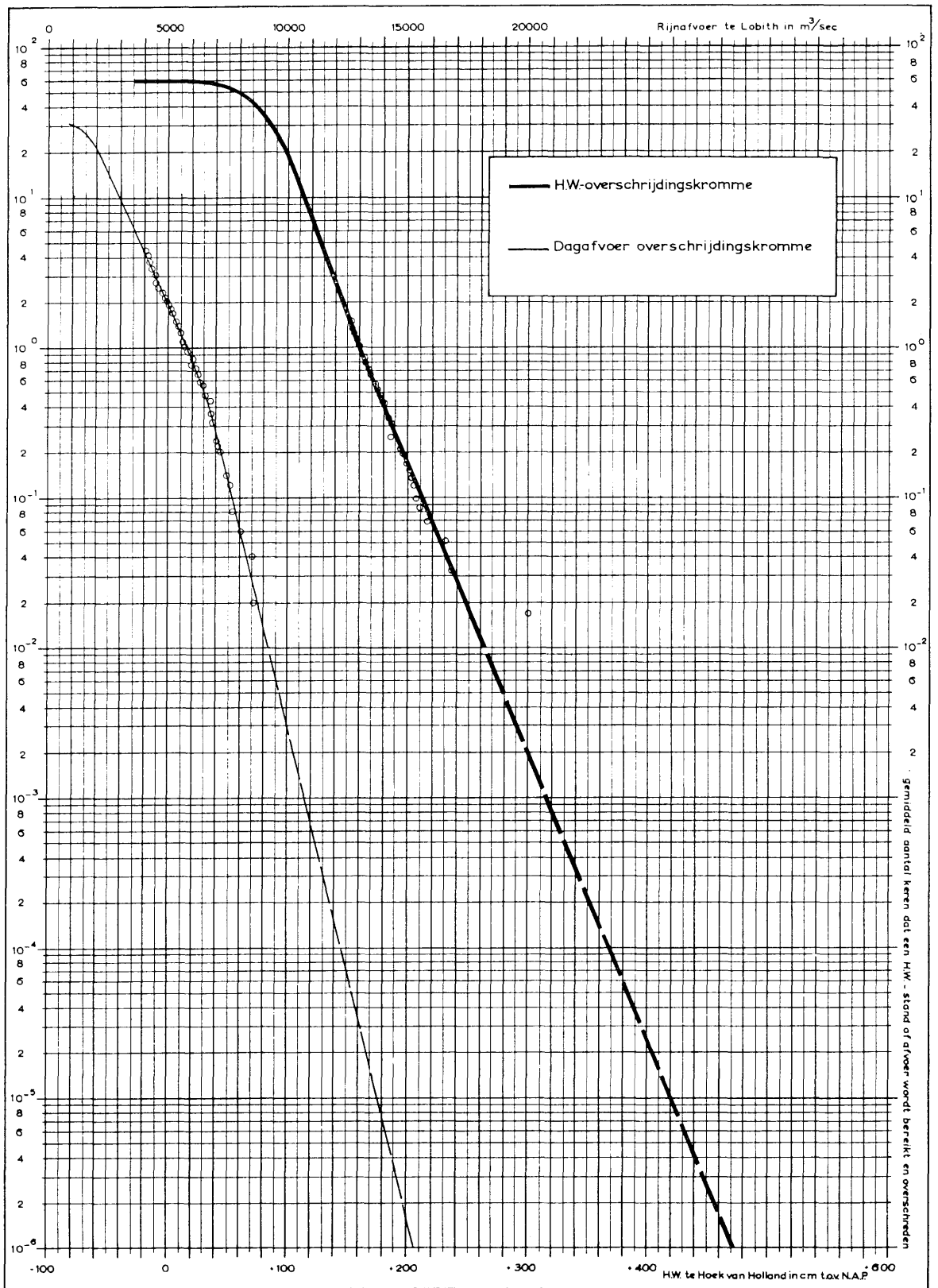
Figuur 6.2.2. Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand *december* voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith



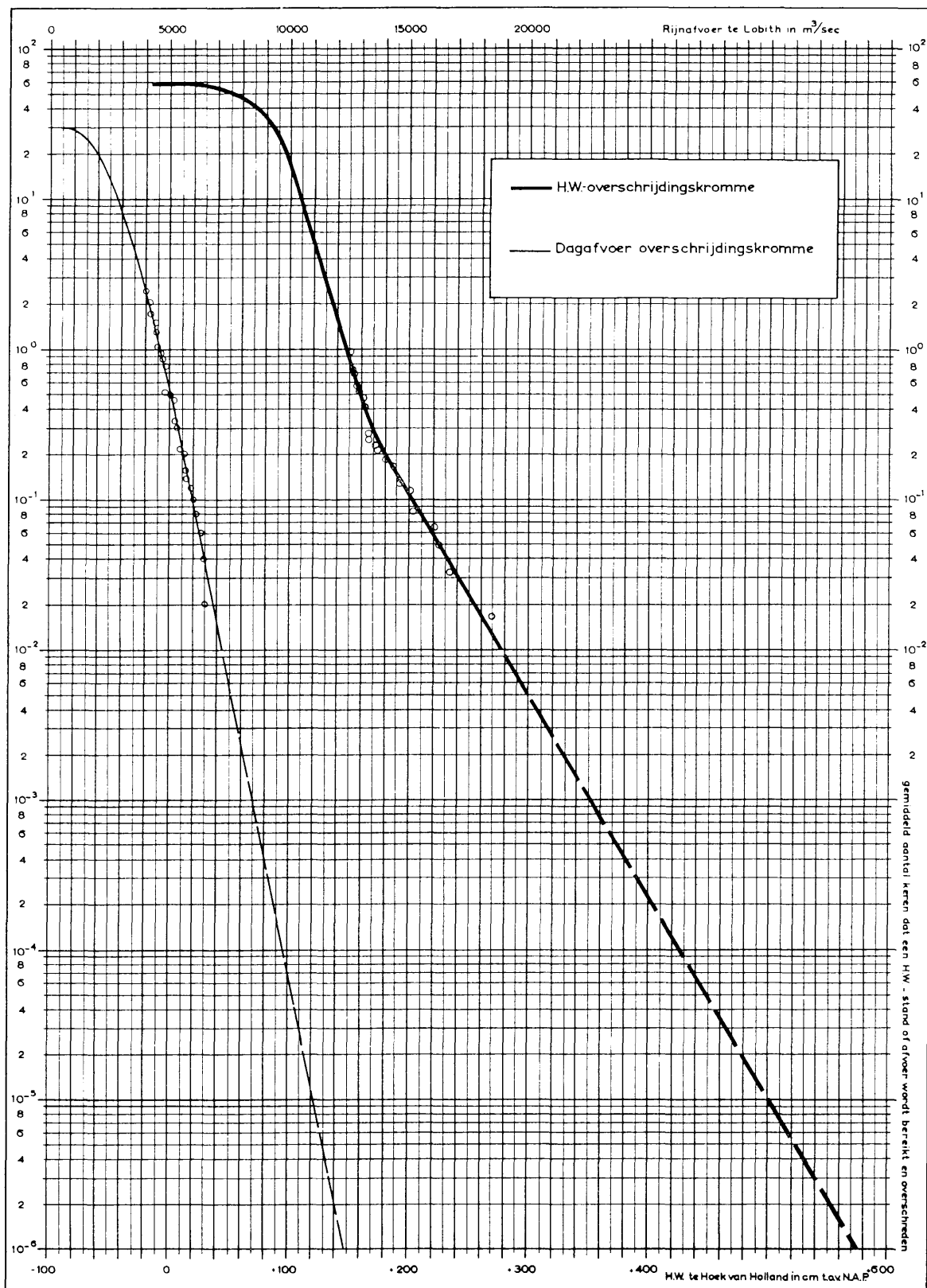
Figuur 6.2.3. Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand *januari* voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith



Figuur 6.2.4. Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand *februari* voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith

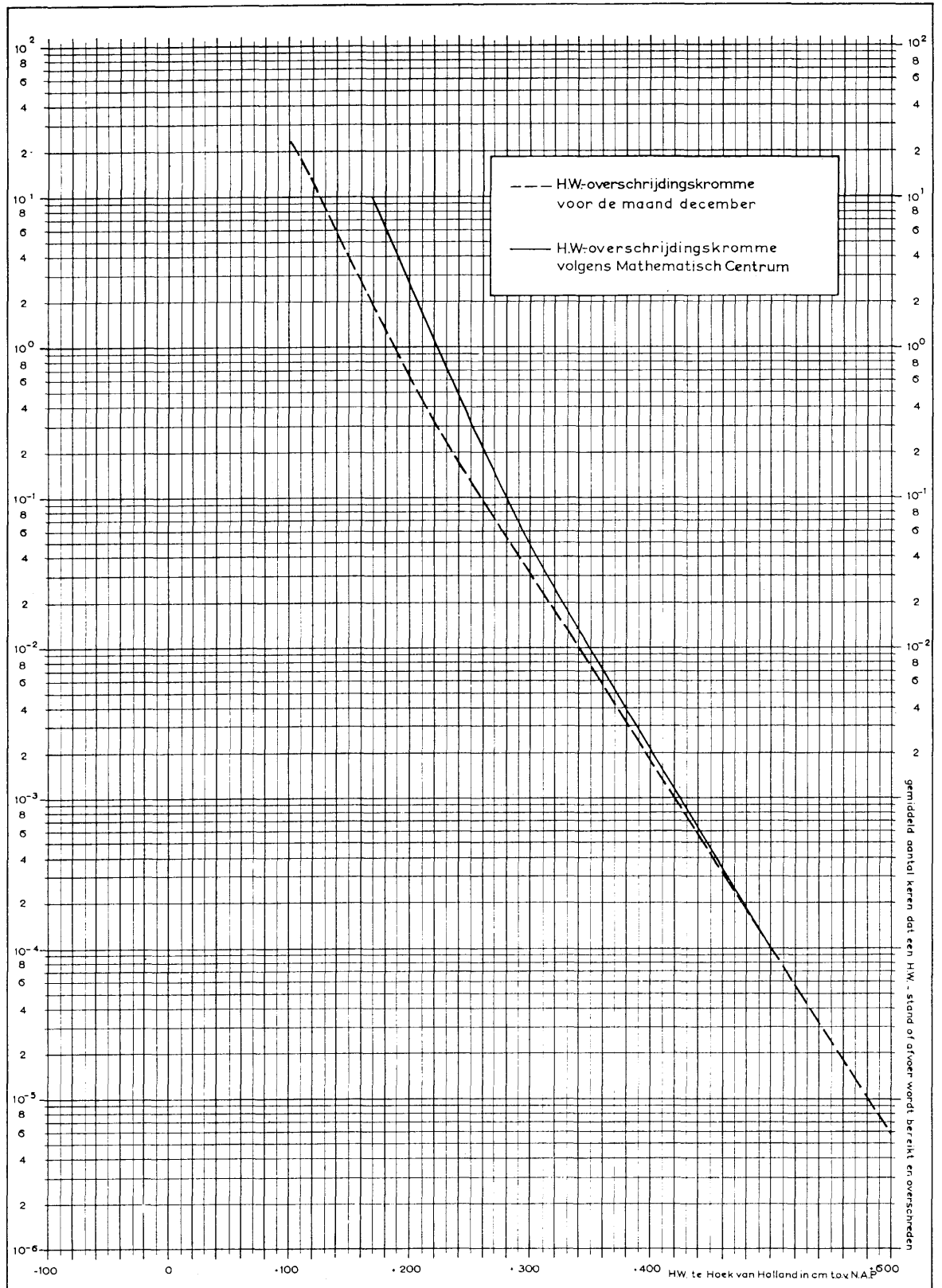


Figuur 6.2.5. Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand maart voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith

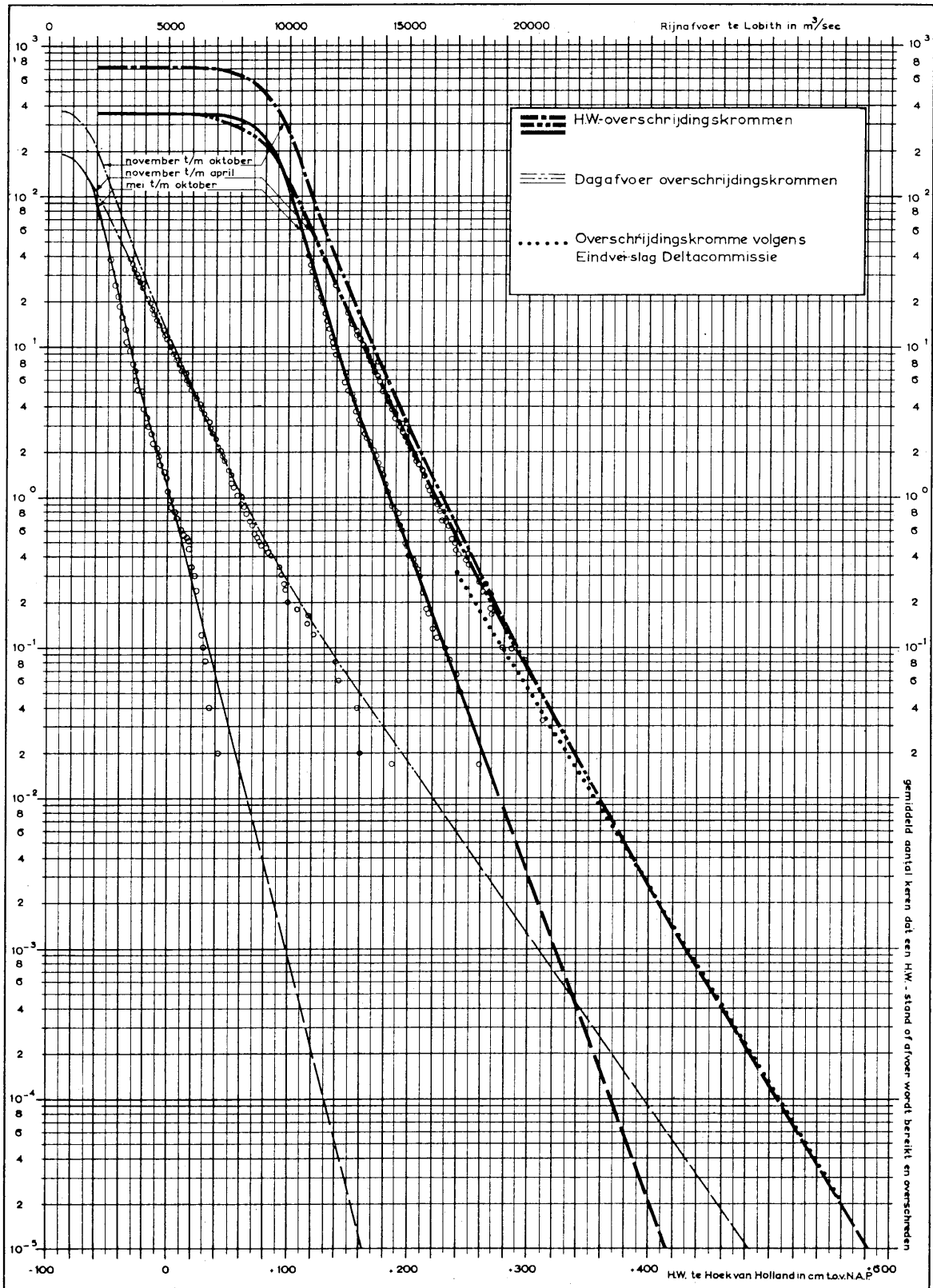


Figuur 6.2.6. Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de maand april voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith

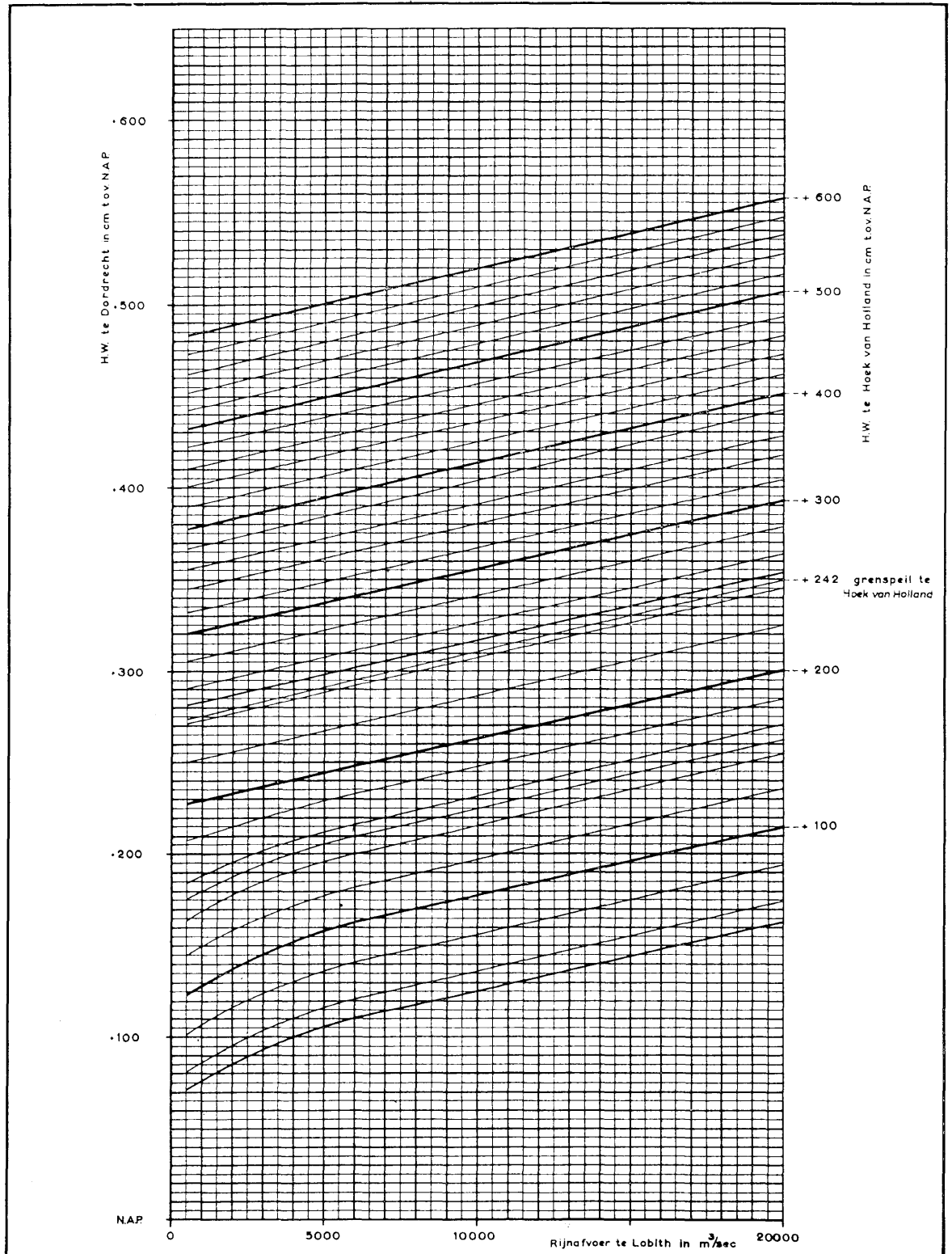




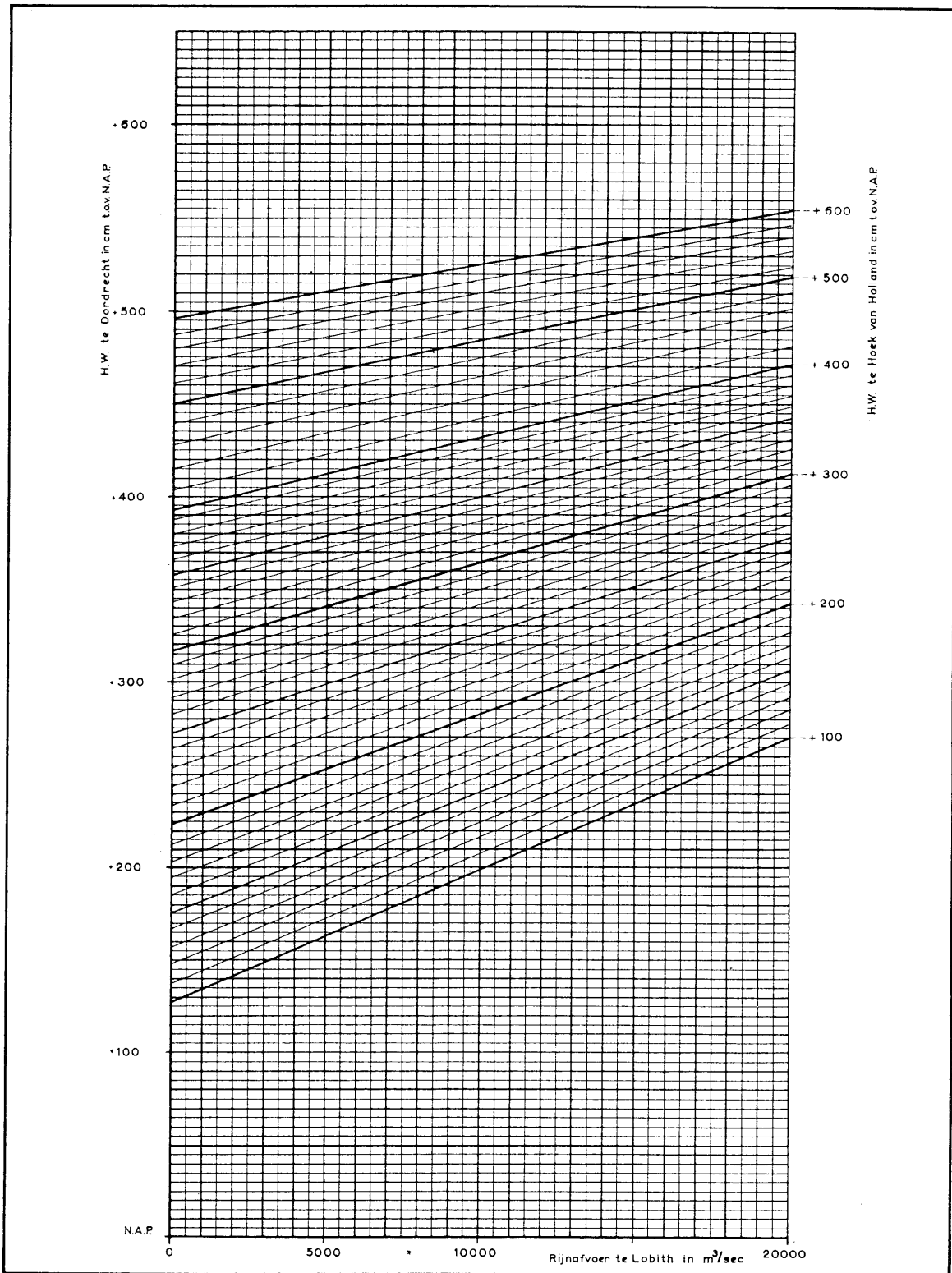
Figuur 6.2.7. Vergelijking van de „staart” van de overschrijdingskromme van het Mathematisch Centrum voor het gehele jaar met de overschrijdingskromme voor de maand december voor de H.W.-standen te Hoek van Holland



Figuur 6.2.8. Gemiddelde overschrijdingskrommen voor de winterperiode, de zomerperiode en het gehele jaar voor de H.W.-standen te Hoek van Holland en voor de dagafvoeren van de Rijn te Lobith



Figuur 6.2.9. Betrekking Rijnafvoer te Lobith en H.W.-standen te Dordrecht bij verschillende H.W.-standen te Hoek van Holland voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken, samengesteld uit waarnemingen in de natuur



Figuur 6.2.10. Betrekking Rijnafvoer te Lobith en H.W.-standen te Dordrecht bij verschillende H.W.-standen te Hoek van Holland voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken naar gegevens, verkregen uit modelproeven

Uit deze figuur blijkt bijvoorbeeld, dat indien de Rijnafvoer toeneemt van ca. 600 m<sup>3</sup>/sec (laagst bekende afvoer in de jaren 1947 en 1949) tot ca. 13 000 m<sup>3</sup>/sec, de H.W.-stand te Dordrecht, die bij 600 m<sup>3</sup>/sec N.A.P. + 200 cm bedraagt, een verhoging zal ondergaan van ca. 50 cm, wanneer de H.W.-stand te Hoek van Holland als onveranderd wordt beschouwd, nl. N.A.P. + 170 cm. Het samenvallen met een hoge afvoer heeft in dit geval nog een overschrijdingswaarde, die van betekenis is.

Voor een bepaalde plaats in het deltagebied zal een bepaalde stand kunnen worden bereikt door verschillende combinaties van H.W.-standen te Hoek van Holland en Rijnafvoeren. Zo zijn in tabel 6.2.2 enkele combinaties vermeld, die in Dordrecht voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken leiden tot een stand van N.A.P. + 350 cm. Ze zijn afgeleid uit figuur 6.2.9. Deze H.W.-stand te Dordrecht heeft volgens figuur 6.5.1, waarin de empirische jaaroverschrijdingskromme van de H.W.-standen te Dordrecht is weergegeven (lijn a) een overschrijdingswaarde van 0,024.

Tabel 6.2.2

Combinaties van H.W.-standen te Hoek van Holland en afvoeren van de Rijn te Lobith, waarbij een H.W.-stand te Dordrecht van N.A.P. + 350 cm wordt bereikt bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken

H.W.-stand te Hoek van Holland in cm boven N.A.P.	Afvoer van de Rijn te Lobith in m <sup>3</sup> /sec
350	615 (1947 en 1949)
320	5 000
270	13 000 (1926)

Daar de betrekkinglijnen voor de toestand na uitvoering van het Deltaplan uit resultaten van modelproeven bepaald moeten worden, was het gewenst om ter controle ook de lijnen voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken uit modelproeven vast te stellen. Als voorbeeld zijn deze aldus bepaalde betrekkinglijnen voor Dordrecht in figuur 6.2.10 weergegeven.

Deze geven in vergelijking met de uit de natuurmetingen bepaalde betrekkinglijnen voor zeer hoge waterstanden te Hoek van Holland iets hogere standen te Dordrecht.

### 6.3 De berekening van de overschrijdingsfrequenties per jaar voor het gezamenlijk optreden van de H.W.-standen te Hoek van Holland hoger dan $h$ en Rijnafvoeren te Lobith groter dan $Q$

Met behulp van de overschrijdingskrommen van de H.W.-standen te Hoek van Holland en van de Rijnafvoeren te Lobith (zie 6.2) kan de overschrijdingsfrequentie worden berekend van het gezamenlijk overschrijden van een bepaalde H.W.-stand te Hoek van Holland en van een bepaalde Rijnafvoer.

Het aantal overschrijdingen per jaar, dus de overschrijdingsfrequentie te Hoek van Holland van een H.W.-stand gelijk aan  $h$ , wordt  $m_1$  genoemd en die van de afvoer  $Q$  wordt  $m_2$  genoemd. Voorts is  $M_1$  het aantal H.W.-standen, dat in een jaar te Hoek van Holland voorkomt en  $M_2$  het aantal dagafvoeren van de Rijn per jaar. Zoals bekend is <sup>1)</sup>, zijn de H.W.-standen te Hoek van Holland en de Rijnafvoeren onafhankelijk van elkaar. De kans voor het optreden van een dergelijke combinatie ( $h$ ,  $Q$ ) is dan:

$$k = \frac{m_1}{M_1} \cdot \frac{m_2}{M_2}$$

Het aantal keren, dat per jaar H.W.-standen, hoger dan  $h$  voorkomen, terwijl de afvoeren groter dan  $Q$  zijn, is dan gelijk aan:

$$n = k \cdot M_1$$

zodat:

$$n = \frac{m_1 \cdot m_2}{M_2}$$

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage II.3.

In figuur 6.3.1 zijn de resultaten weergegeven van een berekening van de waarde van  $n$ , waarbij telkens een bepaalde H.W.-stand, hoger dan  $h$  te Hoek van Holland, wordt beschouwd. Iedere kromme correspondeert dan met een H.W.-stand, hoger dan een bepaalde  $h$  en een variabele  $Q$  ( $m_1 = \text{constant}$ ,  $m_2 = \text{variabel}$ ).

Tabel 6.3.1

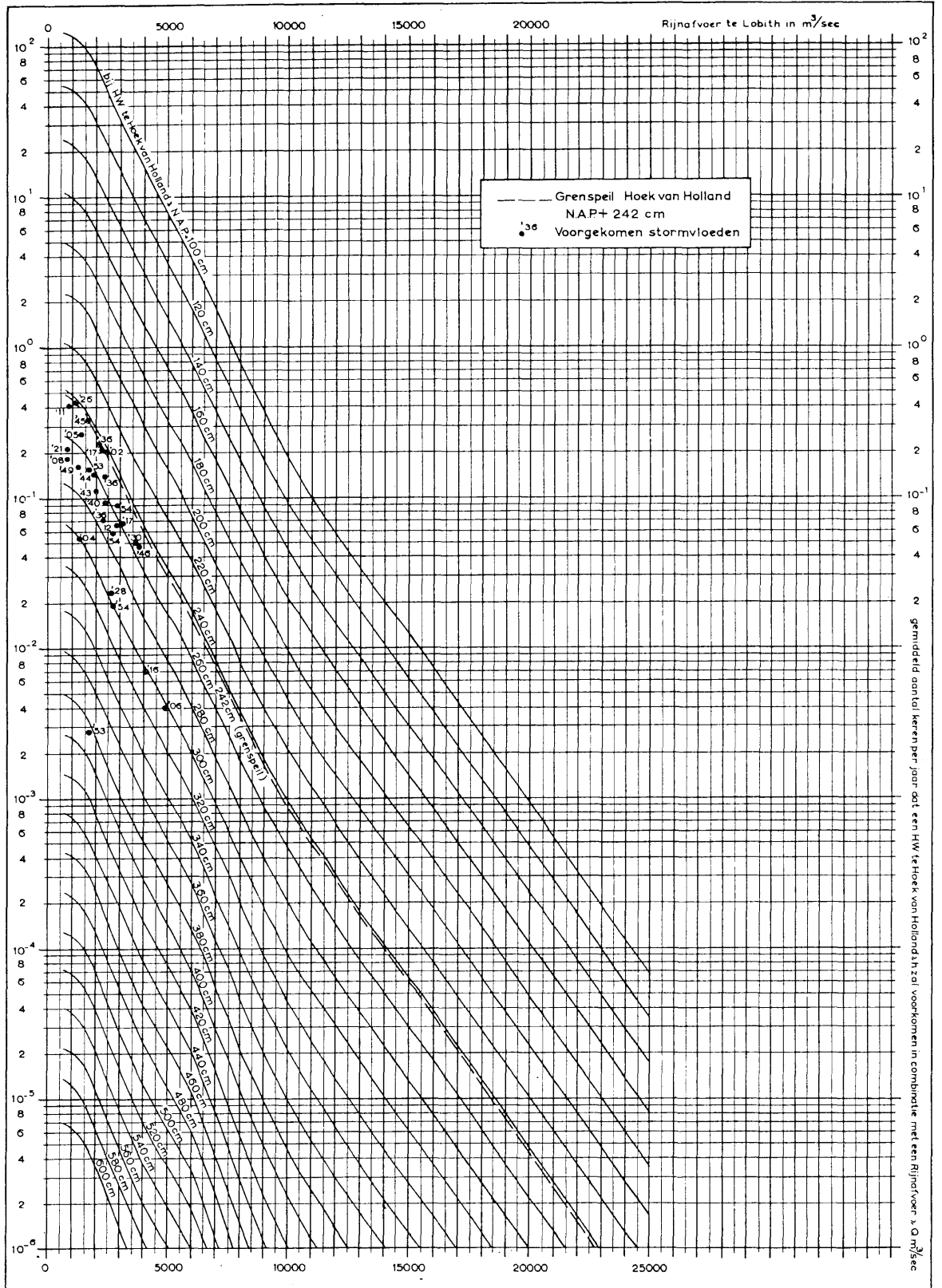
S.V.-standen te Hoek van Holland met bijbehorende afvoeren van de Rijn te Lobith sedert 1900

Datum	H.W.-stand te Hoek van Holland in cm boven N.A.P.	Afvoer van de Rijn te Lobith in m <sup>3</sup> /sec	Bijzonderheden
30-12-1904	296	1 300	
7- 1-1905	250	1 300	
12- 3-1906	297	4 900	
23-11-1908	266	800	
30- 9-1911	243	850	
11-11-1912	262	2 900	
13- 1-1916	300	4 100	} 1 jaar, 2 stormvloed
26-11-1917	244	2 100	
2-12-1917	254	3 200	
6-11-1921	263	750	
26-11-1928	296	2 550	
23-11-1930	253	2 600	} 1 jaar, 2 stormvloed
18-10-1936	242	2 100	
1-12-1936	253	2 300	
1-12-1936	274	2 300	
6-12-1940	265	2 300	
7- 4-1943	268	2 000	
26- 1-1944	267	1 800	
19- 1-1945	246	1 500	
23- 2-1946	256	3 600	
1- 3-1949	270	1 200	
1- 2-1953	385	1 650	} 1 stormvloed
1- 2-1953	265	1 650	
22-12-1954	252	2 950	} 1 stormvloed
23-12-1954	300	2 800	
24-12-1954	270	2 700	
Gemiddelde afvoer van de Rijn tijdens bovenstaande stormvloed . . . . .		2 250	
Gemiddelde afvoer van de Rijn volgens de Deltadienst, Afdeling Waterhuishouding (1911-1958) . . . . .		2 200	

Ieder exemplaar van de verzameling krommen, die in figuur 6.3.1 grafisch zijn voorgesteld, geldt voor de wintermaanden november tot en met april. Deze krommen werden bepaald door sommatie van de analoge krommen, die berekend zijn voor ieder der wintermaanden afzonderlijk.

In figuur 6.3.1 zijn tevens alle stormvloed (H.W. te Hoek van Holland is dan N.A.P. + 242 cm of hoger) sedert 1900 aangegeven met de daarbij behorende Rijnafoeren. In tabel 6.3.1 zijn deze S.V.-standen vermeld.

Uit de overschrijdingsfrequenties van figuur 6.3.1 blijkt, dat de stormvloed van 1953 met een afvoer van 1650 m<sup>3</sup>/sec de tot nu toe ongunstigste combinatie is geweest vanwege de op die dag voorgekomen extreme S.V.-stand te Hoek van Holland. De hieropvolgende combinatie is de stormvloed van 1906 met een afvoer van 4900 m<sup>3</sup>/sec. Deze afvoer is de hoogst bekende sedert 1900 geweest, die tijdens een stormvloed in de beschouwde periode is opgetreden. Daarna volgt de stormvloed van 1916 met een Rijnafoer van 4100 m<sup>3</sup>/sec te Lobith. In tabel 6.3.2 zijn deze drie gevallen opgegeven met de bijbehorende gemiddelde overschrijdingswaarde.



Figuur 6.3.1. Gemiddelde overschrijdingskrommen per winterperiode (november t/m april) voor het samenvallen van H.W.-standen te Hoek van Holland hoger dan  $h$  en Rijnafvoeren te Lobith groter dan  $Q$

Tabel 6.3.2

Drie voorgekomen zeer ongunstige combinaties van S.V.-standen te Hoek van Holland en afvoeren van de Rijn te Lobith sedert 1900

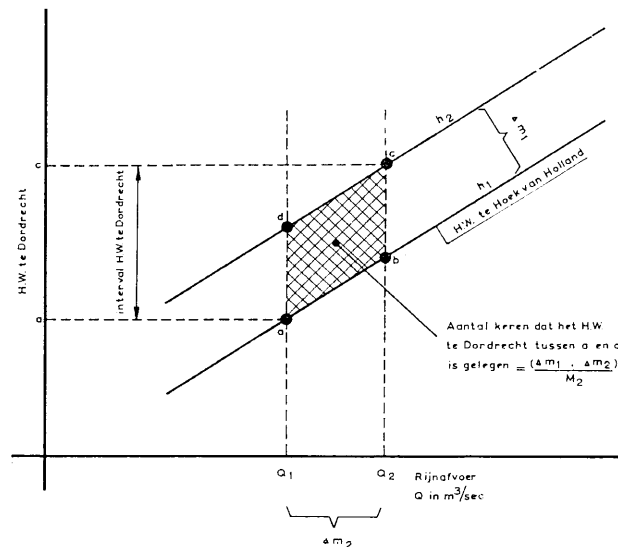
H.W.-stand te Hoek van Holland in cm boven N.A.P.		Afvoer van de Rijn te Lobith in m <sup>3</sup> /sec	Gemiddelde overschrijdingsfrequentie per winterperiode
1953	385	1 650	0,0028
1906	297	4 900	0,0041
1916	300	4 100	0,0070

#### 6.4 De methode voor het berekenen van de overschrijdingskrommen van de H.W.-standen voor verschillende peilschaalstations in het deltagebied

De jaaroverschrijdingskrommen van de H.W.-standen voor peilschaalstations in het deltagebied kunnen worden berekend met behulp van de gegevens, die in 6.2 zijn vermeld, nl.:

1. De overschrijdingskromme voor iedere maand in de winterperiode (november tot en met april) en de gemiddelde overschrijdingskromme voor de zomerperiode (mei tot en met oktober) in zijn geheel, zowel voor de H.W.-standen te Hoek van Holland als voor de Rijnafoeren te Lobith afzonderlijk (figuren 6.2.1 tot en met 6.2.6 en figuur 6.2.8).
2. De betrekkinglijnen tussen de H.W.-standen te Hoek van Holland, die van het beschouwde peilschaalstation en de Rijnafoeren te Lobith (analoge figuren als de figuren 6.2.9 en 6.2.10, die voor Dordrecht gelden).

Als voorbeeld wordt de berekening van de overschrijdingskrommen te Dordrecht nader beschouwd. Daartoe werden de Rijnafoeren verdeeld in intervallen van 500 m<sup>3</sup>/sec en de H.W.-standen te Hoek van Holland in intervallen van 10 cm. Met behulp van grafieken, waarvan figuur 6.2.9 een voorbeeld is, werd dus voor ieder interval van de H.W.-standen te Hoek van Holland en van de afvoeren te Lobith het interval bepaald, waarin de corresponderende H.W.-standen te Dordrecht zijn gelegen (zie figuur 6.4.1).



Figuur 6.4.1. De H.W.-standen te Dordrecht als functie van de Rijnafoer te Lobith en van de H.W.-standen te Hoek van Holland (H.W.-stand te Hoek van Holland is de parameter)

Het aantal keren, dat in het corresponderende interval te Dordrecht (a, c) een H.W.-stand is gelegen, kan nu als volgt worden berekend.



Stel het aantal keren, dat een H.W.-stand te Hoek van Holland in een bepaald interval  $(h_2, h_1)$  voorkomt  $\Delta m_1$  en  $\Delta m_2$  het aantal keren, dat de Rijnafoer in het interval  $(Q_2, Q_1)$  is gelegen.

Voor iedere wintermaand kunnen  $\Delta m_1$  en  $\Delta m_2$  bepaald worden met behulp van de grafieken, die in de figuren 6.2.1 tot en met 6.2.6 zijn weergegeven. Laat verder  $M_1$  en  $M_2$  weer het aantal mogelijke H.W.-standen, resp. afvoeren in de beschouwde maand zijn. De kans voor het samentreffen van beide onafhankelijke gebeurtenissen is dan:

$$\frac{\Delta m_1}{M_1} \cdot \frac{\Delta m_2}{M_2}$$

Het gemiddelde aantal H.W.-standen te Dordrecht, dat in de beschouwde maand tussen a en c voorkomt, is dus gelijk aan:

$$\frac{\Delta m_1 \cdot \Delta m_2}{M_2}$$

Het totaal aantal keren per jaar, dat een H.W.-stand te Dordrecht zich in het interval (a, c) bevindt, terwijl de H.W.-stand te Hoek van Holland in het interval  $(h_2, h_1)$  is gelegen en de Rijnafoer in het interval  $(Q_2, Q_1)$ , wordt verkregen door de getallen voor de wintermaanden en de zomerperiode te sommeren.

Door daarna alle mogelijke combinaties van intervallen van H.W.-standen te Hoek van Holland  $(h_2, h_1)$  en van Rijnafoeren  $(Q_2, Q_1)$  te beschouwen, wordt door sommatie het gemiddelde aantal keren van het vóórkomen van de H.W.-standen in het interval (a, c) te Dordrecht per jaar verkregen.

Na de berekening van deze verdelingskromme van de H.W.-standen te Dordrecht kan door sommatie van het aantal keren, dat H.W.-standen hoger dan  $h$  zullen optreden, de jaaroverschrijdingskromme te Dordrecht berekend worden.

## 6.5 De praktische berekening van de overschrijdingskrommen van de H.W.-standen te Dordrecht voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken

### 6.5.1 Overzicht en doel van de berekeningen

Uit waarnemingen van de H.W.-standen te Dordrecht in de jaren 1901 tot en met 1950 werd de empirische overschrijdingskromme berekend. Deze is in figuur 6.5.1 door de kromme a weergegeven.

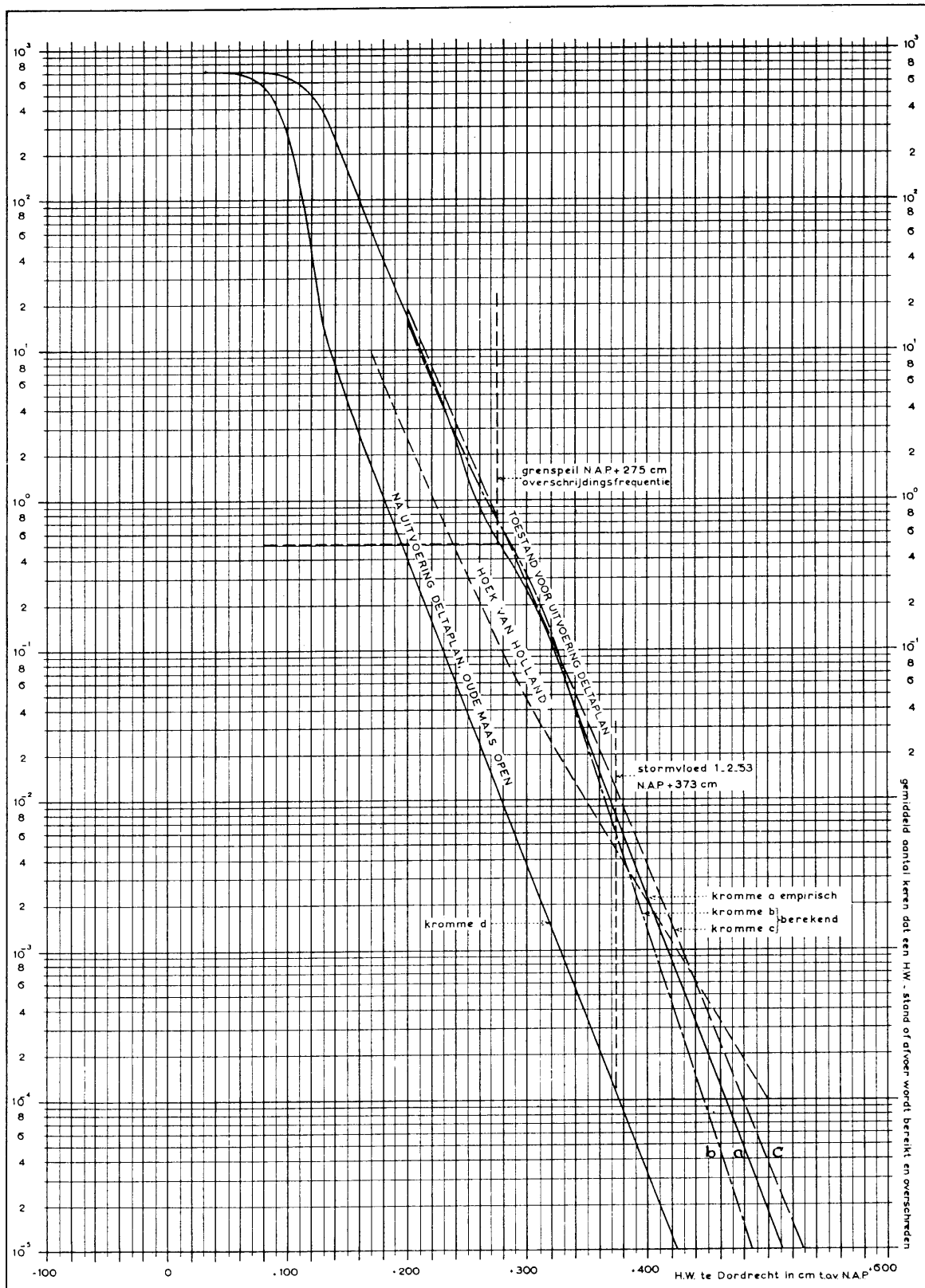
Ter controle van de in de vorige paragraaf besproken methode voor het berekenen van de overschrijdingskrommen is met behulp van de uit de waarnemingen afgeleide betrekkinglijnen (zie figuur 6.2.9) ook de overschrijdingskromme van de H.W.-standen, hoger dan N.A.P. + 200 cm, bepaald.

Uit vergelijking met de op deze wijze verkregen overschrijdingskromme, die in de figuur 6.5.1 door de lijn b is weergegeven, met de empirische overschrijdingskromme a, blijkt dan, dat er een bevredigende overeenstemming is (zie ook 6.5.2).

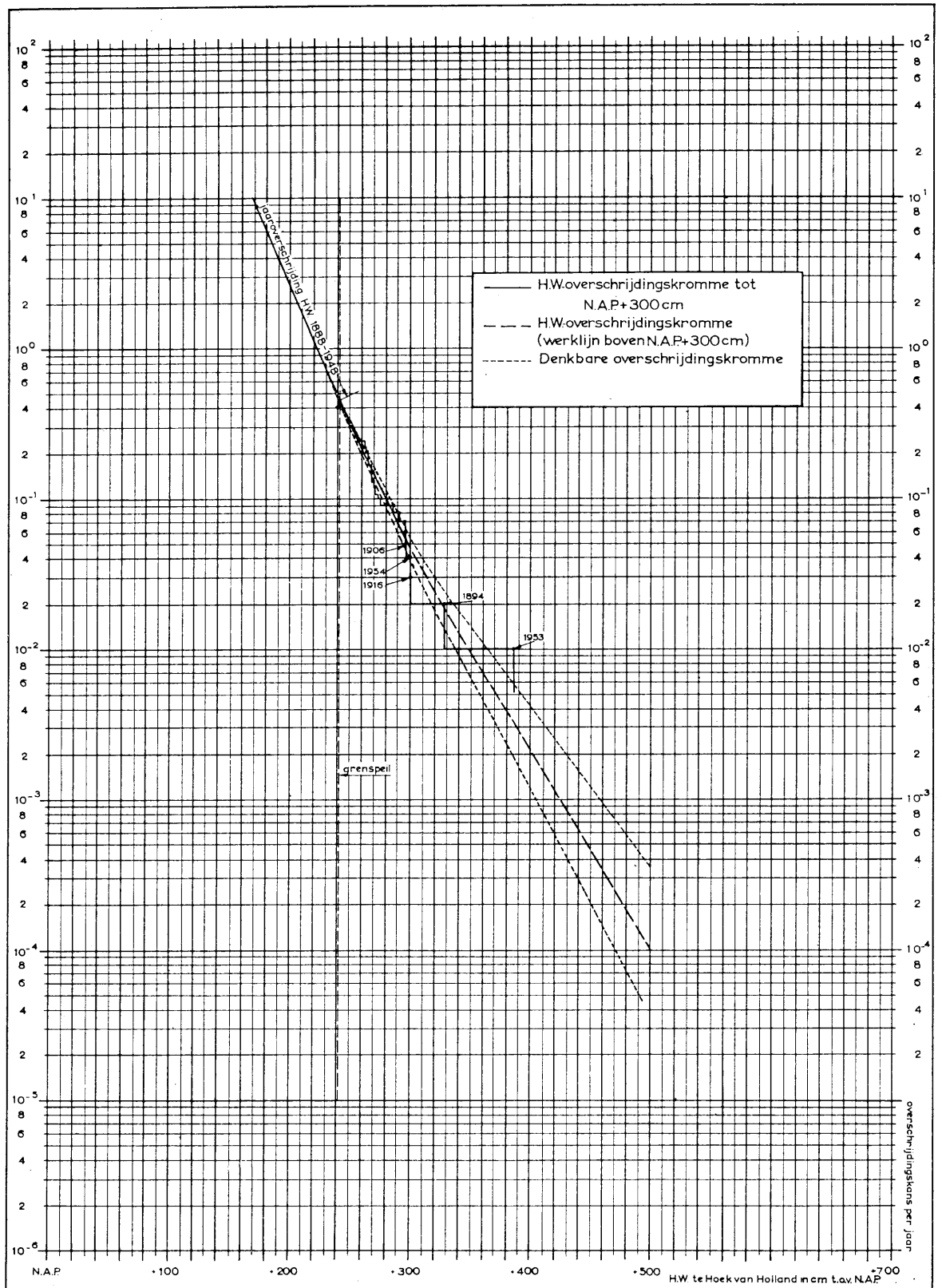
Het berekenen van de overschrijdingskromme kan echter ook geschieden door van de betrekkinglijnen uit te gaan, welke door middel van modelproeven zijn verkregen (zie figuur 6.2.10). De met deze betrekkinglijnen berekende overschrijdingskromme is in figuur 6.5.1 door de lijn c weergegeven. Uit onderlinge vergelijking van de lijnen a, b en c blijkt dan in hoeverre de modelresultaten voldoende representatief zijn voor het bepalen van de betrekkinglijnen. Uit de voldoende overeenstemming tussen de lijnen a en c mag verwacht worden, dat voor de bepaling van de overschrijdingskromme voor de toestand na uitvoering van het Deltaplan, waarbij de betrekkinglijnen alleen met behulp van de laboratoriumproeven bepaald kunnen worden, de berekeningsmethode ook betrouwbare resultaten zal geven.

### 6.5.2 Nadere discussie over de resultaten van de berekeningen

Uit de vergelijking van de overschrijdingsfrequenties, resp. bepaald met behulp van de lijnen a en b van figuur 6.5.1, blijkt, dat bij een waarde van  $10^{-4}$  de berekende overschrijdingskromme een lagere S.V.-stand aanwijst dan de empirische, nl. ongeveer 20 cm lager. Dergelijke verschillen zijn ook wel te verwachten, daar zowel de empirische overschrijdingskromme a als de berekende kromme b, vanwege de toegepaste extrapolaties voor de zeer hoge S.V.-standen, niet onomstotelijk vaststaan. Immers, zowel de betrekkinglijnen van figuur 6.2.9 als de maandoverschrijdingskrommen van de H.W.-standen te



Figuur 6.5.1. Gemiddelde overschrijdingskromme per jaar voor H.W.-standen te Dordrecht bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken, volgens waarnemingen in de natuur en volgens berekeningen, alsmede die voor de toestand na uitvoering van het Deltaplan, waarbij de Oude Maas open is en de Brabantse Biesbos, de Noordbrabantse oever en de Zuidhollandse Biesbos stormvloedvrij zijn, volgens berekeningen



Figuur 6.5.2. Gemiddelde H.W.-overschrijdingskromme per jaar te Hoek van Holland, samengesteld door het Mathematisch Centrum, met mogelijke spreiding, overgenomen uit het Eindverslag van de Deltacommissie (zie deel 1)

Hoek van Holland en van de Rijnafoeren te Lobith, die zijn aangegeven in de figuren 6.2.1 tot en met 6.2.6, zijn voor de hogere waarden geëxtrapoleerd.

Voor de lagere S.V.-standen, waarbij de extrapolatie minder speculatief is, is de overeenstemming tussen de overschrijdingskrommen a en b alleszins bevredigend.

Over de invloed van wijzigingen in de extrapolatie van de zeer hoge S.V.-standen te Hoek van Holland op de berekende overschrijdingskromme b te Dordrecht wordt opgemerkt, dat in figuur 6.5.2, overgenomen uit het Eindverslag van de Deltacommissie <sup>1)</sup>, drie overschrijdingskrommen voor de H.W.-standen te Hoek van Holland zijn aangegeven. Deze geven een mogelijke spreiding in de overschrijdingskromme te Hoek van Holland aan.

Volgens de berekeningen heeft bij een jaarlijkse overschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$  deze spreiding een variatie van ongeveer 30 cm in de S.V.-standen te Dordrecht ten gevolge. Hierbij is de onzekerheid in de extrapolatie van de overschrijdingskrommen van de Rijnafoeren buiten beschouwing gelaten. De conclusie is, dat een afwijking van ongeveer 20 à 30 cm naar weerszijden mogelijk is als een peil te Dordrecht van N.A.P. + 470 cm (figuur 6.5.1, lijn a) voor de toestand vóór de uitvoering van de delta-werken wordt aangenomen met een overschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$ .

De met behulp van de hydraulische modelproeven berekende lijn c is zodanig, dat de empirische overschrijdingskromme a vrijwel midden tussen de twee berekende overschrijdingskrommen b en c is gelegen. Daar in het hydraulisch model alle hoofdwaterkeringen zo hoog zijn aangenomen, dat ze niet kunnen overstromen, zullen vermoedelijk de modeluitkomsten bij de zeer hoge stormvloedten te hoge S.V.-standen aangeven.

## 6.6 De berekening van de overschrijdingskrommen van de H.W.-standen te Dordrecht en andere plaatsen na uitvoering van het Deltaplan en hun betrouwbaarheid

### 6.6.1 De berekening van de overschrijdingskrommen van de H.W.-standen te Dordrecht en andere plaatsen na uitvoering van het Deltaplan

De kromme te Dordrecht werd berekend voor H.W.-standen, hoger dan N.A.P. + 200 cm. Hierbij werd alleen de toestand met open Oude Maas beschouwd, terwijl de Brabantse Biesbos, de Noordbrabantse oever en de Zuidhollandse Biesbos stormvloedvrij zijn verondersteld.

Het uitgangspunt voor deze berekeningen zijn weer de maandoverschrijdingskrommen van de H.W.-standen te Hoek van Holland en de Rijnafoeren. De nodige betrekkinglijnen zijn afgeleid uit modelproeven in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft. Ze zijn in figuur 6.6.1 weergegeven.

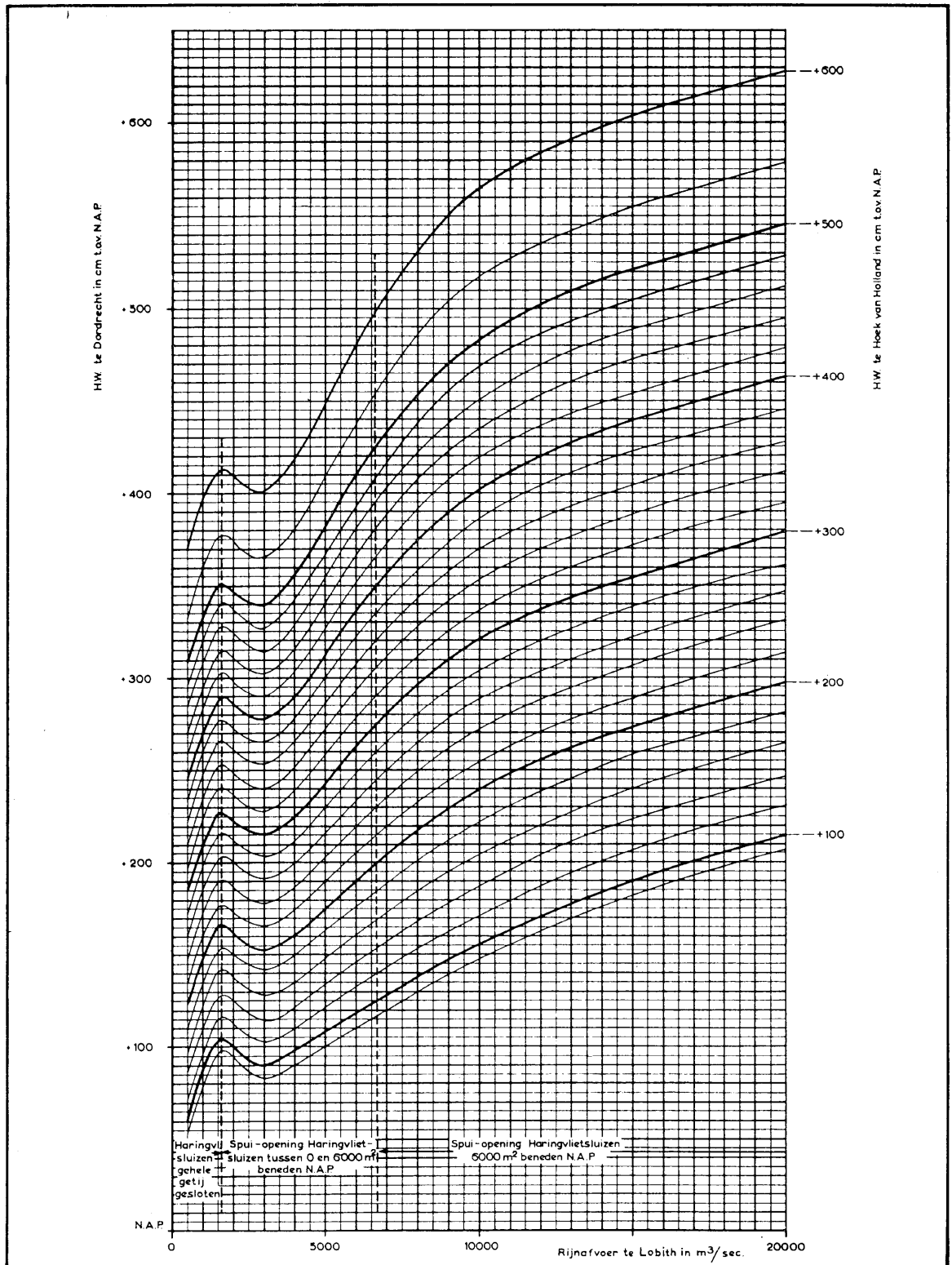
Bij vergelijking met de betrekkinglijnen voor de bestaande toestand (figuur 6.2.10) blijken deze een heel andere vorm te hebben. Dit zo verschillende verloop is vooral een gevolg van de invloed van de waterstand, die in het Haringvlietbekken voorkomt op het moment van het sluiten van de Haringvlietsluizen en van de daarop volgende H.W.-standen in het noordelijke deltagebied.

Volgens 3.0 worden de S.V.-standen in het Haringvlietbekken bepaald door de waterbergingsmogelijkheden in dit bekken. Hoe lager de waterstand in het Haringvlietbekken is op het moment van sluiten van de sluisen (uitgangspeil), des te groter is de mogelijkheid voor waterberging. Dit uitgangspeil, dat afhankelijk is van het gewenste lozingsprogramma voor de waterhuishouding in het noordelijk deltagebied, voorafgaand aan de stormvloed (zie de desbetreffende bijdrage <sup>2)</sup> en 3.0), is van directe invloed op de topstanden.

Volgens dit lozingsprogramma, waarvan de doeleinden in 3.0 in het kort zijn aangegeven, zal bij lage bovenafvoeren, bijvoorbeeld kleiner dan  $1600 \text{ m}^3/\text{sec}$ , een hoog peil op het Haringvlietbekken aanwezig zijn. Immers, dan wordt er slechts weinig geloosd, zodat de afvoer van de Noord relatief groot is. Bij hogere opperwaterafvoeren is het peil relatief laag, omdat er dan weinig opperwaterafvoer door de Noord hoeft te worden geleid. Uit bepaalde onderzoeken is gebleken <sup>2)</sup>, dat in het geval van gemiddelde getijbeweging in zee bij een tussenliggende toestand, waarbij de Rijnafoer gelijk is aan  $3200 \text{ m}^3/\text{sec}$ , het laagste peil op het Haringvlietbekken zal optreden. Is de afvoer groter, dan wordt het peil weer hoger.

<sup>1)</sup> Zie deel 1.

<sup>2)</sup> Zie Bijdrage IV.4.



Figuur 6.6.1. Betrekking Rijnafvoer te Lobith en H.W.-standen te Dordrecht bij verschillende H.W.-standen te Hoek van Holland na uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas en met de Brabantse Biesbos, de Noordbrabantse oever en de Zuidhollandse Biesbos stormvloedvrij, naar gegevens, verkregen uit modelproeven

Het lozingsprogramma is dus van invloed op de betrekkinglijnen van de H.W.-standen in het noordelijk deltagebied. Dit blijkt duidelijk uit de betrekkinglijnen voor Dordrecht (figuur 6.6.1). Als het uitgangspeil op het Haringvliet hoger wordt, is dat ook het geval met de H.W.-standen te Dordrecht en omgekeerd. De reeds vermelde variaties in het peil op het Haringvliet bij variabele bovenafvoer zijn dan ook in figuur 6.6.1 terug te vinden.

Bij een hoger gemiddeld zeeniveau zal ook het peil op het Haringvliet hoger moeten zijn om de afvoer van Waal- en Maaswater door de Noord te kunnen handhaven. Voor het bereiken van zo laag mogelijke S.V.-standen in het noordelijke deltagebied is het derhalve gewenst om het lozingsprogramma vóór de voorspelde S.V.-stand te wijzigen en het uitgangspeil te verlagen, door tijdig tevoren de afvoer door de Haringvlietsluizen te vergroten of eventueel water af te laten naar het Zeeuwse Meer.

De berekende overschrijdingskromme te Dordrecht is ook in figuur 6.5.1 weergegeven. Volgens deze rechte lijn d behoort bij een jaaroverschrijdingsfrequentie van  $10^{-5}$  een maatgevende S.V.-stand van N.A.P. + 425 cm, terwijl deze bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken volgens lijn c N.A.P. + 530 cm bedraagt. Hierbij blijkt de gunstige invloed van de deltawerken op de S.V.-standen te Dordrecht. De respectieve waarden bij een jaaroverschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$  zijn N.A.P. + 375 cm en N.A.P. + 480 cm.

In de figuren 6.6.2 en 6.6.3 zijn ook de berekende jaaroverschrijdingskrommen voor andere plaatsen in het deltagebied weergegeven, zowel vóór als na de uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas.

De krommen voor de toestand na uitvoering van de deltawerken zijn voor de andere plaatsen minder nauwkeurig berekend dan die voor Dordrecht. Bij deze berekeningen werd nl. minder rekening gehouden met het uitgangspeil op het Haringvlietbekken. Om een indruk te krijgen van de verschillen, die kunnen optreden door deze meer globale werkwijze, is in figuur 6.6.3 ook de overschrijdingskromme te Dordrecht weergegeven, die op dezelfde wijze berekend werd als die voor de overige peilschaalstations (vergelijk figuur 6.5.1 en figuur 6.6.3).

Inzake de betrouwbaarheid van de berekende jaaroverschrijdingskromme te Dordrecht kan, voor zover de onzekerheid betrekking heeft op de toegepaste gegevens van de overschrijdingen te Hoek van Holland en de Rijnafoeren, worden verwezen naar hetgeen hierover is gezegd bij de berekening van de overschrijdingskromme voor de toestand vóór de uitvoering van de werken (zie 6.5.2).

Over de betrouwbaarheid van de uit de modelproeven bepaalde betrekkinglijnen voor Dordrecht na uitvoering van het Deltaplan, wordt in de volgende paragraaf nog nader gesproken.

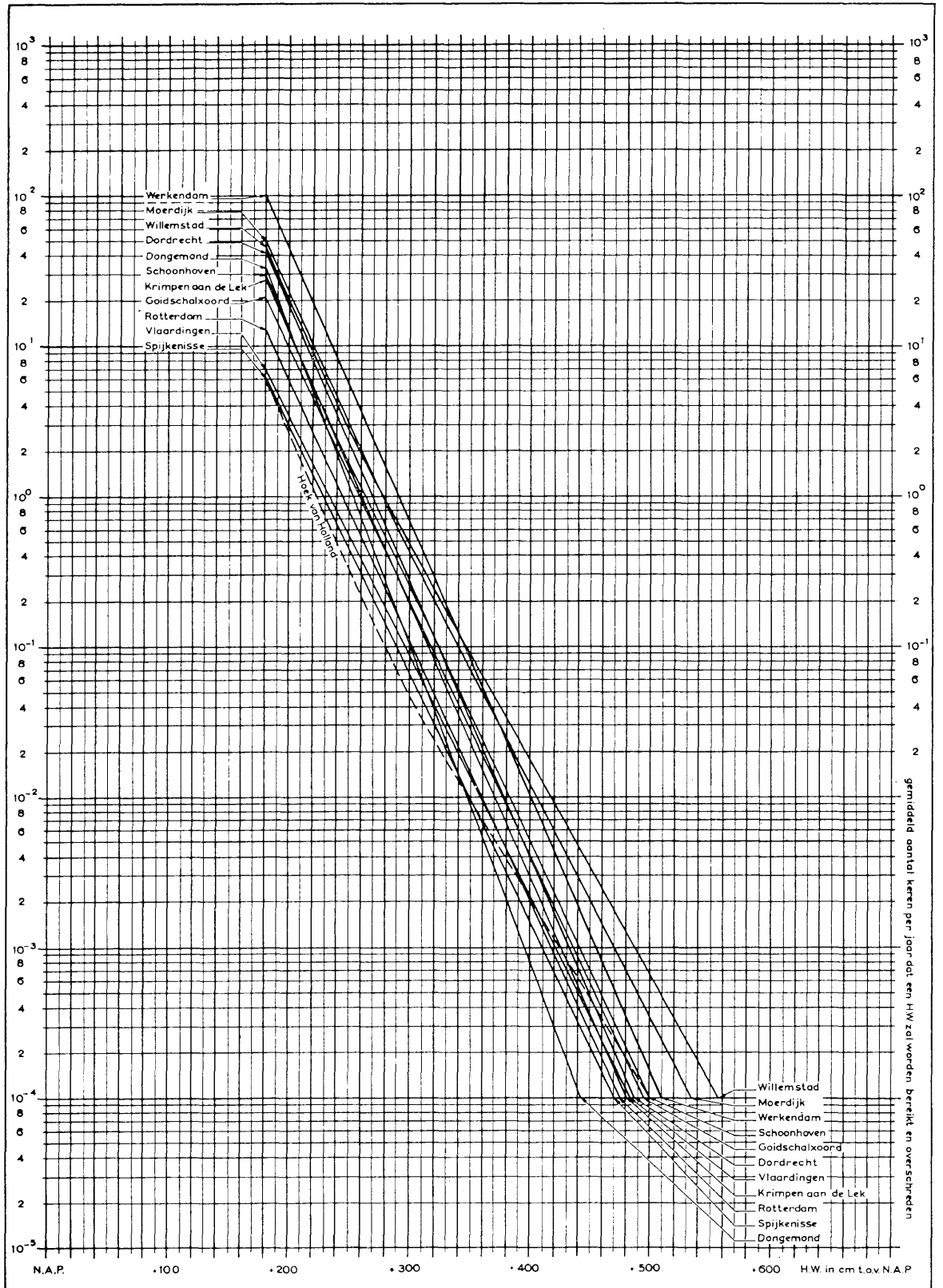
#### 6.6.2 *De betrouwbaarheid van de met behulp van hydraulische modelproeven bepaalde betrekkinglijnen na uitvoering van het Deltaplan*

De betrekkinglijnen, die voor Dordrecht werden bepaald voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken, respectievelijk uit de empirische gegevens en uit de modelproeven, verschillen niet in belangrijke mate (zie de figuren 6.2.9 en 6.2.10). Het is de vraag of de betrekkinglijnen, die werden verkregen uit modelproeven voor de toestand na uitvoering van het Deltaplan ook voldoende representatief zijn voor deze toestand. Daar deze modelproeven uit een betrekkelijk gering aantal bestonden, is dit minder zeker, vooral in verband met de mogelijke variaties in het uitgangspeil in het Haringvlietbekken. Als nl. vóór de stormvloed getracht wordt het uitgangspeil zo laag mogelijk te krijgen door dan af te wijken van het programma ten behoeve van de zoetwaterhuishouding, zullen de S.V.-standen bijvoorbeeld te Dordrecht lager zijn dan volgens de in figuur 6.6.1 weergegeven betrekkinglijnen.

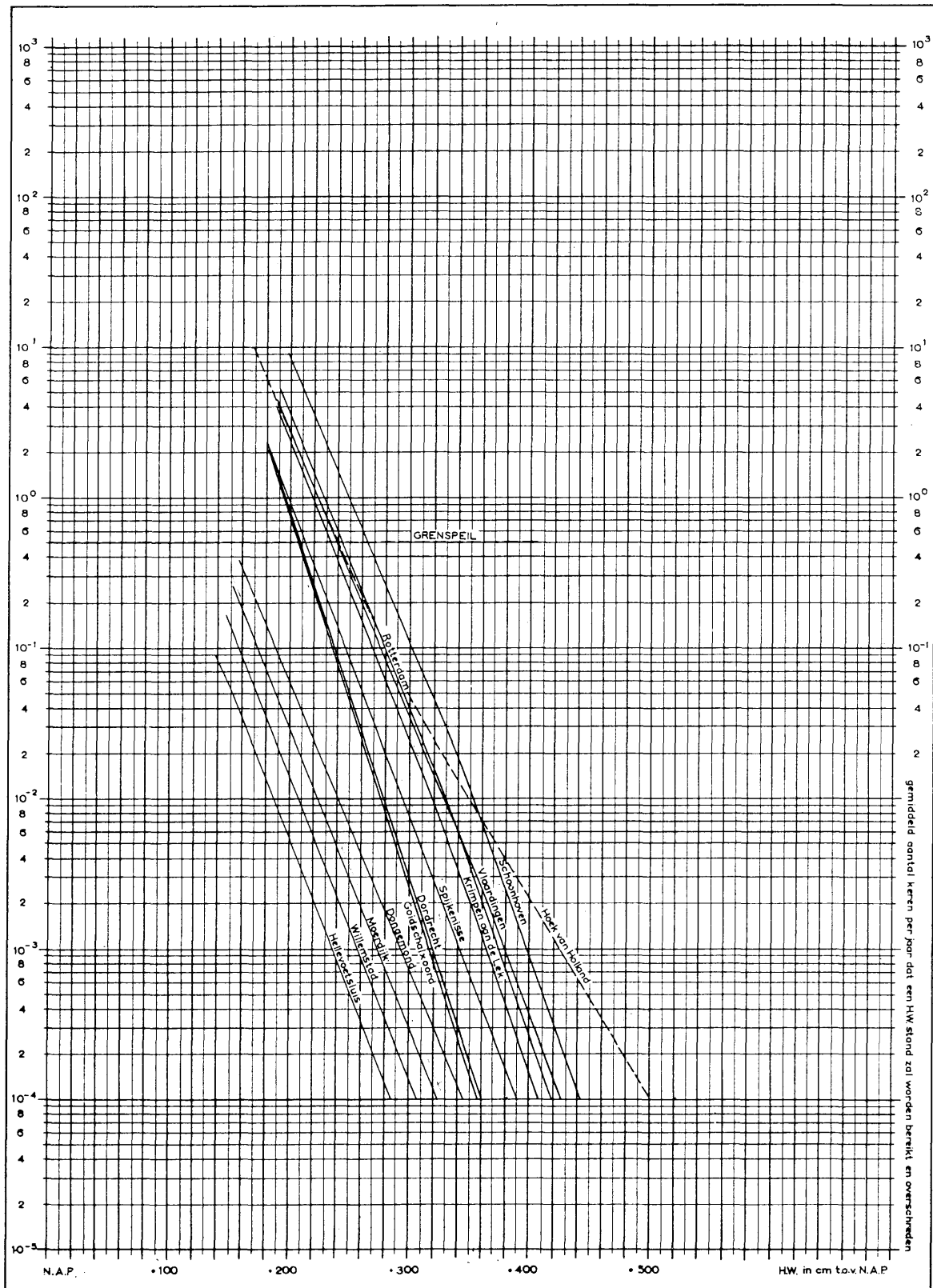
Uiteraard kan dit uitgangspeil niet volledig worden beheerst, maar zal dit toch gedeeltelijk afhankelijk blijven van het getij, dat aan de stormvloed voorafgaat. Bij een lager voorafgaand L.W. zal het uitgangspeil in het algemeen ook lager zijn dan bij een hoger voorafgaand L.W. Dit is in mindere of meerdere mate merkbaar in de S.V.-stand te Dordrecht. Dit blijkt bijvoorbeeld als het L.W. te Hoek van Holland en dus ook in het Zeegat van Goeree, dat onmiddellijk aan de stormvloed voorafgaat, hoger wordt aangenomen. Wordt dit L.W. te Hoek van Holland bijvoorbeeld 30 cm hoger, dan wordt de S.V.-stand te Dordrecht 20 cm hoger bij de toestand na uitvoering van het Deltaplan.

Zo waren de aan de stormen voorafgaande L.W.-standen in de periode 1905–1955 gemiddeld 40 cm hoger dan het gemiddelde L.W. Hierin komen dan variaties voor van — 30 cm tot + 140 cm, hetgeen belangrijke gevolgen kan hebben voor de S.V.-standen te Dordrecht en andere stations.

Met deze mogelijkheden is bij de constructie van de betrekkinglijnen geen rekening gehouden.



Figuur 6.6.2. Gemiddelde overschrijdingskrommen per jaar voor H.W.-standen, hoger dan N.A.P. + 200 cm, voor verschillende peilschaalstations in het deltagebied voor de toestand vóór de uitvoering van de delta-werken, berekend uit gegevens van modelproeven



Figuur 6.6.3. Gemiddelde overschrijdingskrommen per jaar voor H.W.-standen, hoger dan N.A.P. + 200 cm, voor verschillende peilschaalstations in het deltagebied na uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas en met de Brabantse Biesbos, de Noordbrabantse oever en de Zuidhollandse Biesbos stormvloedvrij, berekend uit gegevens van modelproeven



## 7.0 DE VERHOOGING VAN DE VEILIGHEID TEN GEVOLGE VAN DE UITVOERING VAN HET DELTAPLAN

In tabel 7.0.1, die veel overeenkomst vertoont met tabel 5.1.2 van het Eindverslag van de Delta-commissie, worden in kolom 1 en 2 de S.V.-standen met een overschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$  opgegeven voor peilschaalstations benoorden de dam door het Hellegat, zowel voor de toestand vóór als na de uitvoering van de deltawerken. Voor beide gevallen is daarom voor de S.V.-stand te Hoek van Holland dezelfde waarde aangenomen, nl. N.A.P. + 500 cm.

Hoewel de stormvloeden niet meer kunnen doordringen in het Zeeuwse Meer, kunnen daar schommelingen in het normale peil optreden als gevolg van windefecten en regeling van de waterstanden voor de zoetwaterhuishouding. Eventueel kunnen de waterstanden ook hoger worden, als door sluizen in de Hellegatdam water wordt ingelaten op het Zeeuwse Meer bij een storm, die samenvalt met een hoge opperwaterafvoer.

De veiligheid in het gebied van het Zeeuwse Meer kan echter als volledig worden beschouwd en door de bovengenoemde invloeden niet worden bedreigd. Voor het deltagebied benoorden de dam door het Hellegat kan uiteraard niet van een volkomen veilig gebied worden gesproken, hoewel de S.V.-standen aanmerkelijk worden verlaagd.

De verlagingen, die de S.V.-standen met een jaaroverschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$  zullen ondergaan door de uitvoering van het Deltaplan, zijn in kolom 3 van tabel 7.0.1 opgegeven.

Ter vergelijking zijn in kolom 4 ook de overschrijdingsfrequenties opgegeven voor de in kolom 2 aangegeven maatgevende S.V.-standen na uitvoering van het Deltaplan, indien dan toch bij de verschillende plaatsen de overschrijdingskrommen voor de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken zouden gelden.

In kolom 5 zijn de verhoudingen vermeld van deze overschrijdingsfrequenties en de overschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$ .

De S.V.-standen van kolom 2 zijn bepaald met behulp van de daarvoor geconstrueerde overschrijdingskrommen (zie 6.6.1).

Tabel 7.0.1

H.W.-standen in het deltagebied en de toeneming van de veiligheid door de uitvoering van het Deltaplan

Plaats	Peilen voor de toestand vóór de uitvoering van het Deltaplan met een overschrijdingsfrequentie van $10^{-4}$ in cm boven N.A.P.	Peilen voor de toestand na de uitvoering van het Deltaplan met een overschrijdingsfrequentie van $10^{-4}$ (basispeilen) in cm boven N.A.P.	Verandering in de peilen ten gevolge van de uitvoering van het Deltaplan in cm	Overschrijdingsfrequentie van de peilen uit kolom 2 volgens de overschrijdingskrommen voor de toestand vóór de uitvoering van het Deltaplan	Verhouding van de overschrijdingsfrequentie uit kolom 4 en de overschrijdingsfrequentie $10^{-4}$
	1	2	3	4	5
Hoek van Holland . . . . .	500	500	0	$1 \cdot 10^{-4}$	1
Vlaardingen . . . . .	480	430	— 50	$7 \cdot 10^{-4}$	7
Rotterdam . . . . .	480	420	— 60	$9 \cdot 10^{-4}$	9
Krimpen aan de Lek . . . . .	480	410	— 70	$19 \cdot 10^{-4}$	19
Spijkenisse . . . . .	470	390	— 80	$21 \cdot 10^{-4}$	21
Goidschalxoord . . . . .	500	360	— 140	$190 \cdot 10^{-4}$	190
Dordrecht . . . . .	490	360	— 130	$220 \cdot 10^{-4}$	220
Werkendam . . . . .	510 <sup>1)</sup>	510	0	$1 \cdot 10^{-4}$	1
Hellevoetsluis . . . . .	520	290	— 230	$3\,200 \cdot 10^{-4}$	3 200
Willemstad . . . . .	560	310	— 250	$3\,300 \cdot 10^{-4}$	3 300
Moerdijk . . . . .	530	320	— 210	$2\,000 \cdot 10^{-4}$	2 000
Mond der Donge . . . . .	440	340	— 100	$150 \cdot 10^{-4}$	150
Schoonhoven . . . . .	500	445	— 55	$8 \cdot 10^{-4}$	8

<sup>1)</sup> Het hier opgegeven peil wijkt aanzienlijk af van het peil, opgegeven in het Vijfde Interimadvies, tabel 1, als gevolg van de verschillende extrapolatie van de afvoerkromme te Lobith. Vroeger werd een maximale afvoer van de Rijn aangehouden van  $17\,500 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Thans blijkt, dat de afvoeren aanzienlijk groter kunnen zijn (zie 6.2 en figuur 6.2.8).

Omdat de S.V.-stand met een overschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$  te Hoek van Holland zowel vóór als na het Deltaplan dezelfde is, is deze verhouding daar 1. De Rotterdamse Waterweg opgaande, neemt deze verhouding in vergelijking met die, welke voor peilschaalstations langs Haringvliet en Hollands Diep gevonden worden, maar in geringe mate toe. Dit betekent dus, dat langs Haringvliet en Hollands Diep de veiligheid in veel sterkere mate toeneemt dan langs de Rotterdamse Waterweg.

Bij Dordrecht is dit verhoudingsgetal ca. 220, d.w.z., dat bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken het toekomstige basispeil gemiddeld 220 maal in de 10 000 jaar zou worden overschreden in plaats van éénmaal in deze periode na uitvoering van de deltawerken. Voor Moerdijk, Willemstad en Hellevoetsluis zijn deze verhoudingsgetallen resp. ca. 2000, 3300 en 3200.

Bij Mond der Donge is dit verhoudingsgetal ca. 150, hoewel de oever van Noord-Brabant en de Brabantse Biesbos stormvloedvrij zijn.

Stroomopwaarts op de Boven-Merwede en de Waal vanaf Werkendam wordt het verhoudingsgetal weer 1, omdat daar de hoogste waterstand met overschrijdingsfrequentie van  $10^{-4}$  geheel door de oppervlaktewaterafvoer wordt bepaald. Hetzelfde geldt voor de plaatsen aan de Lek en de Maas, die voldoende ver rivieropwaarts zijn gelegen.

## **8.0 DE S.V.-STANDEN GEDURENDE DE UITVOERING VAN HET DELTAPLAN**

### **8.1 Inleiding**

De wijze, waarop het Deltaplan moet worden gerealiseerd, is ook afhankelijk van het verloop van de S.V.-standen in de verschillende stadia van de uitvoering, waarbij hun veranderingen niet te ongunstig mogen zijn.

De volgende vraagstukken doen zich hierbij voor:

1. Welke invloed heeft de bouw van de Grevelingendam op de S.V.-standen in het aangrenzende gebied?
2. Wat zijn de gevolgen van het sluiten van de Haringvlietsluizen gedurende een stormvloed bij open Hellegat?
3. Welke gevolgen heeft de afsluiting van het Hellegat voor de S.V.-standen ten zuiden en, zolang het Haringvliet nog open is, ook ten noorden van deze afsluiting?

### **8.2 Stormvloedverhogingen westelijk van de Grevelingendam bij open Brouwershavense Gat**

Door de bouw van de Grevelingendam wordt het bekken van het Brouwershavense Gat en de Grevelingen gescheiden van Keten—Mastgat—Zijpe—Krammer—Volkerak. Ten westen van de Grevelingendam ontstaat dan een toestand, waarbij de stormvloed oploopt tegen deze dam en zich niet meer doet gevoelen in de ten oosten daarvan gelegen wateren. In het geval van de S.V.-stand, overeenkomend met een stand te Hoek van Holland van N.A.P. + 500 cm, waarbij een S.V.-stand te Brouwershaven behoort van N.A.P. + 530 cm, kan de S.V.-stand bij de Grevelingendam met 20 à 30 cm toenemen en een hoogte krijgen van N.A.P. + 550 à 560 cm. Uiteraard is deze verhoging afhankelijk van de vorm van de stormvloedkromme. Bij een steiler verloop direct vóór de top zal deze verhoging groter zijn. Uit onderzoekingen is gebleken, dat een verhoging van 40 cm wel het uiterste is dat verwacht kan worden.

### **8.3 Stormvloedverlagingen oostelijk van de Grevelingendam bij open Hellegat, open Oosterschelde en respectievelijk open en gesloten Haringvliet**

In de wateren ten oosten van de Grevelingendam wordt de toestand bepaald door de voortplanting van de stormvloed vanuit de Oosterschelde en het Haringvliet, zolang deze niet zijn afgesloten. Na de aanleg van de Grevelingendam zullen de S.V.-standen in Keten—Mastgat—Zijpe—Krammer—Volkerak een weinig dalen, waarbij gedacht moet worden aan een verlaging van hoogstens 10 à 15 cm. Ter plaatse van de dam is de verlaging het grootst.

Voor het gebied, noordelijk van het Hellegat, is de invloed van de Grevelingendam van geen praktische betekenis zolang de dam in het Haringvliet nog niet aanwezig is.

Als na voltooiing van deze dam de Haringvlietsluizen bij storm worden gesloten, wordt de toestand ingrijpend gewijzigd. De S.V.-standen in Keten—Mastgat—Zijpe—Krammer—Volkerak dalen dan belangrijk, waarbij de daling in de richting van het Haringvliet toeneemt. In het Keten is bij een stormvloed van het type 1953 de daling ongeveer 50 cm t.o.v. de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken, in het Zijpe, de Krammer en het Volkerak resp. 75, 100 en 120 cm. Hieruit blijkt, dat tijdens een stormvloed het verhang in de richting van het Haringvliet groot kan zijn. Hierbij kunnen stroomsnelheden in de orde van grootte van 250 cm/sec of meer optreden. Deze zijn veel groter dan bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken. Hierdoor kunnen zandverplaatsingen, speciaal in het gebied van het Slaak, de Krammer en het Volkerak ontstaan, waardoor deze zullen verruimen.

Indien in de loop der jaren dit proces zich zodanig voortgezet zal hebben, dat de verruiming van het Slaak, de Krammer en het Volkerak belangrijk zijn geworden, dan zullen ook bij de dagelijkse getijbeweging de snelheden toenemen. Dan wordt ook de verlagende invloed op de S.V.-standen bij sluiting van de Haringvlietsluizen geringer.

De sluiting van de Haringvlietsluizen bij storm heeft ook belangrijke gevolgen voor het noordelijke deel van het deltagebied. Bij Willemstad is de verlaging van de S.V.-stand ca. 120 cm, bij Moerdijk ca. 90 cm, bij Dordrecht ca. 50 cm en bij Krimpen aan de Lek ca. 25 cm.

#### **8.4 Stormvloedverhogingen oostelijk van de Grevelingendam bij gesloten Hellegat en open Oosterschelde**

Als zowel het Hellegat als de Grevelingen zijn gesloten, ontstaat een waterloopkundig eenvoudiger toestand in het gebied van Keten—Mastgat—Zijpe—Krammer—Volkerak.

Voor de getijwateren ten zuiden van de dam in het Hellegat is dan het effect op de S.V.-standen tegengesteld aan dat bij open Hellegat en gesloten Haringvlietsluizen. De S.V.-standen worden belangrijk hoger in vergelijking met die bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken.

De verhogingen ten opzichte van deze toestand bedragen in het geval van een stormvloed van het type 1953 achtereenvolgens voor het Keten ca. 10 cm, voor het Zijpe ca. 20 cm, voor de Grevelingen ca. 30 cm en voor het Volkerak ca. 70 cm (bij Dintelsas). De verhoging bij de dam zelf zal ongeveer 90 cm zijn.

Voor het noordelijke deel van het deltagebied is bij deze toestand het Deltaplan echter volledig gerealiseerd en zijn de verlagingen van de S.V.-standen maximaal (zie 5.3).

### **9.0 DE INVLOED VAN VERSCHILLENDE DOOR DE DELTACOMMISSIE IN OVERWEGING GENOMEN MAATREGELEN OP DE VEILIGHEID IN HET NOORDELIJK DELTAGEBIED**

#### **9.1 Inleiding**

In de voorgaande hoofdstukken werd voor de toestand na de uitvoering van de afsluitwerken in het deltagebied verondersteld, dat de bodemfiguratie en de breedte van de rivieren gelijk zullen zijn aan die bij de toestand vóór uitvoering van deze werken. Voorts zijn de Oude Maas bij stormvloed open en de Brabantse Biesbos en Zuidhollandse Biesbos watervrij verondersteld, evenals het oevergebied van Noord-Brabant.

In dit hoofdstuk wordt de invloed op de S.V.-standen behandeld van verschillende werken, die in het kader van het Deltaplan in het noordelijke deltagebied zijn of worden uitgevoerd of waarvan de uitvoering nog een punt van discussie uitmaakt. Ook wordt aangegeven op grond waarvan bepaalde werken niet worden uitgevoerd.

#### **9.2 De invloed van de afdamming van de Oude Maas**

Uitgebreide onderzoeken zijn uitgevoerd om bij een stormvloed de invloed van een eventuele afsluiting van de Oude Maas bij het splitsingspunt met de Nieuwe Maas op de S.V.-standen van het deltagebied te bepalen.

Daar deze S.V.-standen ook afhankelijk zijn van de oppervlaktewaterafvoer, zijn modelproeven uitgevoerd met verschillende typen van stormvloeden en variërende Rijnafvoeren, nl.:

## 1. Stormvloeden met hoge afvoer

Hierbij werden de stormvloeden, voorgekomen in 1895, 1953 en die van december 1954, gecombineerd met hoge Rijnafoeren, resp. 5000, 10 000 en 15 000 m<sup>3</sup>/sec. De Haringvlietsluizen waren dan gesloten tijdens vloed en geopend tijdens eb met een opening van 6000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P.

Opgemerkt wordt, dat de stormvloed van 1895 een langdurige storm was met een niet bijzonder hoge S.V.-stand. De zg. tweelingstorm van december 1954 had belangrijk hogere S.V.-standen. De storm van 1953 was een stormvloed met een tot nu toe hoogst voorgekomen S.V.-stand in Zuidwest-Nederland.

## 2. Hypothetische stormvloeden

Voorts werden twee hypothetische stormvloeden beschouwd, nl. één met een S.V.-stand te Hoek van Holland van N.A.P. + 400 cm, gecombineerd met een Rijnafoer van 2300 m<sup>3</sup>/sec, en één met een S.V.-stand te Hoek van Holland van N.A.P. + 500 cm, gecombineerd met een Rijnafoer van 3000 m<sup>3</sup>/sec. Bij de eerstgenoemde stormvloed werd in verband met het uitgangspeil op het Haringvliet verondersteld, dat bij het voorafgaande getij vóór het begin van de stormvloed de opening van de Haringvlietsluizen 430 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. bij open Oude Maas en 500 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. bij gesloten Oude Maas bedroeg. Bij de laatstgenoemde stormvloed waren de overeenkomstige sluisopeningen resp. 800 en 925 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. Dit in verband met de hogere afvoer.

Ten slotte werd de stormvloed met een stand van N.A.P. + 400 cm te Hoek van Holland en een gemiddelde Rijnafoer (2300 m<sup>3</sup>/sec) beschouwd voor het geval, dat gedurende het voorafgaande getij de Haringvlietsluizen open stonden (opening 6000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P.), omdat ijs moest worden afgevoerd.

In tabel 9.2.1 zijn voor verschillende plaatsen de veranderingen in de S.V.-standen opgegeven, die in de sub 1 en 2 genoemde gevallen door het afsluiten van de Oude Maas bij de benedenmond zouden voorkomen.

De veranderingen in de S.V.-standen blijken geringer te worden naarmate de bovenafvoer toeneemt. De grootste veranderingen treden op bij het samengaan van matige tot lage afvoeren en zeer hoge stormvloeden.

Tabel 9.2.1

Veranderingen van de S.V.-standen in cm en afgerond op 5 cm, volgens modelproeven na uitvoering van het Delta-plan, bij verschillende typen van stormvloeden, gecombineerd met diverse Rijnafoeren, als gevolg van de afdamming van de Oude Maas nabij de Westgeul

	Stormvloed 1953			Stormvloed december 1954			Stormvloed 1895			S.V.-stand te Hoek van Holland N.A.P. + 400 cm		S.V.-stand te Hoek van Holland N.A.P. + 500 cm
	5 000	10 000	15 000	5 000	10 000	15 000	5 000	10 000	15 000	2 300	2 300	3 000
Rijnafoer in m <sup>3</sup> /sec	5 000	10 000	15 000	5 000	10 000	15 000	5 000	10 000	15 000	2 300	2 300	3 000
Opening Haringvlietsluizen in m <sup>2</sup> beneden N.A.P. bij maximale lozing <sup>2)</sup>	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	430	6 000	800
										à	<sup>1)</sup>	à
										500		925
Rotterdam . . . . .	+ 25	+ 15	+ 5	+ 30	+ 15	+ 5	+ 15	+ 15	+ 0	+ 40	+ 35	+ 50
Krimpen aan de Lek . . . . .	+ 10	+ 5	— 0	+ 25	+ 10	+ 5	+ 10	+ 10	+ 5	+ 20	+ 15	+ 35
Goidschalxoord . . . . .	— 80	— 30	+ 5	— 50	— 25	— 10	— 20	0	+ 10	— 135	— 160	— 175
Dordrecht . . . . .	— 50	— 20	— 5	— 40	— 20	— 20	— 20	— 10	— 5	— 70	— 90	— 80
Moerdijk . . . . .	— 30	— 35	— 5	— 0	— 15	— 10	— 0	+ 15	— 0	— 25	— 35	— 40
Willemstad . . . . .	— 30	— 15	+ 5	— 5	— 10	+ 0	— 5	+ 15	+ 10	— 35	— 30	— 45
Hellevoetsluis . . . . .	— 30	— 10	+ 5	— 0	— 5	— 5	— 10	+ 5	+ 10	— 40	— 20	— 45

<sup>1)</sup> De sluisen staan gedurende het voorafgaande normale getij geheel open („ijstoestand”), maar gaan dicht bij stormvloed.

<sup>2)</sup> Maximale lozing betekent, dat er bij alle omstandigheden geloosd wordt, zodra het water buiten lager wordt dan binnen.

Duidelijk blijkt, dat vanwege het vervallen van de stroming naar de Oude Maas bij de Westgeul, de afsluiting van deze rivier een verhoging van de S.V.-standen veroorzaakt op de Nieuwe Maas. Deze verhoging neemt in stroomopwaartse richting af. Bij de beschouwde plaatsen langs de overige rivieren komen daarentegen in het algemeen verlagingen voor. Deze zijn uiteraard het belangrijkste op de Oude Maas zelf, daar de vulling van deze rivier nu vanuit de richting Dordrecht moet plaats hebben.

### **9.3 De invloed van de afsluiting van de Hollandse IJssel**

De afsluiting van de benedenmond van de Hollandse IJssel bij storm met behulp van de daar gebouwde stormvloedkering heeft geen stormvloedverhoging ten gevolge, wat bij de afsluiting van de Oude Maas wel het geval is. Uit modelproeven en berekeningen is zelfs gebleken, dat tegen de verwachting in de afsluiting van de Hollandse IJssel in haar omgeving op de Nieuwe Maas een verlaging van enige cm kan teweegbrengen. Dit onverwachte effect wordt vermoedelijk veroorzaakt door de onderlinge veranderingen in de fasen van de horizontale getijden op de beide rivieren.

### **9.4 De invloed op de stormvloedstanden op de Oude Maas, de Nieuwe Maas en de Noord, als het Spui in de bovenmond wordt afgedamd bij de toestand na uitvoering van de deltawerken**

De afdamming van de bovenmond van het Spui is vooral van belang voor de S.V.-standen op de Oude Maas. Bij hoge stormvloeden (S.V.-stand te Hoek van Holland N.A.P. + 400 cm of meer) wordt dan de S.V.-stand te Goidschaloord ongeveer 40 cm hoger in vergelijking met die bij de toestand na de uitvoering van de deltawerken.

Bij Dordrecht zal de verhoging hoogstens 20 cm bedragen en te Alblasterdam 15 cm. Op de Rotterdamse Waterweg kunnen verhogingen voorkomen van ongeveer 10 cm. De grote verhogingen op de Oude Maas zijn het gevolg van het vervallen van de stroming van de Oude Maas naar het Haringvlietbekken via het Spui. Door het sluiten van de Haringvlietssluisen bij storm worden immers op het Haringvlietbekken de waterstanden sterk verlaagd. Hierdoor ontstaat bij open Spui een belangrijke stroming van de Oude Maas naar dit Haringvlietbekken.

### **9.5 De invloed van stormvloedkeringen in de benedenmonden van de Lek, de Noord en de Oude Maas op de S.V.-standen op de Rotterdamse Waterweg**

Volgens 5.3 heeft de afsluiting van het Haringvliet, vooral voor de S.V.-standen op Noord, Dordtse Kil, Beneden-Merwede en Haringvliet, zeer gunstige gevolgen. Indien echter stormvloedkeringen zouden worden gebouwd in de benedenmonden van Lek, Noord en Oude Maas, zou bij sluiting van deze keringen bij storm het gebied van de bovengenoemde rivieren nog veiliger worden. Hierdoor zouden echter de S.V.-standen op de Rotterdamse Waterweg, die bij een S.V.-stand van N.A.P. + 500 cm te Hoek van Holland door de afsluiting van de Oude Maas bij het splitsingspunt met de Nieuwe Maas te Rotterdam reeds met ongeveer 50 cm toenemen t.o.v. de S.V.-standen bij het Deltaplan met open Oude Maas, nog verder stijgen (zie tabel 9.2.1). De totale stijging ten gevolge van de sluiting van genoemde stormvloedkeringen t.o.v. de toestand met het Deltaplan en open Oude Maas zou bij Vlaardingen 55 cm bedragen, bij Rotterdam 85 cm en bij Krimpen aan de Lek 100 cm.

Ook bij een stormvloed als in 1953 is voorgekomen, zouden de verhogingen t.o.v. de waargenomen S.V.-standen aanzienlijk zijn, nl. te Vlaardingen 55 cm, te Rotterdam 70 cm en te Krimpen aan de Lek 80 cm.

Door deze maatregelen zou dus de veiligheid van de gebieden, die aan de Rotterdamse Waterweg grenzen en die economisch van zeer grote betekenis zijn, belangrijk afnemen in vergelijking met de veiligheid in het overige deltagebied, dat toch al door de overige deltawerken in belangrijke mate veilig wordt gesteld.

### **9.6 De invloed, die het aflaten op het Zeeuwse Meer via de inlaatsluizen in de Hellegatdam tijdens een hoge stormvloed, samenvallend met een hoge Rijnafvoer, uitoeft op de S.V.-standen**

Alhoewel het Deltaplan een belangrijke verlagende invloed heeft op de S.V.-standen, blijft het uiteraard mogelijk, dat in het deltagebied hogere standen dan bij de bestaande toestand ooit zijn voorgekomen, kunnen optreden, vooral bij samenvallen van een hoge stormvloed en hoge afvoeren. De

overschrijdingsfrequentie van dergelijke hoge standen na uitvoering van het Deltaplan is uiteraard nog veel kleiner dan  $10^{-4}$ .

Het is echter mogelijk, dat in de toekomst het bergend oppervlak van het Haringvlietbekken kleiner wordt door de aanleg van havens en inpolderingen. Dit zou men kunnen compenseren door het aflaten van water naar het Zeeuwse Meer tijdens de storm. Ook om de veiligheid in de omgeving van Dordrecht verder te vergroten, zou men dit hulpmiddel kunnen overwegen.

Om in deze kwestie meer inzicht te krijgen, werden drie stormvloedberekeningen met de methode van de karakteristieken <sup>1)</sup> uitgevoerd. Hierbij werd uitgegaan van de stormvloedkromme te Hoek van Holland, die op 1 februari 1953 ter plaatse is voorgekomen (S.V.-stand N.A.P. + 385 cm), waarbij werd verondersteld, dat een Rijnafvoer van 9700 m<sup>3</sup>/sec zou optreden. Voorts waren de Haringvliet-sluizen gedurende de storm gesloten en was de Oude Maas bij de benedenmond open gedacht.

Bij deze drie berekeningen werd achtereenvolgens verondersteld:

1. Hellegat afgesloten.
2. Een aflatwerk in het Hellegat, dat een breedte heeft van 100 m en een drempelhoogte van 5 m beneden N.A.P.
3. Een aflatwerk in het Hellegat, dat een breedte heeft van 200 m en een drempelhoogte van 5 m beneden N.A.P.

Verder werd een constant peil op het Zeeuwse Meer, nl. N.A.P., aangenomen.

Volgens deze berekeningen werden respectievelijk de volgende S.V.-standen te Dordrecht gevonden: N.A.P. + 385 cm, N.A.P. + 380 cm, N.A.P. + 375 cm.

Uit deze cijfers volgt, dat een aflatwerk in het Hellegat maar een klein verlagend effect heeft op de S.V.-standen te Dordrecht. Op het Haringvliet en het Hollands Diep is het verlagend effect wel belangrijk, zoals uit figuur 9.6.1 blijkt. In deze figuur zijn ook de S.V.-lijnen getekend voor de Nieuwe Maas en de Noord.

Door de kleine profieloppervlakten van de Dordtse Kil t.o.v. die van het Hollands Diep, zijn de verlagingen op het Hollands Diep slechts in geringe mate merkbaar te Dordrecht.

Opgemerkt wordt nog, dat het aflatwerk in het Hellegat zo zou moeten worden geconstrueerd, dat dit bestand is tegen grote stroomsnelheden, opdat het kunstwerk door plaatselijke bodemaantasting niet kan worden beschadigd. Er kunnen nl. grote verschillen optreden in de waterstanden aan weerszijden van het kunstwerk.

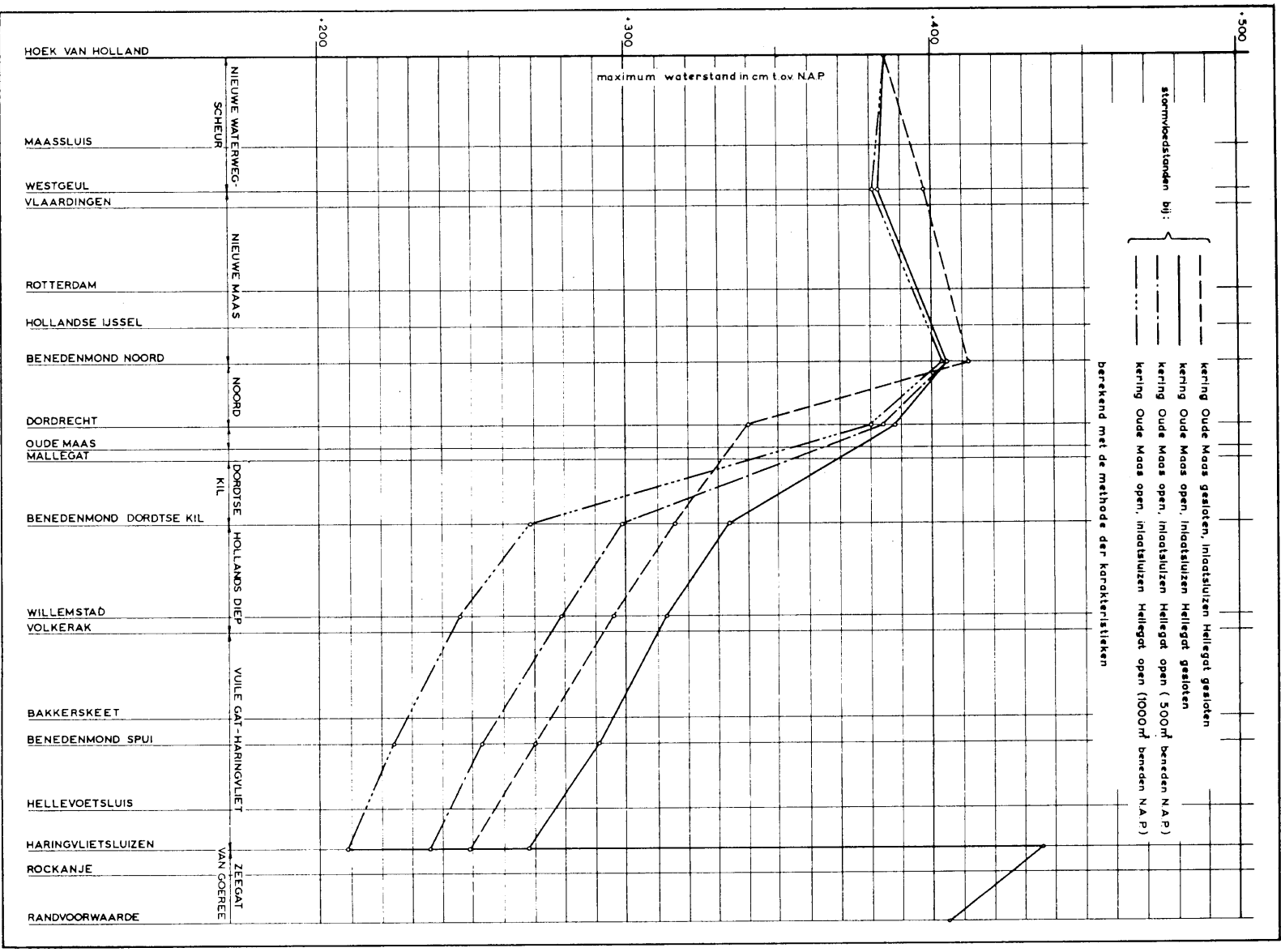
Tabel 9.6.1

S.V.-standen in cm boven N.A.P. te Hoek van Holland, Dordrecht, Moerdijk, Willemstad en Hellevoetsluis na uitvoering van het Deltaplan met open en gesloten Hellegat bij een Rijnafvoer van ca. 2300 m<sup>3</sup>/sec, volgens modelproeven

Plaats	Hellegat open	Hellegat gesloten	Vershil in cm
Hoek van Holland . . .	+ 355	+ 355	— 0
Dordrecht . . . . .	+ 240	+ 255	— 15
Moerdijk . . . . .	+ 105	+ 175	— 70
Willemstad . . . . .	+ 105	+ 165	— 60
Hellevoetsluis . . . . .	+ 105	+ 170	— 65

De invloeden, die in het voorgaande zijn vermeld, zijn ook in overeenstemming met resultaten van hydraulische modelproeven. Bij deze proeven werd uitgegaan van een S.V.-stand te Hoek van Holland van N.A.P. + 355 cm en een Rijnafvoer van 2300 m<sup>3</sup>/sec. Twee gevallen werden beschouwd, waarbij het Hellegat respectievelijk open en gesloten werd verondersteld. Bij het eerste geval staat dan het Haringvlietbekken in open verbinding met het Zeeuwse Meer. De S.V.-standen, die gemeten zijn, zijn in tabel 9.6.1 opgenomen.

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage III.7.



Figuur 9.6.1. Verloop van de S.V.-standen bij een stormvloed in zee als op 1 februari 1953 is voorgekomen, met een Rijnafvoer te Lobith van 9700 m³/sec bij verschillende toestanden na uitvoering van het Deltaplan

### 9.7 Verruiming van de Dordtse Kil

Deze verruiming, die kan worden teweeggebracht door een verbreding of verdieping van de rivier of door beide, zal de S.V.-standen te Dordrecht verlagen, omdat het vloedwater dan gemakkelijker naar het Haringvliet kan worden afgevoerd. Rivierafwaarts op Oude Maas, Noord en Nieuwe Maas zal deze invloed afnemen, evenals rivieropwaarts op de Beneden-Merwede. Op het Haringvliet, het Hollands Diep en de aansluitende wateren zal echter een verhoging in de S.V.-standen optreden, omdat dit bekken, dat vooral gevuld wordt via de Dordtse Kil, nu meer water krijgt toegevoerd.

Een verruiming van de Dordtse Kil heeft ook tot gevolg, dat de opperwaterafvoer door deze rivierarm toeneemt in tegenstelling tot die door de Nieuwe Merwede. Dan zal een aflaatwerk in het Hellegat, dat beschouwd is in de vorige paragraaf, een gunstiger effect op de S.V.-stand te Dordrecht kunnen hebben.

### 9.8 Verruiming van de Noord

Voor een verbetering van de vaart op deze scheepvaartweg zal het vermoedelijk gewenst zijn om haar te verbreden. Dan zullen de S.V.-standen te Dordrecht en ook die van de plaatsen, die aan de waterwegen ten zuiden van Dordrecht en aan de Beneden-Merwede gelegen zijn, een kleine verhoging ondergaan. Op de Nieuwe Maas en op de Lek zal daarentegen een kleine verlaging in de S.V.-standen optreden, omdat meer vloedwater naar het Haringvliet wordt afgevoerd. Anderzijds zullen bij een hoge opperwaterafvoer de H.W.-standen te Dordrecht door een betere afvoer naar zee lager worden. Daar de hoge S.V.-standen te Dordrecht vooral bepaald worden door de stormvloeden, zal dit effect echter van ondergeschikte betekenis zijn.

### 9.9 Bedijking Brabantse Biesbos

Omtrent de aanleg van een stormvloedvrije ringdijk om de Brabantse Biesbos en de Zuidhollandse Biesbos wordt het volgende opgemerkt. Bij de uitgevoerde modelproeven en berekeningen werden deze ringdijken aanwezig verondersteld. De S.V.-standen in deze omgeving worden dan hoger dan in het geval zonder ringdijk. Indien na de uitvoering van het Deltaplan overgegaan wordt tot watervrijmaking van de afzonderlijke polders in de genoemde gebieden, blijven de buitendijkse gronden een onderdeel uitmaken van het bergingsgebied van het Hollands Diep en de aangrenzende rivieren, hetgeen een stormvloedverlagend effect heeft.

### 9.10 Normalisatie Haringvliet—Hollands Diep

Vanwege de zeer gewijzigde stromingstoestand op het Haringvliet en het Hollands Diep na de totstandkoming van het Deltaplan zal het misschien gewenst zijn om in de toekomst deze rivierarmen te normaliseren.

Terwijl bij de bestaande toestand deze rivierarmen getijrivieren zijn, zullen ze in de toekomst het karakter krijgen van een bovenrivier. Dan zal de waterbeweging, die het gevolg is van de afvoer belangrijker worden dan die, welke door het getij wordt teweeggebracht. In verband hiermede kan het misschien gewenst zijn om in verband met de ijsafvoer deze rivieren op een nog nader te bepalen wijze te normaliseren. Hierbij zal dan zorg gedragen moeten worden, dat het bergend oppervlak niet op een zodanige manier wordt verkleind, dat de S.V.-standen in belangrijke mate hoger worden. Over de wijze van normalisatie kunnen nog geen nadere mededelingen worden gedaan.

### 9.11 Verbetering van de mond van de Nieuwe Waterweg

In verband met de plannen voor de constructie van havens aan de mond van de Nieuwe Waterweg (Europoort) zal ook de mond van de Nieuwe Waterweg worden verbeterd, zodat een betere toestroming naar de Nieuwe Waterweg zal ontstaan. Hierdoor zullen de S.V.-standen te Hoek van Holland een geringe verhoging ondergaan. Deze verhoging zal vermoedelijk niet meer dan 10 cm bedragen.



## 10.0 DE MAXIMALE STROOMSNELHEDEN IN HET DELTAGEBIED BIJ VERSCHILLENDE TYPEN STORMVLOEDEN EN VERSCHILLENDE RIJNAFVOEREN

Voor een aantal combinaties van hypothetische stormvloed en Rijnafvoeren zijn in tabel 10.0.1 de maximale vloedstroomsnelheden, die kunnen voorkomen vóór het bereiken van de stormvloedstand, vermeld op enkele belangrijke punten van het noordelijk deltagebied, bij uitgevoerd Deltaplan doch met open Oude Maas. Tevens wordt een vergelijking gemaakt met analoge omstandigheden vóór de uitvoering van het Deltaplan.

Geen belangrijke veranderingen zijn er zichtbaar te verwachten op de Nieuwe Maas, de Nieuwe Waterweg en het Spui. Daarentegen nemen tijdens storm de stroomsnelheden op de Noord en op de Oude Maas (vooral in de benedenmond) belangrijk toe in verband met de stroming naar het Haringvlietbekken. Op de Dordtse Kil kunnen, afhankelijk van de afvoer, ook grote snelheden verwacht worden tijdens stormvloed; deze zijn bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken echter ook belangrijk.

Bij hogere afvoeren zullen de stroomsnelheden in het deltagebied uiteraard afnemen, zoals ook uit tabel 10.0.1 blijkt.

Tabel 10.0.1

Gemeten maximale vloodsnelheden in cm/sec, afgerond op veelvouden van 25 cm/sec, bij verschillende typen van stormvloed, gecombineerd met diverse Rijnafvoeren, voor de toestand vóór en voor die na de uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas volgens proeven, uitgevoerd in het hydraulische model van het deltagebied

H.W. te Hoek van Holland in cm boven N.A.P.	+ 500		+ 400		+ 300	
Rijnafvoer te Lobith in m <sup>3</sup> /sec	3 000		8 000		13 000	
	Toestand vóór uitvoering van het Deltaplan	Toestand na uitvoering van het Deltaplan	Toestand vóór uitvoering van het Deltaplan	Toestand na uitvoering van het Deltaplan	Toestand vóór uitvoering van het Deltaplan	Toestand na uitvoering van het Deltaplan
Scheur . . . . .	250	250	225	225	150	125
Nieuwe Maas boven Rotter- dam . . . . .	150	125	100	100	25	25
Oude Maas (Spijkenisse) . .	125	200	100	175	75	75
Oude Maas (Puttershoek) . .	75	100	50	50	25	— 25
Spui (Nieuw-Beijerland) . . .	200	— 200	175	— 150	125	— 100
Noord (Alblasserdam) . . . .	50	125	25	75	0	50
Dordtse Kil (halverwege) . . .	225	— 200	125	— 200	75	— 150

Indien de snelheid met een minteken wordt aangegeven, betekent dit, dat de richting van de snelheid tegengesteld is aan die bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken.

Omdat het in het voorgaande hypothetische stormvloed betreft, werd ook nog nagegaan hoe de omstandigheden worden bij herhaling van een voorgekomen stormvloed. Berekeningen hebben aangetoond, dat een stormvloed als in 1953 is opgetreden, na afsluiting van het Haringvliet, het Volkerak en de Oude Maas, in de Noord een maximale gemiddelde vloodsnelheid zou veroorzaken van 1,4 m/sec (gemeten over het gehele profiel). Midden in de rivier zou daarbij 1,7 m/sec kunnen voorkomen. Indien echter de Oude Maas niet zou zijn afgesloten gedurende de stormvloed, zou de snelheid op de Noord ongeveer tot de helft verminderen.

Het geopend zijn van het kunstwerk in de Oude Maas is dus gunstig voor de snelheden in de Noord. Dit is echter niet het geval voor de snelheden in de Dordtse Kil. Bij open Oude Maas zullen deze nog groter worden dan bij gesloten toestand.

De grootte van de vloodsnelheden in het noordelijk deltagebied is uiteraard mede afhankelijk van de stijgsnelheid van de waterstand te Hoek van Holland vóór het bereiken van de S.V.-stand. Deze

was bij de stormvloed van 1953 relatief klein, nl. 0,45 m/uur; normaal bedraagt deze 0,7 m/uur, terwijl bij de stormvloeden van 1906 en 1928 tot 1 m/uur is voorgekomen en in 1943 zelfs 1,5 m/uur. De gemiddelde stijgsnelheid tussen L.W. en H.W. was toen zelfs 2,5 maal zo groot als in 1953.

Zoals reeds gezegd, zijn ook de afvoeren van invloed op de snelheden. De afvoer in 1953 was echter vrij laag, 1600 m<sup>3</sup>/sec; in 1906 ongeveer 5000 m<sup>3</sup>/sec en in 1928 normaal, nl. 2300 m<sup>3</sup>/sec. In 1943 was deze afvoer weer vrij laag, nl. 1800 m<sup>3</sup>/sec.

Uit deze gegevens blijkt, dat de stormvloed van 1953 gekenmerkt werd door een relatief geringe stijgsnelheid in de periode vóór de stormvloedstand en een lage opperwaterafvoer, waarbij de eerste factor de maximale vloedsnelheden doet verlagen en de tweede een verhogende invloed heeft.

Bij een stormvloed als in 1943 is voorgekomen, zijn echter de omstandigheden veel ongunstiger; zowel de zeer grote stijgsnelheid als de lage opperwaterafvoer zullen grote stroomsnelheden veroorzaken in het deltagebied.

Bij de hypothetische stormvloeden met S.V.-standen van N.A.P. + 400 cm en van N.A.P. + 500 cm te Hoek van Holland, die in de voorafgaande hoofdstukken bij de onderzoeken zijn beschouwd, zijn overeenkomstige stijgsnelheden van de waterstanden in de periode vóór het bereiken van de S.V.-stand aangenomen.

Grote stroomsnelheden behoeven niet alleen bij stormvloeden voor te komen. Bij zeer lage opperwaterafvoeren en getijden, die door meteorologische omstandigheden op de Noordzee belangrijk grotere stijgsnelheden vóór H.W. hebben dan normaal, kunnen grote vloedsnelheden voorkomen. Dan kunnen omstandigheden voorkomen, waarbij schepen hinder van de stroomsnelheden ondervinden.

Ook na de storm kunnen bij dalende waterstanden grotere ebsnelheden voorkomen op Dordtse Kil, Oude Maas, Noord en Nieuwe Maas in vergelijking met de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken.

Een ingewikkeld verloop van de waterstanden in het deltagebied zal optreden als, na het afnemen van de storm, bij het openen van de Haringvlietsluizen, de waterstanden aan weerszijden gelijk zijn. Dit blijkt als volgt. Door de Rijnafoer zal tijdens gestremde lozing de waterstand op het Haringvlietbekken regelmatig stijgen. Na H.W. te Hoek van Holland zullen de waterstanden rivieropwaarts op de Rotterdamse Waterweg dalen. Na ongeveer een uur is de invloed van de daling door de voortplanting van de getijgolf te Dordrecht merkbaar. Hierdoor wordt te Dordrecht de waterstandsverhoging ten gevolge van de afvoer verzwakt, na enige tijd echter zal de daling vanwege het getij overheersen. Deze daling is echter langzamer dan bij de toestand vóór de uitvoering van het Deltaplan. Op het afgesloten Haringvliet zelf zal de daling van de waterstand door de via de Dordtse Kil in het Haringvlietbekken binnendringende getijgolf, uiteraard op latere tijdstippen, optreden. Een of meer uren nadat de getijgolf vanuit Hoek van Holland Dordrecht heeft bereikt, zal de zeespiegel in het Goereese Gat zover zijn gedaald, dat de Haringvlietsluizen kunnen worden geopend. Dan kan ook de getijgolf vanuit het Goereese Gat zich op het Haringvliet voortplanten. Ongeveer een uur later zal de invloed van deze getijgolf te Dordrecht merkbaar zijn, waarna de verlaging van de waterstanden ter plaatse belangrijk gaat toenemen.

Uit het voorgaande volgt, dat na het bereiken van de S.V.-stand te Dordrecht de waterstand in Dordrecht gedurende enkele uren de daling van de zeespiegel minder snel zal volgen dan bij de toestand vóór uitvoering van de deltawerken. Anderzijds zullen de S.V.-standen te Dordrecht door de uitvoering van het Deltaplan lager zijn dan tevoren. Dit zal ook het geval blijven gedurende een bepaald tijdsinterval na het bereiken van de stormvloedstand. Indien echter de afvoer voldoende groot is en de daling van de waterstand in zee snel genoeg plaats heeft, kunnen daarna de waterstanden te Dordrecht hoger blijven dan vóór de uitvoering van de deltawerken. Hierdoor zullen dan grotere vervallen op de verschillende rivierarmen kunnen voorkomen en dus grotere ebsnelheden. Dit kan bijvoorbeeld verwacht worden bij een stormvloed als in 1906 is voorgekomen.

Ten einde de hoge stroomsnelheden, die na de stormvloedstand eventueel kunnen voorkomen, te beperken, zijn vier mogelijkheden aanwezig, nl.:

- a. Zo spoedig mogelijk openen van de Haringvlietsluizen na de hoogste stormvloedstand.
- b. De stormvloedkering, die eventueel in de Oude Maas gebouwd is, zo lang mogelijk open houden.
- c. Verruiming van de Dordtse Kil en de Noord.

d. Aflaten van water op het Zeeuwse Meer.

In hoeverre deze verschillende factoren het bezwaar van de te grote stroomsnelheden kunnen opvangen, zal nog nader onderzocht worden. Het is duidelijk, dat mogelijkheid *a* het meeste effect zal geven.

### A.1.0 APPENDIX

#### A.1.1 Theoretische beschouwing

Als na de afsluiting van Haringvliet en Hellegat bij kleine afvoeren van Rijn en Maas de Haringvlietsluizen gesloten blijven, wordt de getijbeweging in het noordelijk deltagebied alleen bepaald door het getij te Hoek van Holland en de afvoeren van Rijn en Maas. De getijstromen in de mond van de Nieuwe Waterweg bepalen dan de waterbeweging in een veel groter gebied dan vóór de afsluitingen het geval was. Men zou kunnen verwachten, dat dan de maximale getijstromen belangrijk groter zouden worden. Volgens de gegevens van 4.4 blijkt dit niet het geval te zijn, ze nemen zelfs belangrijk af.

Een overeenkomstig verschijnsel, maar dan in tegengestelde zin, heeft zich voorgedaan bij de afsluiting van de Zuiderzee. Niettegenstaande het getijgebied belangrijk kleiner werd, werden toch de maximale getijstromen in het Zeegat van Den Helder groter.

Voor een verklaring wordt het volgende eenvoudige mathematische model beschouwd, dat ook in [3], § 50 is aangegeven.

Een aan het boveinde afgesloten kanaal met lengte  $L$  staat bij de benedenmond in open verbinding met een zee, terwijl het getij sinusoidaal verloopt. Het verticale getij ten opzichte van de gemiddelde toestand wordt voorgesteld door:

$$h = h_0 \cos \omega t \quad (1)$$

De frequentie  $\omega$  is gelijk aan die van het  $M_2$ -getij ( $\omega = 1,405 \cdot 10^{-4}$  rad/sec). Verder wordt aangenomen, dat de weerstand lineair afhankelijk is van de snelheid. De bewegingsvergelijking, die de voortplanting van het getij op het kanaal bepaalt, is:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + kq = -bag \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2)$$

Hierin is:

$t$  = tijd;

$x$  = coördinaat in de rivieropwaartse lengterichting van het kanaal;

$q$  = totale stroom door een dwarsprofiel van het kanaal;

$h$  = hoogte van de waterspiegel ten opzichte van de gemiddelde waterstand;

$k$  = weerstandscoefficiënt;

$b$  = breedte van het kanaal;

$a$  = diepte ten opzichte van de gemiddelde waterstand;

$g$  = versnelling van de zwaartekracht.

De continuïteitsvergelijking is:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = -B \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3)$$

Hierin is:

$B$  = breedte van het wateroppervlak bij de gemiddelde waterstand.

Verder wordt aangenomen, dat de grootheden  $a$ ,  $b$  en  $B$  voor het gehele kanaal gedurende het getij onafhankelijk zijn van  $x$  en  $t$ .

Voor de berekening van het verloop van het getij in het kanaal als het verticaal getij (1) in de mond van de rivier bekend is, worden oplossingen van (2) en (3) bepaald van de vorm (zie [3], § 137—§ 140):

$$\left. \begin{aligned} h &= h_0 e^{\sigma x} \cos \omega (t + \beta x) \\ q &= q_0 e^{\sigma x} \cos \omega (t + \beta x + \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (4a)$$

of in complexe notatie:

$$\left. \begin{aligned} h &= \frac{1}{2} h_0 e^{i\omega t + ux} + \text{c.c.} \\ q &= \frac{1}{2} c e^{i\omega t + ux} + \text{c.c.} \end{aligned} \right\} \quad (4b)$$

Hierin zijn  $u$  en  $c$  complexe grootheden, die nader bepaald moeten worden en stellen c.c. de toegevoegde complexe grootheden voor. Na substitutie van (4b) in (2) en (3) worden de volgende betrekkingen voor  $u$  en  $c$  gevonden:

$$\left. \begin{aligned} c &= \frac{i\omega B h_0}{2u} \\ (i\omega + k) c &= -bagu h_0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

zodat:

$$u = \pm \left[ \frac{\omega B}{bag} (-\omega + ik) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Er zijn dus twee oplossingen voor  $u$ :

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= -\sigma - i\omega\beta \\ u_2 &= \sigma + i\omega\beta \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

die respectievelijk de de rivier opgaande en de de rivier afgaande golf van (4b) bepalen. Volgens (6) is dan:

$$(\sigma + i\omega\beta)^2 = \frac{\omega B}{bag} (-\omega + ik)$$

Na enige berekening wordt dan gevonden:

$$\sigma = \omega \left( \frac{B}{2bag} \right)^{\frac{1}{2}} \left[ -1 + \left( 1 + \frac{k^2}{\omega^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

en

$$\beta = \left( \frac{B}{2bag} \right)^{\frac{1}{2}} \left[ 1 + \left( 1 + \frac{k^2}{\omega^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

De algemene oplossing van  $h$  is:

$$h = \mu_1 e^{-\sigma x + i\omega(t - \beta x)} + \mu_2 e^{\sigma x + i\omega(t + \beta x)} + \text{c.c.} \quad (10)$$

Verder is  $q$  volgens (4b) en (5) gelijk aan:

$$q = -\frac{i\omega B}{2(\sigma + i\omega\beta)} [-\mu_1 e^{-\sigma x + i\omega(t - \beta x)} + \mu_2 e^{\sigma x + i\omega(t + \beta x)}] + \text{c.c.} \quad (11)$$

De grootheden  $\mu_1$  en  $\mu_2$  worden bepaald door de randvoorwaarden. Daar bij het afgesloten einde de stroom  $q = 0$  is, volgt hieruit:

$$\mu_1 = \mu_2 e^{2(\sigma + i\omega\beta)L}$$

Verder is, voor  $x = 0$  volgens (1) en (10):

$$(\mu_1 + \mu_2) + \text{c.c.} = h_0$$

Derhalve is:

$$2\mu_1 = \frac{h_0 e^{2(\sigma + i\omega\beta)L}}{1 + e^{2(\sigma + i\omega\beta)L}}; \quad 2\mu_2 = \frac{h_0}{1 + e^{2(\sigma + i\omega\beta)L}}$$

Hieruit volgt voor  $q$ :

$$q = \frac{i\omega B h_0}{(\sigma + i\omega\beta)[1 + e^{2(\sigma + i\omega\beta)L}]} [e^{(\sigma + i\omega\beta)x} - e^{-(\sigma + i\omega\beta)(2L-x)}] e^{i\omega t} + \text{c.c.} \quad (12)$$

Aan de mond van het kanaal is dus de getijstroom  $q(0)$  gelijk aan:

$$q(0) = -\frac{i\omega B h_0}{\sigma + i\omega\beta} \cdot \frac{e^{(\sigma+i\omega\beta)L} - e^{-(\sigma+i\omega\beta)L}}{e^{(\sigma+i\omega\beta)L} + e^{-(\sigma+i\omega\beta)L}} e^{i\omega t} + \text{c.c.} \quad (13)$$

of

$$q(0) = -\left[ \frac{i\omega B h_0}{\sigma + i\omega\beta} \operatorname{tgh}(\sigma + i\omega\beta)L \right] e^{i\omega t} + \text{c.c.} \quad (14)$$

Daar volgens (4a) voor  $x = 0$ :

$$q(0) = q_0 e^{i\omega(t+\alpha)}$$

is de maximale getijstroom  $q_0$  in de mond van het kanaal gelijk aan:

$$q_0 = \frac{\omega B h_0}{\sigma + i\omega\beta} [\operatorname{tgh}(\sigma + i\omega\beta)L] \quad (15)$$

Het faseverschil  $\alpha$ , tussen het verticaal getij en de getijstroom, is gelijk aan:

$$\alpha = \arg \left[ \frac{i\omega B h_0}{\sigma + i\omega\beta} \operatorname{tgh}(\sigma + i\omega\beta)L \right]$$

Verder wordt vanwege

$$|\sigma + i\omega\beta| = (\sigma^2 + \omega^2\beta^2)^{\frac{1}{2}}$$

en

$$|\operatorname{tgh}(\sigma + i\omega\beta)L| = \left| \frac{\operatorname{tgh} \sigma L + i \operatorname{tg} \omega\beta L}{1 + i \operatorname{tgh} \sigma L \operatorname{tg} \omega\beta L} \right|$$

in verband met  $\operatorname{tgh} i\omega\beta L = i \operatorname{tg} \omega\beta L$ , na enige berekening gevonden:

$$q_0 = \frac{\omega\beta h_0}{(\sigma^2 + \omega^2\beta^2)^{\frac{1}{2}}} \left[ \frac{\operatorname{tgh}^2 \sigma L + \operatorname{tg}^2 \omega\beta L}{1 + \operatorname{tgh}^2 \sigma L \operatorname{tg}^2 \omega\beta L} \right]^{\frac{1}{2}}$$

of:

$$q_0 = \frac{\omega B h_0}{(\sigma^2 + \omega^2\beta^2)^{\frac{1}{2}}} \left[ \frac{\cosh 2\sigma L - \cos 2\omega\beta L}{\cosh 2\sigma L + \cos 2\omega\beta L} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Deze formule is ook aangegeven in [3], § 50. Bij de daar toegepaste notatie is  $q_0$  vervangen door  $a_s$ ,  $h_0$  door  $a_n$ ,  $\sigma$  door  $r$  en  $\omega\beta$  door  $2\pi/\lambda$ , waarin  $\lambda =$  golflengte.

In het volgende wordt het verloop van  $q_0$  bij toenemende  $L$  uitvoeriger behandeld dan in [3], § 50 is geschied.

De stroomamplitude  $q_0$  aan het begin van het kanaal is dus afhankelijk van de lengte  $L$  van het kanaal volgens de functie

$$f(L) = \left[ \frac{\cosh pz - \cos z}{\cosh pz + \cos z} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

waarin:

$$p = \frac{\sigma}{\omega\beta}$$

en

$$z = 2\omega\beta L$$

Dan zijn  $p$  en  $z$  volgens (8) en (9) afhankelijk van de grootheden  $B$ ,  $b$ ,  $a$  en van de weerstand  $k$  van het kanaal.

Daar  $\cosh pz \geq 1$  is, blijkt de waarde van  $\frac{df(L)}{dL}$  steeds eindig te zijn, terwijl de extreme waarden van  $f(L)$  en dus van de stroomamplituden  $q_0$  optreden, als  $L$  voldoet aan de betrekking:

$$p \operatorname{tgh} pz = -\operatorname{tg} z \quad (18)$$

De vergelijking (18), waarin  $p$  een positief getal is, heeft oplossingen voor waarden van  $z$  in de intervallen:

$$z = k\pi - \varphi, \text{ met } k = 1, 2, \dots \text{ en } 0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$$

Bij nader onderzoek blijkt dan, dat de functie  $f(L)$  en dus ook de stroomamplitude  $q_0$ , een maximum heeft voor een waarde van  $L$ , die bepaald is door

$$z = 2\omega\beta L = \pi - \varphi$$

waarbij  $\varphi$  als volgt kan worden berekend:

Voor kleine waarden van  $p$ , bijvoorbeeld  $p = \frac{\sigma}{\omega\beta} < 0,1$ , is bij benadering

$$\varphi = \frac{p^2 \pi}{1 + p^2} \quad (19)$$

Voor  $0,1 < p < 0,5$  is bij benadering

$$\varphi = \frac{\arctg p - A}{1 + A^2(1 + p^2)e^{2p\pi}} \quad (20)$$

waarin

$$A = \frac{2p}{(1 + p^2)(1 + e^{2p\pi})} \quad (21)$$

terwijl, voor  $p > 0,5$ , gesteld kan worden:

$$\varphi = \arctg p \quad (22)$$

Voor  $k = \text{even}$  en  $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$  heeft  $f(L)$  minima, en voor  $k = \text{oneven}$  en  $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$ , maxima. Als  $k$  toeneemt, worden de waarden van  $q_0$  bij de maxima kleiner en bij de minima groter. De stroomamplitude  $q_0$  gaat dan oscilleren om de waarde

$$q_0 = \frac{\omega B h_0}{(\sigma^2 + \omega^2 \beta^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{B h_0}{\beta} (1 + p^2)^{-\frac{1}{2}} \quad (23)$$

In figuur A.1.1.1 is het verloop van de stroomamplitude  $q_0$  van het  $M_2$ -getij te Hoek van Holland voor een geschematiseerde getijrivier (zie A.1.2) als functie van  $L$  volgens (16) aangegeven. Hierbij is verondersteld, dat:

de getijamplitude $h_0$	= 0,8 m;
de breedte $b$	= 400 m;
de kombergingsbreedte $B$	= 750 m;
de diepte $a$	= 8 m;
$\omega$	= $1,405 \cdot 10^{-4}$ rad/sec;
$C$	= $60 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}$ .

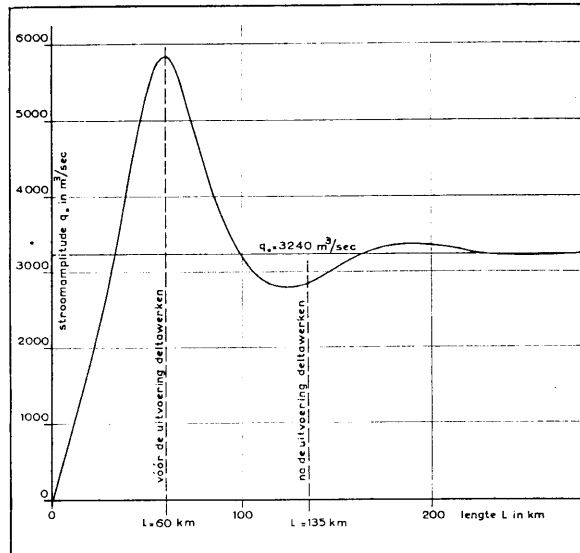
Dan kunnen  $\sigma$ ,  $\beta$ , en dus ook  $p$  volgens (8), (9) en (17) berekend worden.

Hier blijkt dan, dat  $\sigma = 0,102 \cdot 10^{-4}$ ,  $\beta = 0,171$  en  $p = 0,42$  is. Daar  $p$  niet veel van 0,5 verschilt, wordt bij toepassing van (22) het eerste maximum bereikt, als

$$L = \frac{\pi - \arctg p}{2\omega\beta} = 57 \text{ km}$$

Wordt de nauwkeuriger formule  $2\omega\beta L = \pi - \varphi$  toegepast, waarbij  $\varphi$  bepaald is volgens (20) en (21), dan blijkt  $L = 59 \text{ km}$  te zijn. Verder is de waarde, waar  $q_0$  om oscilleert, volgens (23) gelijk aan  $3240 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}$ .

In deze figuur is ook de lijn  $q_0 = 3240 \text{ m}^3/\text{sec}$  getekend; het blijkt dan, dat voor  $L = 220 \text{ km}$ , de kromme  $q_0(L)$  deze lijn reeds dicht genaderd is.



Figuur A.1.1.1. Verloop van de stroomamplitude van het  $M_2$ -getij  $q_0$  te Hoek van Holland als functie van de lengte  $L$  van de geschematiseerde getijrivier

#### A.1.2 De vermindering van de stromen in de Nieuwe Waterweg na de uitvoering van het Deltaplan

Met behulp van formule (16) van A.1.1 kan aangetoond worden, dat de stromen in de Nieuwe Waterweg na de uitvoering van het Deltaplan zullen afnemen.

Hierbij wordt na de afsluiting van het Haringvliet het rivierenstelsel Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Noord, Dordtse Kil en Haringvliet als één enkele getijgeul beschouwd.

De getijbeweging op Lek—Neder-Rijn en Beneden-Merwede—Waal zal ook het getij in het hierboven genoemde geulstelsel beïnvloeden. Aangenomen wordt, dat deze vóór en na de afsluitingen van dezelfde betekenis zal zijn. Het buiten beschouwing laten van de veranderingen in de getijbeweging van deze rivieren na de afsluitingen is niet van essentiële invloed op de conclusies, welke uit de berekeningen volgen. Daar de getijbeweging op deze rivieren zal afnemen, zullen de stromen in de Nieuwe Waterweg na de afsluiting van het Haringvliet nog verder verminderen.

Vóór de uitvoering van de deltawerken dringt het getij zowel via het Haringvliet als via de Nieuwe Waterweg het deltagebied binnen. Volgens de beschikbare getijgegevens kan aangenomen worden, dat de getijbeweging in het gebied ten noorden van Dordrecht door het getij van de Nieuwe Waterweg wordt beheerst.

Door de getijbeweging op de Lek en de Beneden-Merwede worden ook de getijstromen in Noord en Nieuwe Maas belangrijk groter. De weerstand, die het getij bij haar voortplanting ondervindt, is dus belangrijker dan het geval zou zijn, indien Lek en Beneden-Merwede bij hun benedenmonden zouden zijn afgesloten.

Bij nader onderzoek bleek, dat de invloed van de Lek en de Beneden-Merwede op de getijbeweging in de stroomafwaarts gelegen rivieren enigszins in rekening kan worden gebracht door te veronderstellen, dat bij afgesloten Lek en Beneden-Merwede de rivierlengte van Hoek van Holland tot Dordrecht niet 55 km is, zoals bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken, maar 60 km. Er is dan een fictieve lengte van 5 km aan de werkelijke lengte toegevoegd.

Door verder de gemiddelde kombergingsbreedte van de geschematiseerde geul groter te maken en gelijk aan 750 m te nemen, kan de invloed van de stromen van Lek en Beneden-Merwede nog verder in rekening worden gebracht en tevens de invloed van de getijstromen naar de Oude Maas op de getijstromen in de Nieuwe Waterweg.

Bij de toepassing van formule (1) van A.1.1 voor de toestand vóór uitvoering van de deltawerken werd dus aangenomen, dat bij de schematisatie  $L = 60$  km is en de rivier dan bij Dordrecht en Krimpen a/d Lek is afgesloten. Verder werd de gemiddelde breedte  $b$  van de geul tussen Hoek van Holland en Dordrecht gesteld op 400 m en de kombergingsbreedte  $B$  op 750 m. De diepte  $a$  is 8 m en  $C = 60$  m<sup>3</sup>/sec.

Volgens (16) van A.1.1 zou dan bij een getijamplitude van 0,8 m te Hoek van Holland de maximale stroom aldaar 5900 m<sup>3</sup>/sec bedragen. Bij de bestaande toestand is deze 6000 m<sup>3</sup>/sec, dus een goede overeenstemming.

Na de afsluiting van het Haringvliet is de schematisatie van Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Noord, Dordtse Kil en Haringvliet als volgt aangenomen:  $L = 135$  km (d.i. 60 km voor de fictieve lengte Hoek van Holland — Dordrecht en 75 km voor de afstand Dordrecht—Haringvlietssluisen), breedte  $b = 400$  m en  $B = 750$  m, diepte  $a = 8$  m en  $C = 60$  m<sup>3</sup>/sec. Dan blijkt, dat de stroomamplitude  $q_0$  in de Nieuwe Waterweg ongeveer 2900 m<sup>3</sup>/sec zal worden, terwijl volgens nauwkeurige berekeningen gevonden wordt 4000 m<sup>3</sup>/sec. Als dus het voorgaande eenvoudige model wordt beschouwd, is er na de afsluiting van het Haringvliet een vermindering van de stroom te Hoek van Holland van 3000 m<sup>3</sup>/sec. Hieruit blijkt duidelijk de tendens van de vermindering van de stroom in de mond van de Nieuwe Waterweg door de afsluiting. In werkelijkheid zal deze vermindering 2000 m<sup>3</sup>/sec bedragen.

De gegevens voor de vorige berekening kunnen vervangen worden door andere, die even aanvaardbaar zijn. Steeds blijkt echter, dat de stromen in de mond van de Nieuwe Waterweg zullen afnemen in verband met het feit, dat de lengte van het fictieve kanaal steeds groter is dan de lengte  $L$ , waarbij de stromen in de mond van de Nieuwe Waterweg maximaal zijn.

In figuur A.1.1.1 zijn voor  $L = 60$  km en  $L = 135$  km, de waarden van  $q_0$  direct af te lezen. Verder blijkt, dat  $q_0$  de grootste waarde heeft voor  $L = 59$  km. Dit geval zou zich dus bij de toestand vóór de uitvoering van de deltawerken min of meer voordoen.

### A.1.3 De vermeerdering van de stromen in het Zeegat van Den Helder na de afsluiting van de Zuiderzee

In [3], § 50, is getracht om de vermeerdering van de stromen in het Zeegat van Den Helder na de afsluiting ook theoretisch te verklaren, hoewel de daar weergegeven formules niet praktisch zijn geverifieerd voor het geval van de afsluiting van de Zuiderzee. Indien wordt getracht om dit toch te doen, blijkt het eenvoudige mathematische model, dat hieronder is beschouwd, toch te schematisch om het vraagstuk voldoende te behandelen. Bij open Zuiderzee zou namelijk in plaats van één, aan het eind afgesloten geul, een vertakt stelsel moeten worden beschouwd.

Nu volgen de uitkomsten voor het eenvoudige model van één enkele afgesloten geul.

Na de afsluiting kan het stelsel geulen van het Zeegat van Den Helder tot de Afsluitdijk door één geul worden vervangen met:

lengte $L$	= 47 km;
stroombreedte $b$	= 6,5 km;
kombergingsbreedte $B$	= 13,5 km;
diepte $a$	= 10 m;
$C$	= 53 m <sup>3</sup> /sec.

Dan wordt voor de maximale stroom  $q_0$  van het Zeegat van Den Helder volgens (16) van A.1.1 bij een getijamplitude van 0,62 m te Den Helder 70 000 m<sup>3</sup>/sec berekend, terwijl volgens de uitvoerige berekeningen van de Staatscommissie-Zuiderzee,  $q_0 = 71 500$  m<sup>3</sup>/sec zou zijn. Deze overeenstemming is dus bevredigend.

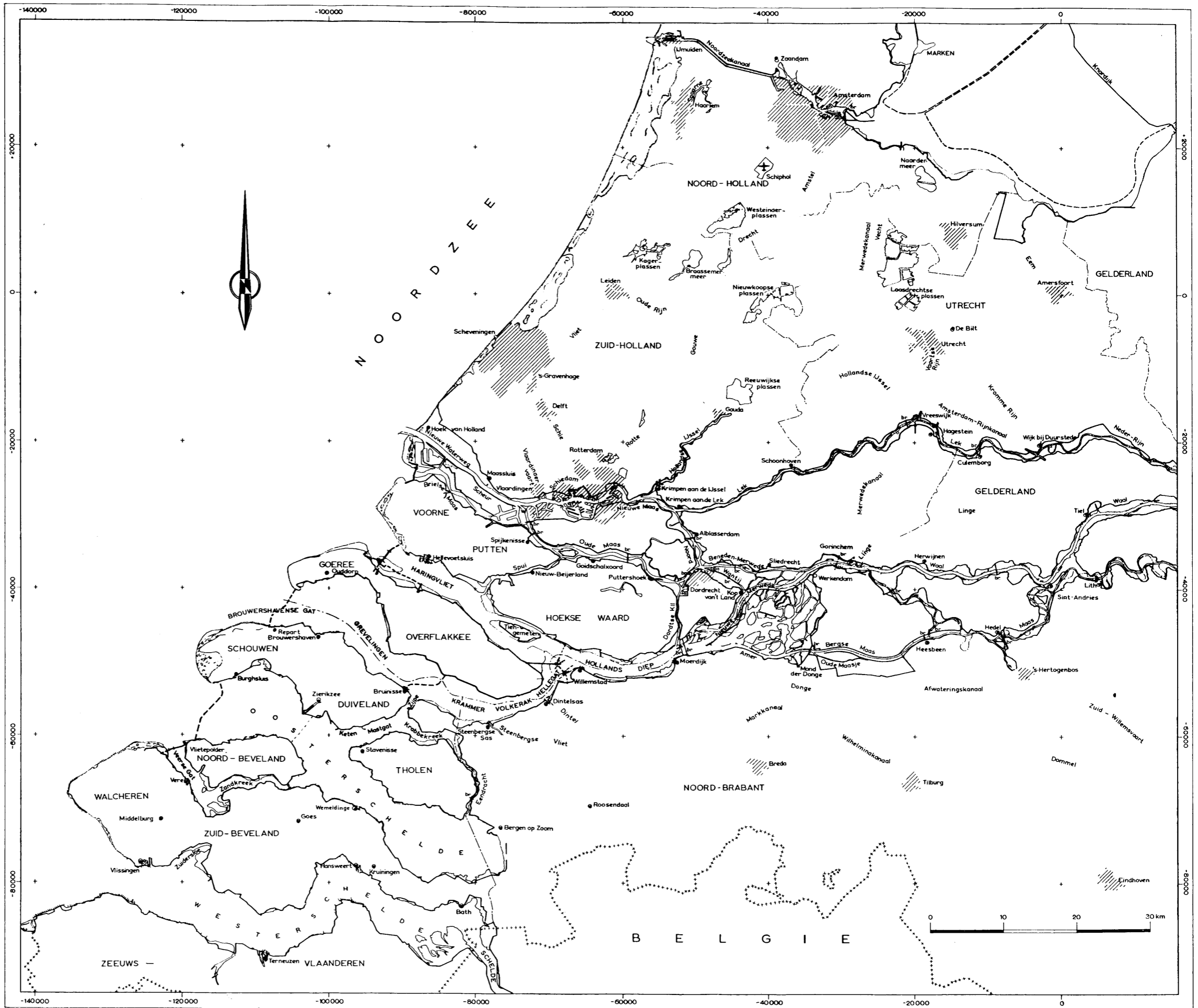
Bij open Zuiderzee is het belangrijk moeilijker om de geulen door één getijgeul te vervangen. Na enig proberen blijkt de volgende schematisatie het meest bevredigende resultaat te geven:

lengte $L$	= 145 km;
stroombreedte $b$	= 19 km;
kombergingsbreedte $B$	= 28 km;
diepte $a$	= 4,4 m;
$C$	= 53 m <sup>3</sup> /sec.



Dan wordt voor de stroomamplitude  $q_0$  in het Zeegat van Den Helder, 60 000 m<sup>3</sup>/sec gevonden, terwijl de nauwkeurige berekeningen van de Staatscommissie-Zuiderzee 55 000 m<sup>3</sup>/sec aangeven.

Er is dus een toename van 10 000 m<sup>3</sup>/sec na de afsluiting volgens het eenvoudige model en van 16 500 m<sup>3</sup>/sec volgens de nauwkeurige berekeningen. Hierbij moet echter worden opgemerkt, dat de gegevens voor de enkelvoudige geul niet ondubbelzinnig bepaald zijn; de tendens van de toeneming van de stromen in het Zeegat van Den Helder blijkt echter steeds aanwezig.



BIJDRAGE IV.4

RIJKSWATERSTAAT

DE WATERSTAATKUNDIGE ASPECTEN  
VAN DE WATERHUISHOUDING IN  
HET GEBIED VAN DE BENEDENRIVIEREN  
EN DE ZEEARMEN NA DE UITVOERING  
VAN DE DELTAWERKEN

## INHOUDSOVERZICHT

0.1 Inhoudsoverzicht . . . . .	193
0.2 Overzicht van de tabellen . . . . .	195
0.3 Overzicht van de figuren . . . . .	196
0.4 Overzicht van de bijlagen . . . . .	199
0.5 Literatuur . . . . .	199
0.6 Summary . . . . .	202
0.7 Résumé . . . . .	202

### INLEIDING

<b>1.0 Samenstelling van de bijdrage . . . . .</b>	<b>204</b>
1.1 Beperkingen . . . . .	204
1.2 Inhoud van de bijdrage . . . . .	204
1.3 Samenstelling en medewerkers . . . . .	204
<b>2.0 Algemene beschouwingen betreffende de waterhuishouding . . . . .</b>	<b>205</b>
2.1 Algemene beschouwingen . . . . .	205
2.2 Bestaande situatie in het deltagebied . . . . .	206
2.3 Toestand na uitvoering der deltawerken . . . . .	207
<b>3.0 Kwaliteitseisen voor oppervlaktewater . . . . .</b>	<b>210</b>
3.1 Algemene beschouwingen . . . . .	210
3.2 Na te streven kwaliteit in de delta . . . . .	211
<b>4.0 Indeling in afwaterings- en verzorgingsgebieden . . . . .</b>	<b>212</b>

### WATERAANVOER

<b>5.0 Wateraanvoer door neerslag . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>6.0 Wateraanvoer van de Rijn en de Maas . . . . .</b>	<b>214</b>
6.1 Rijn . . . . .	214
6.2 Maas . . . . .	215
<b>7.0 Verdeling van het opperwater over de Rijntakken en de Maas . . . . .</b>	<b>216</b>
7.1 IJssel en Rijnkanalisatie . . . . .	216
7.2 Neder-Rijn en Lek . . . . .	217
7.3 Waal en Maas . . . . .	218
<b>8.0 Chloridegehalte van de Rijn, de Rijntakken en de Maas . . . . .</b>	<b>220</b>
8.1 Rijn en Rijntakken . . . . .	220
8.2 Maas . . . . .	223

**WATERVERBRUIK**

<b>9.0</b>	<b>Waterverbruik voor zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg</b>	223
9.1	Beschouwingen betreffende het verziltingsmechanisme	223
9.2	Verwerking van gegevens voor de bestaande situatie	230
9.3	Extrapolatie voor de situatie na uitvoering van de deltawerken	231
9.4	Waterverbruik, chloridegehalten en hun frequenties na uitvoering van de deltawerken	232
<b>10.0</b>	<b>Waterverbruik voor zoutbestrijding op het Haringvlietbekken c.a.</b>	240
10.1	Ontziltling van het Haringvlietbekken	240
10.2	Zoutbestrijding op het Haringvlietbekken na ontziltling	242
10.3	Zoutbestrijding op de Oude Maas	244
<b>11.0</b>	<b>Waterverbruik voor zoutbestrijding op het Zeeuwse Meer</b>	245
11.1	Bestrijding van zout lek- en schutwater	245
11.2	Zoutbelasting door kwel onder de afsluitdammen en diffusie van het bodemzout	246
11.3	Zoutbelasting door het uitslagwater van polders	247
11.4	Ontziltling van het Zeeuwse Meer	250
11.5	Zoutbestrijding na ontziltling	252
<b>12.0</b>	<b>Waterverbruik voor verversing van polder- en boezemwateren</b>	254
<b>13.0</b>	<b>Waterverbruik voor agrarische doeleinden</b>	255
13.1	Netto-behoefte aan aanvullingswater	255
13.2	Vergelijking tussen netto-behoefte en werkelijke behoefte voor grote verzorgingsgebieden	257
13.3	Wateraanvulling bij algehele voorziening in de behoefte	259
<b>14.0</b>	<b>Waterverbruik voor huishoudelijke, zakelijke en industriële doeleinden</b>	261
<b>15.0</b>	<b>Waterverbruik door verdamping van open wateren</b>	262

**WATERVERDELING**

<b>16.0</b>	<b>Verdeling van het opperwater over de benedenrivieren en het Zeeuwse Meer</b>	263
16.1	Mogelijk verdelingsprogramma	263
16.2	Grensbalansen en frequenties	268
16.3	Afwijkingen van het geschetste verdelingsprogramma	274
<b>17.0</b>	<b>Inrichting en peilregeling van het Zeeuwse Meer</b>	275
17.1	Algemene beschouwingen	275
17.2	Waterverbruik uit de voorraad van het Zeeuwse Meer	277
17.3	Capaciteit van inlaat- en lozingsmiddelen	279

**WATERSTANDEN EN STROOMSNELHEDEN**

<b>18.0 Waterstanden c.a. in de benedenrivieren bij normale zeestanden</b>	280
18.1 Algemene beschouwingen	280
18.2 Waterstanden na uitvoering van de deltawerken	281
18.3 Aanpassingswerken, nodig als gevolg van de verandering der waterstanden na uitvoering van de deltawerken	283
<b>19.0 Stroomsnelheden c.a. in de benedenrivieren bij normale zeestanden</b>	285
19.1 Rotterdamse Waterweg (benedenloop)	285
19.2 Rotterdamse Waterweg (bovenloop)	285
19.3 Noord	285
19.4 Dordtse Kil	289
19.5 Oude Maas	289
19.6 Overige rivieren	289

**SAMENVATTING**

<b>20.0 Samenvatting van de betekenis der deltawerken voor de waterhuishouding</b>	290
20.1 Hoofdafdamming door het Haringvliet met uitwateringssluizen	290
20.2 Hoofdafdammingen door het Brouwershavense Gat, de Oosterschelde en het Veerse Gat	291
20.3 Dammen door de Grevelingen en de Zandkreek	291
20.4 Dam door het Volkerak	291
20.5 Afsluiting van de Oude Maas	292
20.6 Stormvloedkering in de Hollandse IJssel	293

**0.2 OVERZICHT VAN DE TABELLEN**

4.0.1 Overzicht van grondsoorten en oppervlakten van de voornaamste afwaterings- en verzorgingsgebieden in zuidelijk en westelijk Nederland	212
9.4.1 Waterverbruik voor zoutbestrijding op de Nieuwe Maas tot een chloridegehalte van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, alsmede voor verschillende chloridegehalten van het oppervlaktewater	234
9.4.2 Gemiddeld aantal groepen van achtereenvolgende dagen per jaar, waarbij een chloridegehalte van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven zal worden overschreden, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec	239
11.2.1 Chloridebelasting van het Zeeuwse Meer door diffusie van het bodemzout na ontzilting van het meer	247
11.3.1 Overzicht van de geo-hydrologische gegevens omtrent de ondergrond van het delta-gebied	247

11.3.2	Overzicht van het chloridebezwaar door kwel in de gebieden, afwaterende op het Haringvlietbekken c.a. en het Zeeuwse Meer . . . . .	248
13.1.1	Globaal overzicht van het schijnbare verbruik van de bodemvochtvoorraad per groeiseizoen, verdeeld naar grondsoort . . . . .	256
13.3.1	Overzicht van de wateraanvulling bij algehele voorziening in de behoefte voor agrarische doeleinden in zuidelijk en westelijk Nederland voor een periode als van 1946 t/m 1950 en voor een gemiddeld jaar . . . . .	260
14.0.1	Overzicht van het waterverbruik in het westen des lands voor huishoudelijke, zakelijke en industriële doeleinden, geschat voor het jaar 2000 . . . . .	261
16.2.1	Zijdelingse aan- en afvoer naar en uit de boventrivieren, de benedenrivieren en de afgesloten zeearmen bij gemiddelde meteorologische omstandigheden voor zomer en winter . . . . .	268
16.2.2	Opperwaterafvoeren en hun frequenties bij een chloridegehalte op de Nieuwe Maas van 400 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, zonder watervoorziening van het Zeeuwse Meer . . . . .	270
16.2.3	Grensbalans I-II. Opperwaterafvoeren en hun frequenties bij een chloridegehalte op de Nieuwe Maas van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, zonder watervoorziening van het Zeeuwse Meer . . . . .	271
16.2.4	Grensbalans II-III. Opperwaterafvoeren en hun frequenties bij een chloridegehalte op de Nieuwe Maas van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, bij volledige watervoorziening van het Zeeuwse Meer . . . . .	272
16.2.5	Grensbalans III-IV. Opperwaterafvoeren en hun frequenties bij een chloridegehalte op de Nieuwe Maas van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij Vijfsluizen, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, bij volledige watervoorziening van het Zeeuwse Meer . . . . .	273
17.2.1	Gemiddeld aantal groepen van achtereenvolgende dagen per jaar, waarbij de wateronttrekking aan het Zeeuwse Meer ten gevolge van te kleine afvoeren geheel of ten dele ten laste zal komen van de eigen watervoorraad in dit meer . . . . .	278
18.3.1	Bestaand systeem van afwatering op het Haringvliet c.a. en de Zeeuwse stromen, uitgezonderd de Westerschelde . . . . .	284

### 0.3 OVERZICHT VAN DE FIGUREN

2.2.1	Globaal overzicht van de 300 mg Cl/l-grenzen bij hoog- en laagwaterkentering in de benedenrivieren voor normale en zeer kleine opperwaterafvoeren . . . . .	207
5.0.1	Overzicht wateraanvoer door neerslagoverschot van polders en hoge gronden en neerslag op buitenwater in een periode als van 1946 t/m 1950 . . . . .	214
6.1.1	Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren en kleinste dagafvoeren van de Rijn te Lobith van 1946 t/m 1950 . . . . .	215
6.2.1	Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren van de Maas te Borgharen en te Lith en van de kleinste dagafvoeren te Borgharen van 1946 t/m 1950 . . . . .	216

7.1.1	Waterverdeling over de Rijntakken na kanalisatie van Neder-Rijn en Lek bij stuwprogramma „300”, alsmede bij open stuwen . . . . .	217
7.2.1	Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren van de Lek nabij Krimpen van 1946 t/m 1950, alsmede van de overeenkomstige afvoeren na Rijnkanalisatie bij stuwprogramma „300”, wateraanvoer door het Betuwepand en ruime wateronttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening en de landbouw . . . . .	218
7.3.1	Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren van de Waal bij Gorinchem in een periode als van 1946 t/m 1950 na Rijnkanalisatie bij stuwprogramma „300”, ont-trekking via het Betuwepand en onttrekking ten behoeve van de landbouw . . . . .	219
7.3.2	Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren van de Maas benedenstreams van de mond der Donge in een periode als van 1946 t/m 1950 na ruime wateronttrekking ten behoeve van de landbouw . . . . .	220
8.1.1	Chloride-afvoer van de Rijn te Lobith, gemiddeld over het jaar sinds 1880, in kg Cl/sec volgens gegevens van de „Commission Internationale pour la protection du Rhin contre la pollution” . . . . .	221
8.1.2	Overzicht van het chloridegehalte van de Rijn te Lobith bij een chloride-afvoer van 225 kg Cl/sec, op basis van de gemiddelde maandafvoeren en kleinste dagafvoeren van de Rijn van 1946 t/m 1950 . . . . .	222
9.1.1	Chloridegehalte $c$ als functie van de afstand $x$ tot de mond . . . . .	226
9.1.2	Herleid chloridegehalte $c - c_0$ als functie van de opperwaterafvoer $Q_0$ , voor twee plaatsen, P en R . . . . .	228
9.1.3	Chloridegehalte $c_{p1} - c_0$ als functie van de opperwaterafvoer $Q_{01}$ ter plaatse P <sub>1</sub> en de opperwaterafvoer $Q_{02}$ van een tweede riviertak . . . . .	230
9.4.1	Opperwaterverdeling tussen de Haringvlietsluizen, de Oude Maas nabij de Westgeul en de Noord na uitvoering der deltawerken met open Oude Maas . . . . .	233
9.4.2	Overzicht van de gemiddelde opperwaterafvoeren langs het Scheur, die benodigd, c.q. beschikbaar zijn voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, voor een periode als van 1946 t/m 1950 bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec tot een maximaal gehalte van 250 mg Cl/l . . . . .	235
9.4.3	Overzicht van het chloridegehalte op de Nieuwe Maas tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, voor een periode als van 1946 t/m 1950 bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec tot een maximaal gehalte van 250 mg Cl/l . . . . .	236
9.4.4	Overzicht van het chloridegehalte op de Nieuwe Maas tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven als functie van de Rijnafvoer, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas voor een periode als van 1946 t/m 1950 bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec tot een maximaal gehalte van 250 mg Cl/l . . . . .	238
10.1.1	Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren en kleinste dagafvoeren van de Rijn te Lobith tijdens de strenge winters vanaf 1917, waarbij drijfijis en vast ijs gedurende omstreeks een maand optraden . . . . .	241
10.2.1	Overzicht van de hoeveelheden chloride, die naar globale schatting door polders op het Haringvlietbekken zullen worden uitgeslagen in een periode als van 1946 t/m 1950, direct volgende op de voltooiing der deltawerken . . . . .	243



10.2.2	Overzicht van de chloridegehalten, die na voltooiing der deltawerken op het Haringvlietbekken en het Hollands Diep verwacht kunnen worden bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec tot een maximaal gehalte van 250 mg Cl/l in een periode als van 1946 t/m 1950. . . . .	244
11.3.1	Overzicht van de hoeveelheden chloride, die naar globale schatting door polders op het Zeeuwse Meer zullen worden uitgeslagen in een periode als van 1946 t/m 1950, direct volgende op de voltooiing der deltawerken . . . . .	249
11.3.2	Globale schatting van het verloop van de zoute kwel in de poldergebieden, die afwateren op het Zeeuwse Meer, uitgedrukt in procenten, als functie van de tijd na ontzilting van dit meer . . . . .	250
11.4.1	Tempo van de ontzilting van het Zeeuwse Meer bij verschillende hoeveelheden doorspoelingswater . . . . .	251
11.5.1	Verloop van het gemiddelde chloridegehalte in het Zeeuwse Meer, geschat voor een gemiddeld jaar, alsmede 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 een gemiddelde lozingscapaciteit van 100, 200 en 300 m <sup>3</sup> /sec . . . . .	253
13.3.1	Overzicht van de wateraanvulling bij algehele voorziening in de behoefte voor agrarische doeleinden in zuidelijk en westelijk Nederland voor een periode als van 1946 t/m 1950 . . . . .	260
15.0.1	Overzicht van het waterverlies door verdamping op Haringvlietbekken en Zeeuwse Meer in een periode als van 1946 t/m 1950 . . . . .	263
16.1.1	Schematisch overzicht van de oppervlaktverdeling over de Rotterdamse Waterweg, het Haringvliet en het Zeeuwse Meer als functie van de Rijnafvoer en zijn frequentie voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met afgesloten Oude Maas (gemiddeld zomerhalfjaar) . . . . .	265
16.1.2	Overzicht van de oppervlaktverdeling over de benedenrivieren en het Zeeuwse Meer over een periode als van 1946 t/m 1950, geschat voor de toestand na uitvoering van de deltawerken met afgesloten Oude Maas . . . . .	266
16.1.3	Overzicht van de oppervlaktverdeling over de benedenrivieren en het Zeeuwse Meer over een periode als van 1946 t/m 1950, geschat voor de toestand na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas . . . . .	267
16.2.2	Overzicht van de effectieve doorstromingsopening van de uitwateringssluizen in het Haringvliet als functie van de gemiddelde maandafvoer van de Rijn te Lobith over een periode als van 1946 t/m 1950, geschat voor de toestand na uitvoering van de deltawerken met afgesloten Oude Maas . . . . .	274
17.2.1	Overzicht van de hoeveelheden water, die aan de komberging van het Zeeuwse Meer zouden moeten worden onttrokken, met en zonder de watertekorten van het verzorgingsgebied van de Maas, in een periode als van 1946 t/m 1950 . . . . .	278
18.2.1	Schematisch overzicht van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden te Willemstad als functie van de Rijnafvoer en zijn frequentie voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met afgesloten en met open Oude Maas bij een gemiddelde getijbeweging op zee en voor een gemiddeld zomerhalfjaar . . . . .	282
19.3.1	Overzicht van de gemiddelde oppervlaktafvoer langs de Noord over een periode als van 1946 t/m 1950, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas . . . . .	286
19.3.2	Maximale eb- en vloednelheden, gemiddeld over het bestaande dwarsprofiel, van de Noord nabij Alblasterdam als functie van de Rijnafvoer en de afvoer van de Noord voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering der delta-	

werken met afgesloten Oude Maas bij een gemiddelde getijbeweging op zee en voor een gemiddeld zomerhalfjaar . . . . .	287
19.3.3 Maximale eb- en vloedsnelheden, gemiddeld over het bestaande dwarsprofiel, van de Noord nabij Alblasterdam als functie van de Rijnafvoer en de afvoer van de Noord voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering der deltawerken met open Oude Maas bij een gemiddelde getijbeweging op zee en voor een gemiddeld zomerhalfjaar . . . . .	288

#### 0.4 OVERZICHT VAN DE BIJLAGEN

IV.4 – 2.2.1	Overzichtskaart verdroging.
IV.4 – 2.2.2	Overzichtskaart verzilting.
IV.4 – 4.0.1	Overzichtskaart afwatering.
IV.4 – 4.0.2	Overzichtskaart waterinlaat.
IV.4 – 4.0.3	Overzichtskaart grondsoorten.
IV.4 – 6.1.1	Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie van de dagelijkse Rijnafvoeren te Lobith voor de verschillende maanden van het jaar.
IV.4 – 6.1.2	Cumulatieve frequentiekrommen van de dagelijkse Rijnafvoeren te Lobith voor zomerhalfjaar, winterhalfjaar en jaar.
IV.4 – 6.1.3	Frequentiekrommen van het gemiddeld aantal groepen van achtereenvolgende dagen per zomerhalfjaar, winterhalfjaar en jaar, waarbij een Rijnafvoer te Lobith wordt onderschreden.
IV.4 – 6.2.1	Lijnen van gelijke cumulatieve frequentie der dagelijkse Maasafvoeren te Lith voor de verschillende maanden van het jaar.
IV.4 – 6.2.2	Cumulatieve frequentiekrommen van de dagelijkse Maasafvoeren te Lith voor zomerhalfjaar, winterhalfjaar en jaar.
IV.4 – 9.4.1	Bestaand verloop van het middelbare chloridegehalte op de Nieuwe Maas bij hoogwaterkentering als functie van de opperwaterafvoer.
IV.4 – 9.4.2	Verloop van het middelbare chloridegehalte in de bovenloop van de Nieuwe Maas bij hoogwaterkentering als functie van de opperwaterafvoer langs de Oude Maas en de Nieuwe Maas voor de toestand na uitvoering van de deltawerken.
IV.4 – 9.4.3	Verloop van het middelbare chloridegehalte in de benedenloop van de Nieuwe Maas bij hoogwaterkentering als functie van de opperwaterafvoer langs de Oude Maas en de Nieuwe Maas voor de toestand na uitvoering van de deltawerken.
IV.4 – 17.2.1	Oppervlakten water en droogvallend land van het Zeeuwse Meer.
IV.4 – 18.2.1	Schematisch overzicht van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden in het delta-gebied voor de bestaande situatie en na uitvoering van de deltawerken met afgesloten Oude Maas, gebaseerd op een periode als van 1946 t/m 1950.
IV.4 – 18.3.1	Bestaand systeem van afwatering.

#### 0.5 LITERATUUR De verwijzing in de tekst is aangegeven door [ ]

1. *C. Biemond* Algemene beschouwingen over de waterhuishouding in Nederland. Water, nr. 7, 1956.
2. *C. Biemond* Rapport 1940 inzake de watervoorziening van Amsterdam. Amsterdam, 1940.

3. *Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening* Rapport van de Commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands 1940. 's-Gravenhage, 1940.
4. *Commissie Hydrologisch Onderzoek T.N.O.* Kwaliteitseisen voor oppervlaktewater. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. en Med. nr. 3, Versl. 12e Techn. Bijeenk. 1956, 's-Gravenhage, 1958.
5. *Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O.* De landbouwwaterhuishouding van Nederland (Rapporten 1-12). 1958.
6. *Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O., Werkgroep Waterhoeveelheden* De aan te voeren hoeveelheden water. 1956 (niet gepubliceerd).
7. *Commissie Waterbeheersing Noord-Brabant* Waterbeheersing in Noord-Brabant (Eerste rapport). 's-Hertogenbosch, 1957.
8. *W. A. A. van Eyden* Onderzoekingen betreffende de waterbehoefte als functie van de neerslag en de verdamping, alsmede van het verbruik en gebruik van de vochtvoorraad in de bodem. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. en Med., nr. 4, Verdampingssymposium Agrohydrologisch Colloquium C.O.L.N. 1958, 's-Gravenhage, 1960.
9. *P. de Gruyter* Rijnlands boezem. Deel I: Waterhuishouding. 1957.
10. *F. W. J. van Haaren* Radioactiviteit. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. en Med. nr. 3, Versl. 12e Techn. Bijeenk. 1956, 's-Gravenhage, 1958.
11. *S. Herweyer en H. van Rossum* De waterhuishouding voor de landbouw in Nederland. Water, nr. 17, 1956.
12. *J. J. Hopmans* De waterverontreiniging in Nederland en de bestrijding daarvan. De Ingenieur, nr. 4, 1959.
13. *L. Huisman* De chloorafvoer van Lek en Bovenrijn. De Ingenieur, nr. 18, 1952.
14. *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut* Frequentie van k-daagse neerslagsommen op Nederlandse stations. Nr. 3, Oudenbosch 1888-1953. 1957.
15. *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut* Regenwaarnemingen (1946 t/m 1950).
16. *C. Kramer* Berekening van de gemiddelde grootte van de verdamping voor verschillende delen van Nederland volgens de methode van Penman. K.N.M.I., Med. en Verh. nr. 70, 1957.
17. *W. F. J. M. Krul* Watervoorzieningsproblemen voor bevolking en industrie. De Ingenieur, nr. 3, 1959.
18. *G. F. Makkink* De verdamping uit vegetaties in verband met de formule van Penman. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. en Med. nr. 4, Verdampingssymposium Agrohydrologisch Colloquium C.O.L.N. 1958, 's-Gravenhage, 1960.
19. *J. P. Mazure* De water- en zoutbalans van het IJsselmeer. Rapport van de Commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands 1940, Bijlage IX, 's-Gravenhage, 1940.

20. *J. P. Mazure* Kwel- en chloorbezwaar in de Wieringermeer. Rapp. en Med. betr. de Zuiderzeewerken, nr. 5, Geohydrologische gesteldheid van de Wieringermeer, Bijlage 10, 's-Gravenhage, 1936.
21. *Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening* Verslagen over de landbouw in Nederland 1947 t/m 1955. Versl. en Med., 's-Gravenhage.
22. *H. L. Penman* Estimating evaporation. Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 37, nr. 1, 1956 (en voorgaande publikaties).
23. *Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution* Rapport de la commission des experts sur les analyses physico-chimiques de l'eau du Rhin. Série juin 1953 à juin 1954, Basel und Stuttgart, 1956.
24. *J. M. Riemens* Verzouting en verdroging in het Westen van Nederland, meer in het bijzonder in het Westland. Maandblad voor de Landbouwvoorlichtingsdienst, nr. 2, 1951.
25. *Rijkswaterstaat, directie Algemene Dienst* Tienjarig Overzicht der Waterhoogten 1941—1950, 's-Gravenhage, 1954.
26. *H. van Rossum* Kosten van wateraanvoer door open waterlopen naar waterbehoefte landbouwgronden in Nederland. Landbk. Tijdschr., nr. 2, 1956.
27. *J. C. Schönfeld* The mechanism of longitudinal diffusion in a tidal river, Proc. I.U.G.G., Symposium on tidal rivers, Helsinki, 1960.
28. *D. W. Stolp en J. C. J. Mohrmann* Droogtekansen en berekening op hoge zandgronden. Med. Dir. v. d. Tuinb., nr. 16, 1953.
29. *J. Th. Thijsse* Bestrijding van het zout. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. en Med., nr. 1, Versl. 6e Techn. Bijeenk. 1950, 's-Gravenhage, 1952.
30. *K. F. Valken* Het gebruik van verdampingscijfers. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Verdampingssymposium Agrohydrologisch Colloquium C.O.L.N. 1958, Versl. en Med., nr. 4, 's-Gravenhage, 1960.
31. *K. F. Valken* Het onderzoek ten behoeve van het Zeeuwse Meer. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. en Med., nr. 6, Versl. 15e Techn. Bijeenk. 1959, 's-Gravenhage, 1961.
32. *A. Volker* Het binnendringen van zout door sluizen. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. en Med., nr. 1, Versl. 6e Techn. Bijeenk. 1950, 's-Gravenhage, 1952.
33. *A. Volker* Technische problemen van de waterhuishouding van Nederland. De Ingenieur, nr. 1, 1959.
34. *W. C. Visser* Waterhuishoudkundige kartering ten dienste van de landbouw. Comm. voor Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. en Med., nr. 1, Versl. 3e Techn. Bijeenk. 1947, 's-Gravenhage, 1952.
35. *J. Wesseling* Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Versl. Landb.k. Onderz., nr. 63.5, 's-Gravenhage, 1957.

## 0.6 SUMMARY

### **The water conservancy in the tidal reaches of the Rhine and the Meuse and in the estuaries after the completion of the Delta Works**

The Netherlands depend for their supply of fresh water mainly on the Rhine and the Meuse. In itself, this supply is amply sufficient to meet the water requirements for domestic, industrial and agricultural purposes. There is bound to be a shortage, however, since too large a proportion of the river water is necessary to drive back the salt in the coastal areas. Sea water is penetrating into the open estuaries. Lock and sluice leakage, seepage and lockage water all increase the salt content of polder water. In addition, there is an alarming rise in the chloride content of the Rhine water itself, due to the discharge of more and more saline waste water from the Ruhr area and the Alsace. Consequently, the quantity of river water needed to drive out the salt is becoming disproportionately large.

A consequence of the insufficiency of fresh water is that the chloride content of the polder water in the delta area is often considerable. Moreover, harm is being done to some agricultural areas by desiccation.

The closing of the estuaries constitutes the most effective means of checking the penetration of sea water. It will then be possible to desalt the waters farther inland. Enough fresh water will generally become available for agricultural purposes.

The distribution of fresh water in the tidal reaches of the Rhine and the Meuse will be partially controllable, because it will be possible to regulate the flow by means of large sluices in the Haringvliet and the Volkerak. By reducing the discharge, more water will be carried off through the Rotterdam Waterway than flows down it at present, with the result that the quantities of sea water penetrating this channel will be reduced to reasonable proportions.

For the fresh water supply of the southwestern part of the Netherlands, and particularly for those areas which receive their water from the upper reaches of the Rotterdam Waterway, it would be most advantageous if, within the framework of the Delta Works, the Oude Maas could also be shut off, at least during periods in which the volume of water coming down the Rhine is small.

However, in spite of the execution of the Delta Works and the closing of the Oude Maas, an adequate supply of fresh water from the upper reaches of the Rotterdam Waterway still cannot be guaranteed under all circumstances. This is mainly due to the fact that Rhine water usually has an excessively high chloride content when the river is very low.

The dykes shutting off the Brouwershavense Gat, the Eastern Scheldt and the Veerse Gat, together with the dam across the Volkerak, will enclose the so-called Zealand Lake. 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 sluice in the Volkerak dam already mentioned.

It is likely that the water of the Zealand Lake will be desalted in a few years, provided the discharge facilities are efficiently located and equipped and have sufficient capacity.

When the Zealand Lake has been desalted large quantities of river water will still be required to keep it fresh, because for a long time to come brackish drainage water from the surrounding polders will continue to be discharged into it. The quantities needed will be particularly large when the river water admitted is not sufficiently fresh.

As there are limits to the discharge capacity of sluices and also since sufficient quantities of water for flushing purposes will not always be available, the contingency must be reckoned with that it may not be possible to maintain an average chloride content of less than 300 mg Cl/litre under all circumstances.

When the estuaries have been closed, the levels and rates of flow in the waters farther inland will undergo changes.

In the Rotterdam Waterway, which will remain open to the sea, the water levels will not alter appreciably, but the rates of flow in the lower reaches will decrease considerably. This will be an advantage to chipping.

On the rivers Noord and Dordtse Kil, which connect the open Rotterdam Waterway with the Haringvliet and the Hollands Diep – the latter two to be dammed off from the sea – the rates of flow will become higher than they are now. Any modifications of these rivers will call for special study.

In the Haringvliet basin the rates of flow will generally become much lower than they are at present. The high-water levels will be lower, but the ebb tide levels will be appreciably higher. This will entail the necessity of making provision for the drainage of polders and higher ground.

In the closed Zealand waters the influence of tidal movements will disappear completely or very nearly so. The design of the lake formed there and the control of its water level will require further study. It is not only considerations of safety and the interests of those who will benefit by the creation of a large fresh water reservoir that are important, but also matters involving drainage, land reclamation, recreation, shipping and fisheries.

The author is Ir. K. F. Valken.

## 0.7 RÉSUMÉ

### **Les aspects hydrologiques du régime des eaux dans la région des cours maritimes et des estuaires du Rhin et de la Meuse après l'achèvement des Travaux du Delta**

Les Pays-Bas dépendent principalement du Rhin et de la Meuse pour leur ravitaillement en eau douce. Le débit de ces deux fleuves pourrait satisfaire amplement les besoins domestiques, industriels et agricoles, s'il ne fallait en consacrer une partie importante au combat contre l'invasion de l'eau de mer. L'eau marine pénètre dans les estuaires,

se propage en amont et fait accroître la salinité des eaux dans les polders par l'effet de l'infiltration et aussi du fonctionnement des écluses ou autres ouvrages maritimes. Elle est contrebalancée en partie par l'apport des eaux plus douces provenant des fleuves. L'imperfection de cette solution s'aggrave avec l'augmentation alarmante de la teneur en chlorures des eaux du Rhin, due à l'apport croissant d'eaux résiduelles contenant du sel, en provenance de la Ruhr et de l'Alsace.

Par le manque d'une quantité suffisante d'eau douce pour repousser les eaux saumâtres dans les polders, on constate dans ces régions une teneur en chlorure très élevée. De plus, le manque d'eau douce a déjà causé des dommages à l'agriculture par l'effet de la sécheresse.

La clôture des estuaires constitue le moyen le plus efficace pour arrêter la pénétration de l'eau de mer. Cette opération permettra d'adoucir les eaux de l'intérieur du pays, et d'y retenir une quantité utilisable suffisante.

La répartition des quantités d'eau d'amont déversées dans les cours inférieurs des rivières pourra être contrôlée jusqu'à un certain point au moyen des grandes écluses de décharge dans la digue du Haringvliet et d'une vanne dans le barrage du Volkerak. En réduisant les quantités déversées, on pourra faire écouler par le Canal de Rotterdam plus d'eau qu'il n'est possible actuellement. Par conséquent les quantités d'eau de mer pénétrant dans le pays par cette ouverture pourront être ramenées dans la plupart des cas à des proportions admissibles.

Pour l'approvisionnement en eau douce du Sud-Ouest des Pays-Bas, et en particulier pour les régions qui s'alimentent au cours supérieur du Canal de Rotterdam, il serait avantageux dans le cadre des Travaux du Delta de pouvoir aussi fermer la Oude Maas, du moins pendant les périodes de faible débit du Rhin.

Cependant, en dépit des Travaux du Delta et de la clôture de la Oude Maas, l'admission de quantités suffisantes d'eau douce par le cours supérieur du Canal de Rotterdam ne pourra pas être garantie dans toutes les circonstances, notamment parce que les eaux d'amont provenant du Rhin présentent généralement une teneur en chlorure excessive lorsque le débit de cette rivière est très faible.

Les digues fermant le Brouwershavense Gat, l'Escaut de l'Est et le Veerse Gat, ainsi que le barrage du Volkerak délimiteront ce qu'on appelle le Lac Zélandais. Ce lac sera alimenté principalement par les eaux du Rhin et de la Meuse qui pourront être amenées par le bassin du Haringvliet et par la vanne d'admission prévue dans le barrage du Volkerak.

Il est probable que la désalinisation du Lac Zélandais puisse se réaliser en quelques années, pourvu que les ouvrages de décharge soient conçus suffisamment efficaces. Après la désalinisation il faudra toujours de fortes quantités d'eau d'amont pour faire des chasses afin de limiter la teneur en sel, étant donné qu'il recevra encore longtemps les eaux de déversement saumâtres des polders environnants. C'est surtout le cas quand l'eau à admettre n'est pas suffisamment douce.

Etant donné les limitations du débit disponible, il faudra s'imposer des restrictions à ce sujet. Il ne faut pas compter pouvoir maintenir la teneur en chlorures au-dessous de 300 mg de Cl/litre dans n'importe quelles conditions.

Par suite de la clôture des estuaires il se produira des changements dans les niveaux d'eau et les vitesses de courant des fleuves.

Au Canal de Rotterdam les niveaux d'eau ne changeront guère, mais les vitesses de courant dans le cours inférieur diminueront considérablement. C'est là un avantage pour la navigation.

Dans les rivières Noord et Dordtse Kil, qui relie le Canal de Rotterdam, ouvert, au Haringvliet, et dans le Hollands Diep fermés du côté de la mer, les vitesses de courant seront plus grandes que maintenant. Des installations éventuelles à prévoir pour ces rivières méritent une attention spéciale.

Dans le bassin du Haringvliet les vitesses de courant seront généralement beaucoup moindres qu'actuellement. Les marées hautes seront plus basses, mais les marées basses sensiblement plus élevées. C'est pourquoi il faudra prendre des dispositions relatives à l'évacuation des eaux des polders et des terres plus élevées.

Dans les fleuves zélandais fermés, l'influence des marées disparaîtra entièrement ou presque. L'aménagement et le réglage des niveaux du lac qui y sera formé demande encore une étude plus approfondie. Ici ce sont non seulement les problèmes de la sécurité et de la création d'une provision adéquate d'eau douce qui entrent en jeu, mais aussi ceux du drainage, de l'assèchement des terres, de la récréation, de la navigation et de la pêche.

L'auteur est Ir. K. F. Valken.

## 1.0 SAMENSTELLING VAN DE BIJDRAGE

### 1.1 Beperkingen

In deze bijdrage voor het Rapport Deltacommissie zullen in hoofdzaak de waterstaatkundige aspecten van de waterhuishouding in het deltagebied worden behandeld. De landbouwkundige zijde zal alleen worden aangeroerd voor zover dit voor het verkrijgen van een algemeen inzicht noodzakelijk is. In principe wordt hiervoor verwezen naar o.m. de studies van de Commissie Onderzoek Landbouw-waterhuishouding Nederland (C.O.L.N.) [5], naar de onderzoeken van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en naar die van de Cultuurtechnische Dienst. Ook met betrekking tot de overige aspecten, die met de waterhuishouding in het deltagebied samenhangen, wordt gerefereerd aan de onderzoeken van de daarbij betrokken commissies en instellingen.

Gelet op de veelzijdigheid der verschillende onderwerpen, die ondanks de bovengenoemde wijzigingen toch nog blijft bestaan, was het noodzakelijk, deze bijdrage te beperken tot een beknopt overzicht van de voornaamste aspecten, die met de waterhuishouding in het deltagebied verband houden. De studie is bovendien nog niet zover gevorderd, dat al deze aspecten reeds in detail behandeld kunnen worden. *Met nadruk zij er dan ook op gewezen, dat men in de grondslagen, die voor de uitwerking van deze bijdrage gekozen moesten worden, geen dirigerende richtlijnen voor de toekomst moet zien.* Bij het begin van elke studie moet men nu eenmaal van een aantal veronderstellingen uitgaan, die uiteraard zo goed mogelijk gefundeerd moeten zijn, doch waarvan men niet kan verwachten, dat zij – gelet op de vele vaak tegenstrijdige belangen, die bij de waterhuishouding in het deltagebied zijn betrokken – in alle gevallen kunnen worden gehandhaafd. Hoewel dus valt te voorzien, dat verschillende van de uitgangspunten door nader onderzoek nog wijzigingen zullen ondergaan en ten slotte de praktijkervaring ten aanzien van de waterverdeling en het verbruik de beste leermeester zal zijn, kan toch wel worden aangenomen, dat de algemene strekking van hetgeen thans bekend is, een grondslag vormt, waarop doeltreffend kan worden voortgebouwd. Met een eventuele nieuwe Schelde-Rijnverbinding is geen rekening gehouden. De invloed op de waterhuishouding, die mogelijk kan uitgaan van de in het kader van het Europortplan en het Sloeplan uit te voeren werken, is evenmin in rekening gebracht, daar omtrent deze werken te weinig gegevens vaststonden ten tijde van het opstellen van deze bijdrage.

### 1.2 Inhoud van de bijdrage

Nagegaan zal worden hoeveel oppervlakte voor het deltagebied beschikbaar is door de aanvoer van de bovenrivieren en de afwatering van polders en hoge gronden en hoeveel na uitvoering der deltawerken aan open waterreservoirs kan worden onttrokken.

Daartegenover zal de hoeveelheid worden gesteld, die in de toekomst naar schatting nodig zal zijn voor agrarische, huishoudelijke, zakelijke en industriële doeleinden, alsmede voor het terugdringen van zeeewater en het wegspoelen van zoute kwel.

Voor de toestand, die na uitvoering van de deltawerken in het gebied der benedenrivieren en zee-armen mag worden verwacht, zijn water- en chloridebalansen samengesteld. Daarbij zijn aanvoer, verdeling, verbruik en kwaliteit over een vijfjarig tijdvak als van 1946 t/m 1950, waarin zowel natte als droge tot zeer droge perioden voorkomen, per maand beschouwd. De voornaamste uitkomsten van dit onderzoek vindt men in deze bijdrage neergelegd. Op basis hiervan zal de betekenis der deltawerken voor de waterhuishouding worden nagegaan, evenals de consequenties, die uit de verandering der waterstanden en stroomsnelheden zullen voortvloeien.

Ten slotte zal in een beknopte samenvatting speciaal de nadruk worden gelegd op de uiteenlopende functies van elk tot het Deltaplan behorend werk afzonderlijk.

### 1.3 Samenstelling en medewerkers

De bijdrage werd in 1957 samengesteld door Ir. K. F. Valken, destijds hoofd van de Afdeling Waterhuishouding van de Deltadienst, en later voor zover nodig door hem bijgewerkt. Schrijver stelt er prijs op, misschien ten overvloede, mede te delen, dat de in deze bijdrage ontwikkelde gedachtengang en het daaraan verbonden onderzoek geenszins het werk is geweest van hem alleen.

Vele personen in de Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium hebben zich, ook reeds vóór het rampjaar 1953, met de ontwikkeling van de waterhuishouding in het deltagebied beziggehouden. Na dit jaar gaf de Deltacommissie aan het werk mede richting.

Ook buiten dit verband hebben in de loop der jaren tal van onderzoekers zich op de bestudering van de waterhuishouding in het gebied van de benedenrivieren en zeearmen toegelegd.

Ten behoeve van de samenstelling van deze bijdrage heeft de schrijver contact gehad met vele van de bovenbedoelde deskundigen en specialistische instellingen. Voor hun medewerking zegt hij hun hier van harte dank. In het bijzonder noemt schrijver Dr. C. van den Berg en Ir. W. C. Visser van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Ir. H. van Rossum van de Cultuurtechnische Dienst en Ir. P. Santema van de Deltadienst, van wiens voorstudies hij met veel vrucht gebruik heeft kunnen maken. Evenzeer heeft schrijver tal van gegevens kunnen ontleen aan het onderzoek van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst, waarbij hij in het bijzonder de samenwerking met H. J. Stroband Ing. gaarne vermeldt. Berekeningen van de zoute kwel in het deltagebied werden voor schrijver uitgevoerd met medewerking van Ir. A. Volker, hoofd van de Dienst voor de Waterhuishouding van de directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat. Aan Dr. Ir. J. C. Schönfeld van dezelfde directie, die een belangrijk aandeel heeft gehad in het ten behoeve van de zoutbeweging op de Rotterdamse Waterweg verrichte onderzoek, dankt schrijver de samenstelling van de over dit onderzoek handelende paragrafen 9.1 t/m 9.3. Ten slotte stelt schrijver er prijs op om op deze plaats ook zijn naaste medewerkers, Ir. J. F. Duin, E. H. A. Timmerman Ing. en W. A. A. van Eyden, die op verschillende wijzen een werkzaam aandeel in het tot stand komen van deze bijdrage hebben gehad, met name te noemen.

## 2.0 ALGEMENE BESCHOUWINGEN BETREFFENDE DE WATERHUISHOUDING

### 2.1 Algemene beschouwingen

Het begrip waterhuishouding is voor Nederland betrekkelijk nieuw. De aandacht, die men vroeger aan het water besteedde, betrof oorspronkelijk alleen de stormvloedbeveiliging. Bij de oude Friezen had deze beveiliging nog een zuiver passief karakter; zij bouwden terpen. Eerst omstreeks het jaar 1000 ging men dijken bouwen, waarbij ook het begrip afwatering aan belangstelling won. Aanvankelijk was er alleen sprake van een natuurlijke afwatering. De eerste windmolen verscheen pas omstreeks 1400. Thans wordt Nederland droog gehouden door meer dan tweeduizend pompinstallaties. Na een eeuwenlange worsteling tegen een voortdurende overvloed van water hebben de ervaring en de technische ontwikkeling ten slotte geleid tot een toestand, waarin de beheersing van het water tot uiting komt in een vrijwel constant peil in sloten en watergangen. Door de verbetering van de afwatering ontstaat echter ook eerder een tekort aan water, waardoor op droogtegevoelige gronden aanzienlijke schade aan de gewassen kan ontstaan. De droge jaren 1947 en 1949 gaven aan het onderzoek naar de waterbehoefte van de landbouw een belangrijke stoot. Het gaat nu niet alleen meer om de afvoer van overschotten, doch evenzeer om de aanvulling van tekorten. Het begrip waterhuishouding, dat hiermede zijn intrede heeft gedaan, is voor ons land nog zó jong, dat het zich nog geenszins de plaats heeft kunnen verwerven die begrippen als *économie des eaux*, water management en water resource development in tal van andere landen zijn gaan innemen [33]. Toch wordt de noodzaak van een inventarisatie van alle bronnen van bruikbaar water, alsmede van alle behoeften, die nu en in de toekomst bevredigd zullen moeten worden, reeds in wijde kring gevoeld [1]. Een organisatorisch goed opgezet beheer, op basis o.m. van een in wetenschappelijk, technisch en economisch opzicht verantwoord programma voor de verdeling van de ter beschikking staande hoeveelheden water, zal nodig zijn en op den duur ongetwijfeld leiden tot een nationaal waterstaatkundig plan voor de waterhuishouding.

De noodzaak hiervoor volgt uit:

1. de bijzondere hydrologische gesteldheid van Nederland, waarbij het lage deel des lands aan verzilting blootstaat, terwijl op hoger gelegen en lichtere gronden in vele gevallen verdroging optreedt;
2. de toenemende vervuiling der oppervlakte-wateren als gevolg van huishoudelijk en industrieel afvalwater;



3. de steeds hoger wordende eisen, die de land- en tuinbouw stellen aan de kwaliteit van het water, alsmede aan de beheersing van grond- en slootwaterstanden, i.c. aan de afvoer van wateroverschotten en de aanvulling van tekorten;
4. de steeds toenemende vraag naar oppervlakte-water van goede kwaliteit voor de drinkwatervoorziening en de industrie.

Zowel het cultuurtechnische als het waterstaatkundige beleid richt zich gedurende de laatste decennia steeds meer op de waterhuishouding, op het zuiveren van afvalwater, het voorkomen van verdroging en het bestrijden van de verzilting.

Ook het waterstaatsrecht gaat zich aanpassen aan nieuwe inzichten, waarbij de gedachte ingang heeft gevonden, dat het steeds een veelheid van belangen is, die door waterstaatswerken worden gediend en die om erkenning vragen. In dit verband ontstond o.a. de Grondwaterwet Waterleidingbedrijven. Een wet op de zuivering van afvalwater is in voorbereiding.

Aangezien de behoefte aan water van goede kwaliteit in Nederland steeds toeneemt, gaan de mogelijkheden en beperkingen van watergebruik en -verbruik steeds meer een bepalende factor worden bij de verdere ontwikkeling van de landbouw en de industrie. De grote waterstaatkundige werken in het gebied van de voormalige Zuiderzee, de deltawerken in het zuidwesten des lands en hun trait d'union, de Rijnkanalisatie, worden dan ook voor een belangrijk deel gemotiveerd, doordat zij de primaire voorwaarden scheppen voor een zo gunstig mogelijke benutting van het water, waarover Nederland binnen zijn grenzen kan beschikken [33].

## 2.2 Bestaande situatie in het deltagebied

Nederland is voor de aanvoer van zoet water in hoofdzaak aangewezen op het buitenland, dat wil zeggen op de Rijn en de Maas, alsmede op enige kleine rivieren en beken. Het aandeel van de Rijn hierin bedraagt gemiddeld omstreeks 80%; des zomers ligt dit percentage veelal nog hoger.

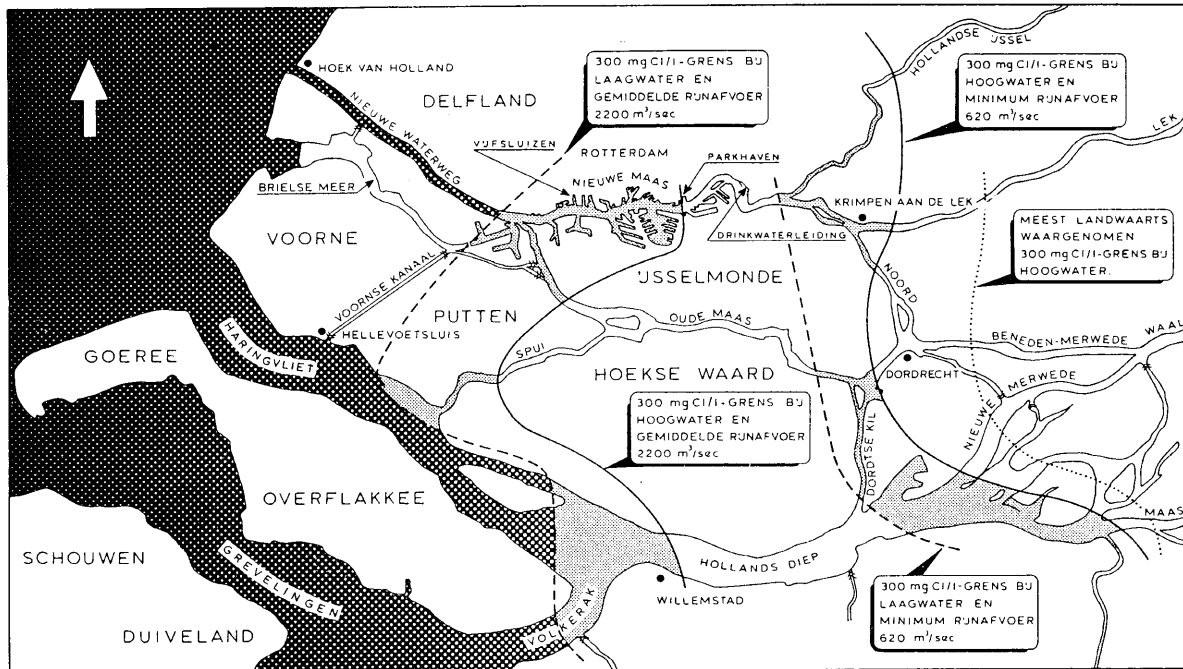
In vergelijking met deze aanvoer van buiten onze landsgrenzen is de hoeveelheid neerslag op eigen bodem gering. In de zomermaanden wordt ze zelfs overtroffen door de verdamping. Het neerslagtekort, dat hierdoor ontstaat, veroorzaakt in uitgestrekte gebieden droogteschade aan gewassen (zie bijlage IV.4 – 2.2.1).

Gemiddeld genomen, zou de aanvoer van oppervlakte-water ruimschoots voldoende zijn om in de waterbehoefte voor agrarische, huishoudelijke en industriële doeleinden te voorzien. In perioden met kleine Rijnafvoer ontstaat echter een tekort. Het scheppen van watervoorraden in open reservoirs en in de ondergrond krijgt hierdoor grote betekenis. Deze betekenis gaat overigens ver uit boven het verbruik van de voorraden in tijden van waterschaarste. Zo zal men er in oorlogstijd misschien op moeten rekenen, dat het Rijn- of Maaswater tijdelijk door atoomstof of anderszins vergiftigd kan worden [10]. Ook is het mogelijk, dat de buurstaten zeer belangrijke hoeveelheden rivierwater zelf willen gaan gebruiken. Deze en andere mogelijkheden mogen bij het inrichten van grote waterbekkens als het IJsselmeer en het te vormen Zeeuwse Meer zeker niet buiten beschouwing blijven.

Een belangrijk tekort aan bruikbaar rivierwater ontstaat voorts, doordat te veel van het oppervlakte-water nodig is en verloren gaat bij de bestrijding van de verzilting in de kustgebieden. Het zeewater dringt door de open estuaria stroomopwaarts. Kwel, lek- en schutwater bezwaren de polder- en boezemwateren met zout.

Onder de tegenwoordige omstandigheden is voor de Rotterdamse Waterweg een hoeveelheid oppervlakte-water nodig van omstreeks 900 m<sup>3</sup>/sec om aan de Nieuwe Maas voldoende water van bruikbare kwaliteit voor de landbouw, de drinkwatervoorziening en de industrie te kunnen onttrekken. De zoutgrens ligt dan bij hoogwaterkentering nabij de Parkhaven. Langs het Haringvliet komt gemiddeld 1200 m<sup>3</sup>/sec oppervlakte-water tot afvloeiing. Desondanks treft men benedenstrooms van Willemstad in het algemeen geen water aan, dat in aanmerking komt om voor agrarische doeleinden aan de rivieren en zeearmen te worden onttrokken. Een globaal overzicht van de zoutgrens op de benedenrivieren, d.w.z. van de plaatsen waar men een chloridegehalte van 300 mg Cl/l aantreft, is gegeven in figuur 2.2.1. Dit gehalte wordt in het algemeen als een grenswaarde voor kwaliteitswater beschouwd [24].

De meest onverwachte zoutbron vormt de Rijn, die grote hoeveelheden zout, afkomstig uit de kalimijnen in de Elzas en de Duitse mijn- en industriegebieden nabij de Ruhr, naar Nederland afvoert.



Figuur 2.2.1. Globaal overzicht van de 300 mg Cl/l-grenzen bij hoog- en laagwaterkentering in de benedenrivieren voor normale en zeer kleine oppervaterafvoeren

Sinds de vorige eeuw is deze hoeveelheid meer dan vervijfvoudigd. Bij kleine debieten van de Rijn leidt deze zoutafvoer tot zeer hoge gehalten, die de grens van bruikbaarheid voor de drinkwatervoorziening en de tuinbouw benaderen. Door internationaal overleg wordt getracht hieraan paal en perk te stellen.

Aangezien in de kustgebieden nog zoveel extra zout door kwel-, lek- en schutwater aan de polder- en boezemwateren wordt toegevoegd en de mogelijkheden voor doorspoeling onvoldoende zijn of niet bestaan, treft men in de polders vooral des zomers veelal zeer hoge chloridegehalten aan, waardoor schade wordt ondervonden. Gehalten boven 300 mg Cl/l zijn eerder regel dan uitzondering. In uitgestrekte gebieden meet men zelfs gehalten van 5000 mg Cl/l en meer. Een overzicht hiervan geven de verziltingskaarten van de C.O.L.N. [5], welke voor het deltagebied in vereenvoudigde vorm zijn samengevoegd op bijlage IV.4 – 2.2.2.

### 2.3 Toestand na uitvoering der deltawerken

Het afsluiten van de zeegaten vormt de meest doeltreffende methode om de voortschrijdende verzilting in het deltagebied tegen te gaan. Meer en beter water zal ter beschikking kunnen komen voor huishoudelijk en industrieel gebruik en vooral ook voor de landbouw, waardoor behalve zoutschade ook oogstdepressies door verdroging kunnen worden vermeden.

De deltawerken maken het tevens mogelijk om door middel van de Rijnkanalisatie ten koste van de Lekafvoer meer water langs de IJssel naar het IJsselmeer te sturen dan thans, zonder dat ingrijpende voorzieningen nodig zijn om de nadelige invloed hiervan op de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg op te heffen. Hierdoor vormen de deltawerken en de Zuiderzeewerken een waterstaatkundig geheel, waardoor de nationale waterbalans van aanvoer en behoefte ook in droge tijden grotendeels sluitend kan worden gemaakt. Daarbij zal de gunstige invloed van de werken in het deltagebied zich tot in het verre noorden des lands doen gevoelen.

Na uitvoering van de deltawerken zal men het gebied der benedenrivieren en afgesloten zeearmen kunnen onderverdelen in drie gedeelten, die, hoewel zij ten nauwste met elkaar samenhangen, toch elk een geheel eigen karakter hebben, te weten:

1. de *Rotterdamse Waterweg*, die in het belang van de scheepvaart open zal blijven naar zee;

2. het *Haringvlietbekken* met zijn grote uitwateringssluizen voor de afvoer van overtollig opperwater en ijs van Waal en Maas;
3. het *Zeeuwse Meer*, een waterreservoir bij uitstek, met een inlaatsluis in de Volkerakdam en lozingsmiddelen nabij de kust.

Aangezien het verbruik van water voor agrarische, huishoudelijke en industriële doeleinden gering is in vergelijking met de grote hoeveelheden opperwater, die ook na de uitvoering der deltawerken voor de zoutbestrijding nodig zullen zijn, zal de verdeling van het opperwater over de bovengenoemde drie eenheden hoofdzakelijk door de zoutbestrijding worden bepaald. De verdeling heeft men grotendeels in de hand, doordat men de afvoer via de Haringvlietsluizen en de stroomsluis in de Volkerakdam naar behoefte kan regelen.

Speciaal voor de Rotterdamse Waterweg zullen ook na de uitvoering der werken grote hoeveelheden opperwater nodig blijven om het binnendringen van zeewater tegen te gaan. Het grote verschil met de bestaande situatie bestaat evenwel hierin, dat men – door de afvoer van opperwater via de Haringvlietsluizen te beperken – meer water door de Rotterdamse Waterweg tot afvloeiing zal kunnen brengen dan thans van nature langs deze weg wordt afgevoerd. Daarbij moet er op 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 het stuwprogramma van de Rijnkanalisatie met zich mee zal brengen, dat minder water van de Lek langs de Rotterdamse Waterweg zal afvloeien. Het is mogelijk om de onttrekking van water aan de Rotterdamse Waterweg, evenals de natuurlijke afname van het debiet van deze rivier bij lage afvoeren, te compenseren via de Noord. Daartoe zal men de Haringvlietsluizen in tijden van waterschaarste geheel of nagenoeg geheel gesloten 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 Rotterdamse Waterweg tot afvloeiing komen, waardoor ook in tijden van kleine afvoeren het zout op de Rotterdamse Waterweg in het algemeen tot aanvaardbare grenzen kan worden teruggedrongen, zonder dat men een redelijke onttrekking van water voor de landbouw in het deltagebied of verder bovenstrooms hoeft te beperken. Dit valt echter alleen naar behoren te verwezenlijken, indien, als onderdeel van de deltawerken, ook de Oude Maas in zijn benedenmond afsluitbaar wordt gemaakt. Men bereikt daarmee namelijk, dat al het opperwater, dat naar de Rotterdamse Waterweg wordt gestuwd, via de Noord langs Rotterdam moet stromen, hetgeen voor de bestrijding van het zout aldaar een opmerkelijk 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, zoals reeds eerder werd opgemerkt, 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 afvoeren niet beschikbaar.

Zodra meer rivierwater ter beschikking is, kan 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 kan 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.

Doordat de Haringvlietsluizen normaliter bij vloed steeds gesloten zullen zijn en bij eb overtollig rivierwater door de sluisen wordt afgelaten, zullen het Haringvliet en de direct daarop aansluitende wateren in korte tijd verzoeten. Daarna kan het water in het Haringvlietbekken ten koste van slechts een geringe doorspoeling voor gebruik geschikt worden gehouden.

Het bekken zal via de Rotterdamse Waterweg in open verbinding blijven met de zee. Het is daardoor niet mogelijk om door peilverhoging een grote watervoorraad vast te leggen. Wel zal het bassin dienst doen als buffer bij het opvangen van variaties tussen de aan- en afvoer van rivierwater, alsmede bij het opvangen van pieken in het chloridegehalte van dit water, doch het vormen van een voorraad zal

beperkt blijven tot het opsparen van water in kleine afzonderlijke bekkens – zoals de boezem van de Brielse Maas – die slechts van lokaal belang zijn.

Wanneer de Haringvlietsluizen in perioden van zware ijsgang zowel bij eb als bij vloed geheel geopend moeten worden, zal het bekken tijdelijk opnieuw verziltten. Verwacht mag worden, dat daarna de ontziltling voldoende snel zal verlopen om weer vóór het groeiseizoen over water van goede kwaliteit te kunnen beschikken. Voor de zoetwatervisserij zal de min of meer plotseling optredende verziltling van het Haringvlietbekken schade kunnen opleveren.

Het Zeeuwse Meer, dat als gevolg van de afdamming der zeegaten en de dam door het Volkerak in het zuidwesten des lands zal ontstaan, is bij uitnemendheid geschikt voor het vormen van een zoetwaterreserve, zoals het IJsselmeer deze functie vervult voor het centrum en het noorden van ons land.

Wanneer voldoende doorspoeling met zoet water plaatsvindt en het binnendringen van zeewater door sluisen zoveel mogelijk wordt tegengegaan, zal het Zeeuwse Meer binnen enige jaren zijn ontzilt. Daartoe moeten spuigelegenheden worden aangelegd, terwijl bij de sluisen zout lek- en schutwater moet kunnen worden weggespoeld. Ook zullen grote hoeveelheden opperwater voor doorspoeling nodig zijn, om het eenmaal ontziltte Zeeuwse Meer, dat nog gedurende lange tijd door brak uitslagwater van polders zal worden bezwaard, zoet te houden.

De hoeveelheid zoet water, die het Zeeuwse Meer ontvangt door neerslag, alsmede van polders en hoge gronden, is gering. In droge zomermaanden is zij zelfs niet voldoende om de verdamping op het meer te compenseren. Voor de voeding is men dus in hoofdzaak aangewezen op het water van de bovenrivieren, dat via het Haringvlietbekken kan worden aangevoerd.

Doordat het Zeeuwse Meer kan worden opgezet, is het mogelijk een watervoorraad aan te leggen. In tijden van waterschaarste moet een deel van deze voorraad worden gebruikt om door sluisen binnendringend zout uit het meer te verwijderen. Een ander deel verdwijnt door verdamping. Het overblijvende levert een bijdrage in de waterbehoefte, die de landbouw in het zuiden van Nederland heeft, om in droge zomerperioden oogstdepressies te voorkomen. De bufferwerking van het meer maakt het mogelijk om grote verschillen tussen aangevoerde en te onttrekken debieten op te vangen. Daardoor kan water aan het meer worden ontleend, zonder dat dit ten koste van het waterverbruik voor zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg of elders in het deltagebied behoeft te gaan.

Wanneer bij kleine afvoeren het inlaten van water naar het Zeeuwse Meer wordt gestopt, zal men ook het intensieve doorspoelen van het meer moeten staken. Door de uitslag van zout polderwater zal dan het chloridegehalte in het bekken oplopen. Hoewel deze stijging door de bufferwerking van het meer sterk wordt vertraagd, zal men er toch op moeten rekenen, dat een voldoende laag zoutgehalte aanvaardbaar niet onder alle omstandigheden kan worden gehandhaafd. Eerst wanneer de 100 tot 200 meter dikke, met zout water gevulde zandpakketten in de diepe ondergrond van het deltagebied voldoende zullen zijn ontzilt, zal het zoutbezwaar door kwel vervallen. Dit zal echter nog wel een honderdtal jaren duren.

In de tussentijd blijft doorspoeling voor zover mogelijk geboden en zal men moeten trachten andere zoutbronnen uit te schakelen. Om deze reden wordt dan ook het aanleggen van schutsluisen in de nabij de kust gelegen afsluitdammen ontraden. Hierdoor zou namelijk veel extra zout op het meer worden gebracht, dat daaruit moeilijk is te verwijderen. Bij Vlissingen of Vere en bij Hansweert zullen speciale voorzieningen moeten worden getroffen om het zout, dat met het schutten binnendringt, aanstonds terug te spoelen.

Ook andere belangen dan die van de zoetwaterhuishouding kunnen bij de inrichting en peilregeling van het Zeeuwse Meer een rol spelen. Primair moet hierbij de veiligheid worden gesteld. Met het oog hierop dient een ruime mogelijkheid tot het bergen van water aanwezig te blijven. Andere belangen, zoals die van landaanwinning en recreatie, streven naar een verkleining van de komberging, hetzij door een andere bestemming van de oppervlakte, hetzij door verkleining of uitsluiting van peilvariëaties. Deze belangen kunnen hierdoor in strijd komen met de veiligheid en de zoetwatervoorziening. Hetzelfde geldt voor de eventuele inrichting van oesterbassins in het Zeeuwse Meer ter vervanging van de bestaande percelen. Slechts door nauwgezette studie en tal van proefnemingen zullen de onzekerheden, die aan de vele problemen met betrekking tot de inrichting en peilregeling van het Zeeuwse Meer nog kleven, weggenomen kunnen worden.

De afsluiting van de zeearmen zal grote veranderingen teweegbrengen in de waterstanden in het achterliggende gebied. Doordat het getij op zee alleen nog door de Rotterdamse Waterweg via de nauwe

verbindingsarmen Noord, Dordtse Kil en Spui zal kunnen binnendringen, zal de getijbeweging op het Haringvlietbekken sterk worden gedempt. Het verschil tussen de hoog- en laagwaterstanden op dit bekken zal daardoor in het algemeen zeer gering zijn, speciaal wanneer door de Haringvlietsluizen weinig water wordt geloosd.

Ook de middenstanden op het Haringvliet hangen met de oppervlaktewaterverdeling over deze rivier en de Rotterdamse Waterweg samen. Hoe meer water men door het beperken van de afvoer langs het Haringvliet naar de Rotterdamse Waterweg stuurt, des te hoger zullen de middenstanden op het bekken, in verband met de geringe doorstroomcapaciteit der tussenliggende rivieren, moeten stijgen. Een en ander heeft onvermijdelijk tot gevolg, dat weliswaar de hoogwaterstanden op het Haringvlietbekken en de direct aansluitende wateren lager zullen worden dan thans, doch ook dat de laagwaterstanden belangrijk hoger zullen zijn dan bij de bestaande situatie in het gebied der benedenrivieren en zeearmen het geval is. Tal van aanpassingswerken, speciaal op het gebied van de afwatering der polders, zullen hierdoor nodig worden. Hetzelfde geldt voor het Zeeuwse Meer, waar de getijbeweging in feite geheel komt te vervallen.

Ook rivierwerken zullen nodig zijn. In het bijzonder geldt dit voor de Noord, waar de stromen, mede als gevolg van het stuwen van oppervlaktewater van het Haringvlietbekken naar de Rotterdamse Waterweg, belangrijk zullen toenemen.

### 3.0 KWALITEITSEISEN VOOR OPPERVLAKTEWATER

#### 3.1 Algemene beschouwingen

De wateren in het deltagebied ondergaan, evenals elders in het dichtbevolkte Nederland, een zekere mate van verontreiniging door de lozing van afvalwater. Deze verontreiniging kan zijn van chemische, bacteriologische en biologische aard. In de tegenwoordige tijd moet men echter ook de mogelijkheden van een radioactieve besmetting onder het oog zien. Betreffende de ontwikkeling van deze verontreinigingen in de loop der tijden en de vraag hoe deze in de toekomst zal moeten worden geleid, wordt verwezen naar publikaties van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. [4].

Van doorslaggevend belang bij het gebruik van rivierwater, voor welk doel dan ook, is een voldoende hoog zuurstofgehalte. Om dit te bereiken, zal, in aanvulling op regelingen voor het zuiveren en lozen van afvalwater, toch steeds een zekere doorspoeling nodig blijven. Hierdoor wordt de natuurlijke kringloop van processen, waarbij het vuil zonder hinderlijke nevenverschijnselen wordt gemineraliseerd en onschadelijk gemaakt, bevorderd.

In dit verband werd door het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (R.I.Z.A.) berekend, dat circa 25 m<sup>3</sup>/sec nodig is om de benedenloop van de Lek voldoende te verversen. Voor de Amer en de Bergse Maas benedenstrooms van de mond der Donge werd de gewenste doorspoeling met het oog op de te verwachten sterke toeneming van de lozing van afvalwater, ondanks vóórzuivering van dit water, geschat op ten minste circa 50 m<sup>3</sup>/sec.

In de deltawateren zelf zijn de afvoeren, die nodig zijn voor de terugdringing van het zeewater op de Nieuwe Maas en bij schut- en uitwateringssluizen, alsmede voor de verdunning van zout uitslagwater van polders, veelal voldoende groot om tevens een normale verontreiniging door afvalwater te bestrijden. Hier ligt de maatstaf dus voornamelijk bij de kwaliteitseisen, die aangaande het chloridegehalte dienen te worden gesteld.

Uit gegevens van Dr. C. VAN DEN BERG, Directeur van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, die in [4] zijn opgenomen, valt hieromtrent het volgende af te leiden:

*a. Industrie.* Door de zeer uiteenlopende doeleinden, waarvoor het water in de industrie wordt gebruikt, alsmede omdat vaak aanpassende maatregelen kunnen worden getroffen, is het niet mogelijk om algemeen geldende kwaliteitseisen voor de industrie te noemen. Twee belangrijke aspecten van watergebruik zijn het gebruik als koelwater en als ketelwater.

Als koelwater worden in de praktijk alle soorten water gebruikt, tot zeewater toe. Toch zal men bij circulatiesystemen met koeltorens bij voorkeur water gebruiken met een chloridegehalte beneden 300 à 400 mg Cl/l.

Voor ketelvoeding zijn de eisen ten aanzien van het chloridegehalte zwaarder naarmate met hogere drukken en temperaturen wordt gewerkt. In vele gevallen wordt duin- of grondwater gebruikt, dat niet meer dan 100 à 200 mg Cl/l bevat.

In de textielindustrie dient het water bij voorkeur minder dan 600 mg Cl/l te bevatten om vocht-aantrekking in de weefsels te voorkomen.

De vlasindustrie krijgt moeilijkheden bij het roten, indien het gehalte boven 400 mg Cl/l stijgt.

In de levensmiddelenindustrie wordt veelal drinkwater gebruikt. Voor suikerfabrieken is een equivalent van 600 mg Cl/l in verband met de ongunstige invloed, die het natrium op de productie heeft, wel een uiterste grens.

*b. Landbouw.* De verbruikte hoeveelheden water door de planten zijn zo groot, dat het voor de landbouw, in tegenstelling tot de industrie, onmogelijk is op economische basis bijzondere zuiveringsmaatregelen toe te passen. Men staat dus steeds voor de keus het aangeboden water al of niet te aanvaarden, indien grenswaarden worden overschreden.

Voor de tuinbouw stelt men de grenswaarde in het algemeen op 300 mg Cl/l, waarbij dan in sommige gevallen de productie reeds terugloopt.

Bij de akkerbouw wordt oppervlaktewater gebruikt als verdunningsmiddel bij ziektenbestrijding. Een grens van 600 mg Cl/l wordt hierbij aangehouden. Is er sprake van aanvullende irrigatie, dan zal men goed doen, niet boven een gehalte van 400 mg Cl/l uit te gaan. Aangezien de polder- en boezemwateren, waaraan het verbruikswater wordt ontleend, in het deltagebied veelal worden bezwaard met zoute kwel, is doorspoeling nodig met water, dat belangrijk zoeter is dan hierboven aangegeven. Voor landbouwdoeleinden ware derhalve te stellen, dat er naar gestreefd moet worden het chloridegehalte in de rivieren en de afgesloten zeearmen beneden 250 à 300 mg Cl/l te houden.

*c. Veeteelt.* In aansluiting op de bovenstaande eisen voor de akkerbouw en de tuinbouw zijn die voor de veeteelt nauwelijks belangrijk meer. Het chloridegehalte, dat door het vee na enige gewenning verdragen wordt, ligt namelijk belangrijk hoger. De Rijksseruminrichting te Rotterdam acht 1200 mg Cl/l een concentratie, die nog zeer wel toelaatbaar is, terwijl 1800 mg Cl/l schadelijk kan zijn. In Zeeland is het vee echter aan veel hogere gehalten gewend.

Afwisseling van zoet en zout water schijnt schadelijker te zijn dan een constant, zelfs tamelijk hoog zoutgehalte. Digestiestoornissen en achteruitgang van de algemene gezondheidstoestand, waarbij zich onder bijzondere omstandigheden zelfs sterfgevallen kunnen voordoen, zijn hiervan het gevolg.

*d. Drinkwater voor de mens.* In het algemeen wordt 300 mg Cl/l als een grens beschouwd, waarbij de smaak van het drinkwater nog aanvaardbaar is. Eigenlijk is het chloridegehalte met betrekking tot de smaak een te globale maatstaf. Zo hangt de smaak van drinkwater in gunstige zin samen met het zuurstof- en koolzuurgehalte, terwijl anderzijds zwavelhoudende afvalstoffen en andere verontreinigingen, die evenmin direct verband houden met het chloridegehalte, de smaak kunnen bederven. Voor de omstandigheden, die zich in de benedenrivieren voordoen, is het equivalent van 300 mg Cl/l niettemin een praktisch bruikbare grens. Overigens zij opgemerkt, dat de keuze van een grens in het algemeen een opportunistische inslag heeft. Ieder land of iedere stad zal namelijk geneigd zijn deze keuze af te stemmen op hetgeen binnen economische grenzen mogelijk is. Zo heeft Amsterdam zijn grens bepaald op 125 mg Cl/l; in Duitsland en Frankrijk acht men een concentratie van 250 mg Cl/l aanvaardbaar, in Israël stelt men dit op 600 à 800 mg Cl/l, terwijl in Beyrouth zelfs sprake is van 1200 mg Cl/l.

### 3.2 Na te streven kwaliteit in het deltagebied

In het deltagebied zal men zich, evenals elders, ten aanzien van de kwaliteit van het water niet aan een zeker opportunisme kunnen onttrekken. Afhankelijk als men is van het chloridegehalte van het Rijnwater, dat in perioden van waterschaarste hoog kan oplopen, zal men een grens moeten stellen aan de hoeveelheid door te spoelen water, die additionele zoutbronnen als kwel-, lek- en schutwater en het zeewater, dat de Rotterdamse Waterweg binnendringt, moet verwijderen.

Bij het opzetten van de waterbalansen is er naar gestreefd, in het Haringvlietbekken en het Zeeuwse Meer chloridegehalten, hoger dan gemiddeld omstreeks 250 mg Cl/l, zoveel mogelijk te vermijden, terwijl wat de Rotterdamse Waterweg betreft, het streven er op gericht is om de chlorideconcentratie in

deze rivier nabij het belangrijke inlaatpunt van Delfland aan de Parkhaven zo weinig mogelijk boven 300 mg Cl/l te laten stijgen. Hiermede is dan tevens de kwaliteit van het water, dat verder bovenstrooms ten behoeve van de landbouw, de industrie en de drinkwatervoorziening aan de Nieuwe Maas en aan de Hollandse IJssel wordt ontleend, in redelijke mate verzekerd.

De bovengenoemde grenzen kunnen slechts dan, met overigens nog wisselend succes, worden aangehouden, nadat de beperking van de chloride-afvoer van de Rijn, die door de Nederlandse delegatie in de „Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution” werd voorgesteld, internationaal is aanvaard. Opgemerkt zij, dat de door de Nederlandse delegatie voorgestelde maximaal toelaatbare chloridebelasting van de Rijn te Lobith, die in deze bijdrage als basis voor verschillende berekeningen is aangenomen, inmiddels reeds aanzienlijk is overschreden.

#### 4.0 INDELING IN AFWATERINGS- EN VERZORGINGSGEBIEDEN

Na uitvoering van de deltawerken zal men Nederland volgens een waterstaatkundige hoofdingeling kunnen verdelen in de verzorgings- en afwateringsgebieden van:

- IJssel, IJsselmeer;
- Neder-Rijn en Lek;
- Waal;
- Maas;
- Rotterdamse Waterweg c.a.;
- Haringvlietbekken c.a.;
- Zeeuwse Meer.

De drie laatstgenoemde gebieden vormen te zamen het deltagebied. Aangezien dit gebied voor zijn aanvoer van zoet water in hoofdzaak is aangewezen op de afvoer van de bovenrivieren, kan men de waterhuishouding in het zuidwesten des lands niet onafhankelijk van die der bovenstrooms gelegen gebieden bezien. De afwatering van en de waterinlaat naar deze bovenstroomse gebieden dienen daarom mede in de beschouwing te worden betrokken. Overzichtskaarten (met uitzondering van het gebied van IJssel en IJsselmeer) voor de afwatering, de waterinlaat en de grondsoorten vindt men op resp. de bijlagen IV.4 – 4.0.1, 4.0.2 en 4.0.3. Een samenvatting hiervan geeft tabel 4.0.1.

Tabel 4.0.1

Overzicht van grondsoorten en oppervlakten van de voornaamste afwaterings- en verzorgingsgebieden in zuidelijk en westelijk Nederland; oppervlakten in 1000 ha

Waterstaatkundige hoofdingeling	Afwateringsgebied				Verzorgingsgebied			
	Zeeklei Veen	Rivier- klei	Zand	Totaal	Zeeklei Veen	Rivier- klei	Zand	Totaal
Neder-Rijn, Lek . . . . .	2	8	19	29	48	78	42	168
Waal, Boven-Merwede . . . . .	1	83	16	100	—	43	8	51
Maas, Bergse Maas . . . . .	7	122	1005	1134	12	89	251	352
Rotterdamse Waterweg c.a. . . . .	52	37	3	92	113	20	14	147
Haringvlietbekken c.a. . . . .	81	3	2	86	57	—	2	59
Zeeuwse Meer c.a. . . . .	95	—	126	221	113	—	58	171

De kaarten voor afwatering en waterinlaat geven uiteraard slechts een voorlopige indeling. De gekozen begrenzingen tussen de verschillende verzorgingsgebieden zullen mettertijd nog wel veranderingen kunnen ondergaan. Zo zullen bepaalde delen van Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht het water in de toekomst misschien betrekken uit het IJsselmeer in plaats van uit Neder-Rijn en Lek of Rotterdamse Waterweg. Ook staan de grenzen tussen het verzorgingsgebied van het Zeeuwse Meer en dat van de Maas en het Haringvlietbekken nog geenszins vast.

Bij de bepaling van de oppervlakten, die in de bijlagen IV.4 – 4.0.1, 4.0.2 en 4.0.3, alsmede in tabel 4.0.1 zijn aangegeven, werd uitgegaan van waarden, die door planimetrering werden verkregen. Daarin werden de volgende veranderingen aangebracht:

Voor de afwatering op de Rotterdamse Waterweg c.a. werd op grond van waterstaatkundige gegevens aangenomen, dat het Hoogheemraadschap Rijnland en het Grootwaterschap Woerden slechts voor een gedeelte, overeenkomende met 10% van hun oppervlakte, via de Hollandse IJssel op de bovenbedoelde rivier lozen.

Aangezien de afwatering op de Rotterdamse Waterweg benedenstrooms van de Westgeul nagenoeg geen nuttige bijdrage tot de waterhuishouding van het deltagebied kan leveren, werd deze buiten beschouwing gelaten. Van de lozing van Delfland werd daarom slechts 20% in rekening gebracht, terwijl die van de Brielse-Maasboezem geheel kwam te vervallen.

Ook de Polder Walcheren loost zijn water voor het overgrote deel buiten het deltagebied. Voor de uitslag op de Zandkreek werd circa 25% van de totale polderoppervlakte in rekening gebracht.

De oppervlakte van de gronden, die afwateren op de Maas, werd betrokken op het gebied benedenstrooms van Borgharen.

Met betrekking tot de waterinlaat waren uiteraard eveneens correcties op de geplanimeteerde oppervlakten noodzakelijk. Op grond van bestudering van gegevens van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, alsmede op grond van jaarverslagen over de landbouw [21], werd aangenomen, dat van de geplanimeteerde oppervlakte van de klei- en veengebieden circa 80% in cultuur is of zal worden gebracht. Voor de hooggelegen zandgronden kan dit percentage worden gesteld op gemiddeld 60, de uitgesproken duingebieden niet meegerekend. Een uitzondering hierop vormen de circa 39 000 ha metende Utrechtse Heuvelrug en het Gooi, die door hun bijzondere karakter slechts voor ongeveer 20% in cultuur gebracht zijn.

## 5.0 WATERAANVOER DOOR NEERSLAG

De afwatering van polders en hoge gronden, behorende tot de in tabel 4.0.1 genoemde afwateringsgebieden, werd berekend uit het neerslagoverschot, waarmee deze gebieden maandelijks worden bezwaard. Het neerslagoverschot werd als verschil tussen de neerslag en de verdamping van gewassen en bodem op dezelfde wijze bepaald als in 13.1 met betrekking tot het neerslagtekort nader zal worden uiteengezet.

De aldus berekende afwatering van polders en hoge gronden zal van de werkelijkheid afwijken als gevolg van de wisselvalligheid van de neerslag en verschillen in verdamping, welke zich binnen de gestelde periode van een maand voordoen, voorts door kwel of ondergrondse afvoer, alsmede voor variaties in grond- en slootberging.

Bij het opstellen van waterbalansen voor de grote rivieren en de afgesloten zeearmen kunnen sommige van de bovengenoemde afwijkingen buiten beschouwing blijven. Zo wordt bijvoorbeeld kwelwater, evenals lek- en schutwater, in de meeste gevallen op dezelfde rivieren en bekkens geloosd als die, waaruit het naar de polders toevloede. Waar dit niet het geval is, werden afzonderlijke correcties toegepast.

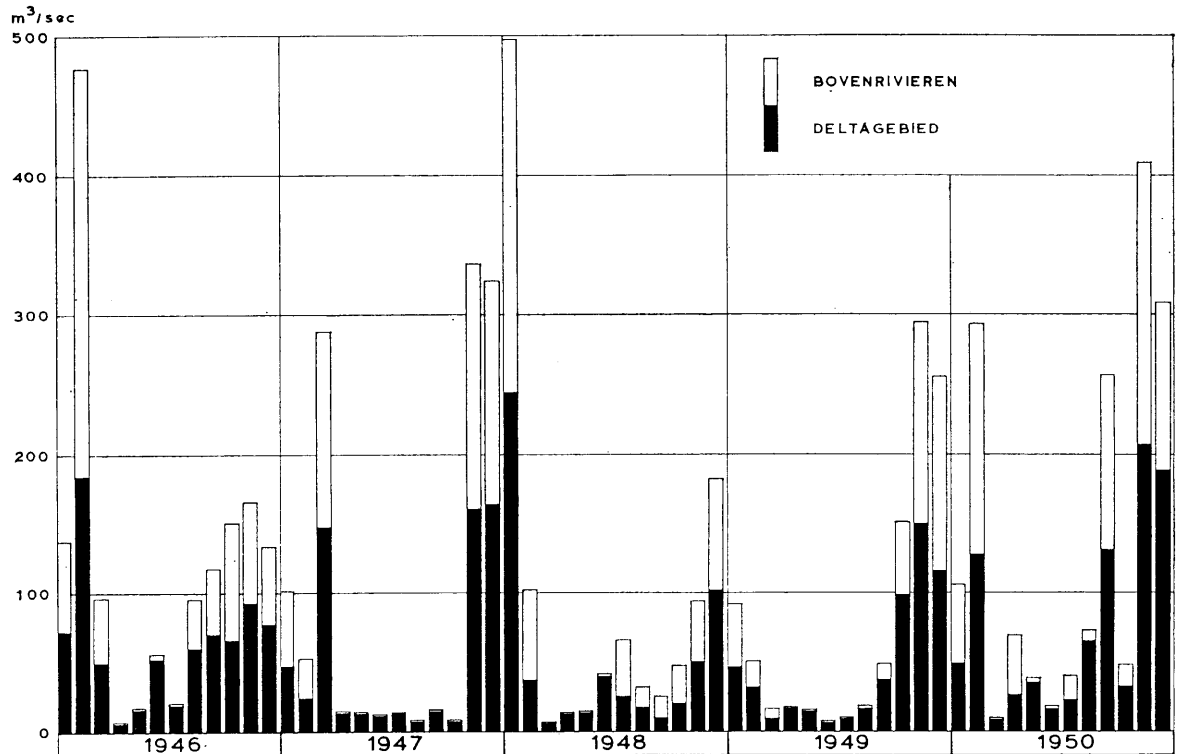
De afstroming van hoge gronden zal in droge zomerperioden een compenserende wateraanvulling voor deze gronden nodig maken, terwijl de behoefte aan wateraanvulling in lager gelegen gebieden er door zal verminderen. Op de balansen voor de grote rivieren vallen dergelijke posten grotendeels tegen elkaar weg. Iets dergelijks geldt voor de lozing van neerslag, waarmee een door inlaat gevuld leidingstelsel tijdelijk kan worden bezwaard.

Variaties in grond- en slootberging van polders werden gedeeltelijk verrekend bij de bepaling van de behoefte aan aanvullingswater. Voor een ander deel hebben zij een incidenteel karakter, zodat zij gemiddeld niet in rekening behoeven te worden gebracht. Voor het overige verlopen de wijzigingen zo geleidelijk, dat het toelaatbaar werd geoordeeld om hiervoor geen correcties op het uitgeslagen neerslagoverschot toe te passen.

Behalve door het uitslagwater van polders en hoge gronden worden de grote rivieren en de afgesloten zeearmen gevoed door de neerslag op deze wateren. De oppervlakte, waarop deze neerslag valt, bedraagt circa 30 000 ha voor de benedenrivieren, de Lek, de Neder-Rijn, de Waal en de Maas en bijna 52 000 ha voor het Zeeuwse Meer.



Van de hoeveelheden water, die als neerslagoverschot van polders en hoge gronden en als neerslag op het buitenwater aan het deltagebied ten goede komen, geeft figuur 5.0.1 een overzicht voor een periode met meteorologische omstandigheden als die van 1946 t/m 1950. In de maanden april tot en met september bedraagt deze wateraanvoer in totaal gemiddeld slechts 27 m<sup>3</sup>/sec. Voor de andere helft van het jaar bedraagt het neerslagoverschot gemiddeld 162 m<sup>3</sup>/sec. Het hoogste maandcijfer bedraagt bijna 500 m<sup>3</sup>/sec (januari 1948), het laagste minder dan 10 m<sup>3</sup>/sec.



Figuur 5.0.1. Overzicht wateraanvoer door neerslagoverschot van polders en hoge gronden en neerslag op buitenwater in een periode als van 1946 t/m 1950; wateraanvoer in m<sup>3</sup>/sec

## 6.0 WATERAANVOER VAN DE RIJN EN DE MAAS

### 6.1 Rijn

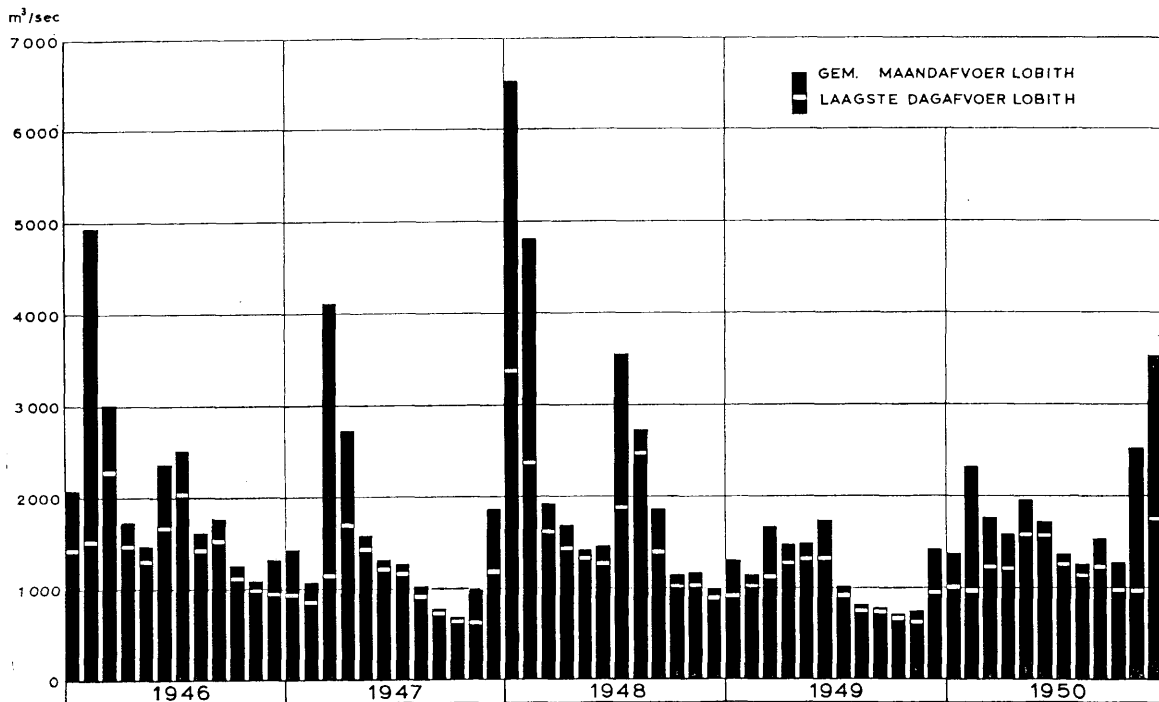
Het debiet van de Rijn te Lobith bedraagt gemiddeld omstreeks 2200 m<sup>3</sup>/sec. De kleinst waargenomen afvoer bedroeg circa 600 m<sup>3</sup>/sec in november 1947, de grootste circa 13 000 m<sup>3</sup>/sec in januari 1926. Van het verloop der maandgemiddelden en kleinste dagafvoeren te Lobith over de periode van 1946 t/m 1950, die voor de verdeling van het opperwater in deze bijdrage als voorbeeld werd gekozen, geeft figuur 6.1.1 een overzicht.

Aangezien het overgrote deel van het in Nederland benodigde oppervlaktewater aan de Rijn zal moeten worden ontleend, is het van belang iets nader in te gaan op de frequentie, waarmee speciaal kleine Rijnafoeren kunnen voorkomen. Omtrent deze frequentie verschaffen de bijlagen IV.4 – 6.1.1, 6.1.2 en 6.1.3 gegevens. Zij zullen o.m. worden gebruikt bij de behandeling van het programma tot verdeling van het opperwater over de benedenrivieren en het Zeeuwse Meer (zie 16.2) en het verbruik van water uit de voorraad van dit meer (zie 17.2).

Bijlage IV.4 – 6.1.1 geeft een overzicht van de cumulatieve frequentieverdeling van de Rijnafoer over de verschillende maanden van het jaar. Zij vormt een aangevulde uitgave van een soortgelijk overzicht, dat voorkomt in het Tienjarig Overzicht der Waterhoogten 1941 – 1950 [25]. Uit de bijlage valt af te lezen, dat grote Rijnafoeren het meest voorkomen in de maand januari. Bij het voortschrijden van

het voorjaar worden de afvoeren geleidelijk aan kleiner. Des zomers wordt enig profijt getrokken van de verhoogde sneeuwsmelting, waarvan de top vroeger valt naarmate de Rijnafvoer kleiner is. Een afvoer van 800 à 1000 m<sup>3</sup>/sec is daardoor voor de zomermaanden zeer laag te noemen. De kleinste afvoeren treft men gemiddeld aan in de maanden oktober en november.

Bijlage IV.4 – 6.1.2 geeft het gemiddeld aantal dagen per zomerhalfjaar, per winterhalfjaar en per jaar, waarin een bepaalde Rijnafvoer wordt over- en onderschreden.



Figuur 6.1.1. Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren en kleinste dagafvoeren van de Rijn te Lobith van 1946 t/m 1950; afvoeren in m<sup>3</sup>/sec

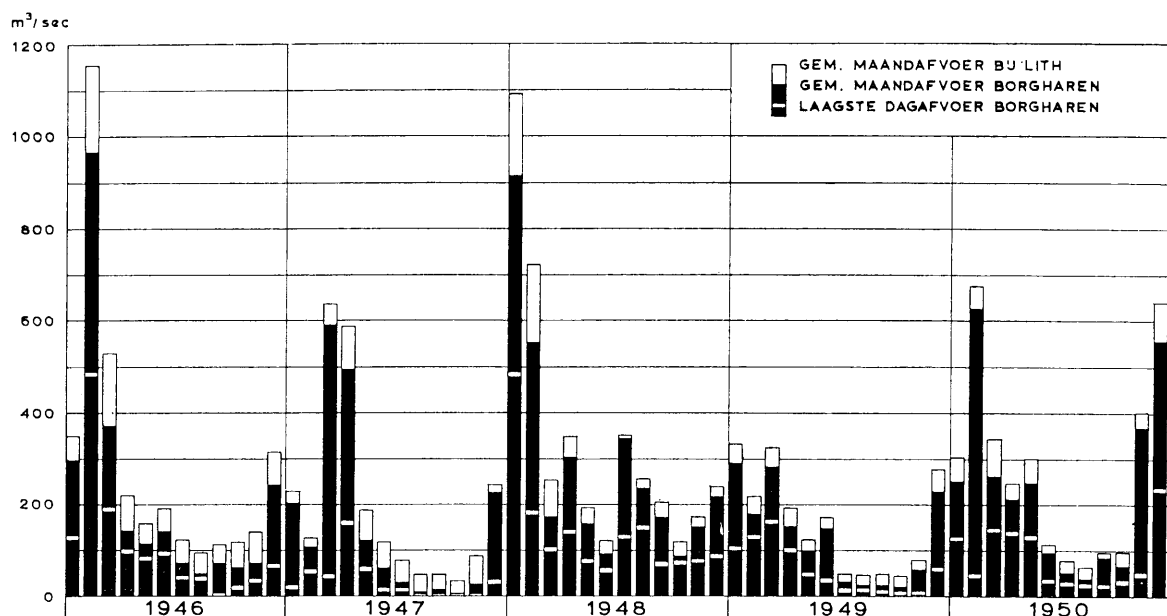
Voor de verdeling en het verbruik van oppervlaktewater is het niet alleen van belang om de bovengenoemde dagfrequenties van de Rijnafvoer te kennen, doch men zal tevens dienen te weten over hoeveel groepen van achtereenvolgende dagen die afvoer kan zijn verdeeld. Hierover verschaft bijlage IV.4 – 6.1.3 nadere inlichtingen.

## 6.2 Maas

De afvoer van de Maas bedraagt gemiddeld maar weinig meer dan  $\frac{1}{10}$  van de Rijnafvoer. De grootst waargenomen afvoer wordt geschat op 3000 m<sup>3</sup>/sec (januari 1926). De kleinste afvoer bedraagt na de Maaskanalisis slechts enkele kubieke meters per seconde.

Het verloop der maandgemiddelden over de meergenoemde periode van 1946 t/m 1950 is weergegeven in figuur 6.2.1.

Een overzicht van de cumulatieve frequentieverdeling van de Maasafvoer over de verschillende maanden van het jaar, alsmede voor zomerhalfjaar, winterhalfjaar en jaar, geven de bijlagen IV.4 – 6.2.1 en 6.2.2. Bijlage IV.4 – 6.2.1 vormt een aangevulde uitgave van een soortgelijk overzicht, dat voorkomt in het Tienjarig Overzicht der Waterhoogten 1941 – 1950 [25]. Hoewel de allerkleinste afvoeren, evenals die van de Rijn, vrijwel steeds buiten het groeiseizoen vallen, kunnen – door het ontbreken van smeltwater – ook de afvoeren in de maanden juni tot en met augustus reeds zeer gering zijn. Afvoeren van slechts 20 à 30 m<sup>3</sup>/sec kunnen in deze maanden worden verwacht.



Figuur 6.2.1. Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren van de Maas te Borgharen en te Lith en van de laagste dagafvoeren te Borgharen van 1946 t/m 1950; afvoeren in m<sup>3</sup>/sec

## 7.0 VERDELING VAN HET OPPERWATER OVER DE RIJNTAKKEN EN DE MAAS

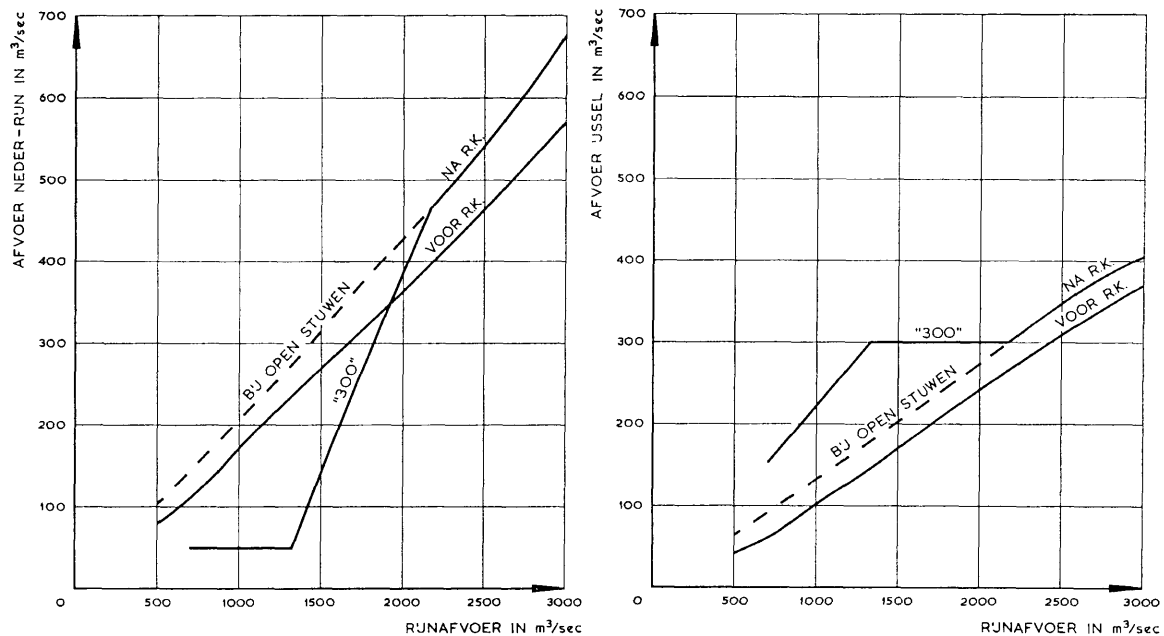
### 7.1 IJssel en Rijnkanalisatie

Het verzorgingsgebied van de IJssel en het IJsselmeer beslaat na het gereedkomen van alle IJsselmeerpolders bijna 60% van de oppervlakte van Nederland, de Waddeneilanden uitgezonderd. De voeding van het IJsselmeer heeft plaats door afwatering van polders en hoge gronden, door neerslag op het meer, alsmede door het water, dat via de IJssel uit de Rijn wordt aangevoerd. Deze voeding via de IJssel bedraagt meer dan de helft van de totale aanvoer naar het IJsselmeer, terwijl de IJsselafvoer op zichzelf slechts 10% bedraagt van de afvoer van Rijn en Maas te zamen. De verhouding tussen de aanvoer van de bovenrivieren en de oppervlakte van het verzorgingsgebied van IJssel en IJsselmeer is in vergelijking met het overige deel van Nederland dus wel zeer ongunstig. Men kan hierin verbetering brengen door de watervoorraad in het IJsselmeer op te voeren. Tevens ligt het voor de hand naar middelen uit te zien om de toevoer van water naar dit meer te vergroten. De voorgenomen kanalisatie van Neder-Rijn en Lek biedt hiertoe gelegenheid. Door de afvoer langs de gekanaliseerde Neder-Rijn te verminderen, wordt namelijk meer Rijnwater langs de IJssel gestuwd dan thans van nature langs deze rivier naar het IJsselmeer afvloeit. Speciaal in tijden van kleine rivierafvoeren is dit van belang.

Bij de bestudering der kanalisatie van Neder-Rijn en Lek door de directie Bovenrivieren van de Rijkswaterstaat kwamen voor de verdeling van het Rijnwater twee stuwplannen naar voren. Daarbij werd er naar gestreefd om ter verkrijging van voldoende vaardiepte op de IJssel ten minste 250 m<sup>3</sup>/sec langs deze rivier te stuwen, terwijl anderzijds IJsselafvoeren, groter dan 350 m<sup>3</sup>/sec, zoveel mogelijk moesten worden beperkt in verband met het onderlopen der uiterwaarden en het uitschuren van het rivierbed. De afvoer van de Neder-Rijn, ten koste waarvan de vermeerdering van de IJsselafvoer zou worden verkregen, zou ten minste 50 m<sup>3</sup>/sec moeten bedragen.

In verband met het evenwicht van de bodem van de IJssel zal het, blijkens inlichtingen van de directie Bovenrivieren, niet mogelijk zijn het stuwprogramma „350” bij voortdurende te handhaven. Men

zal bij tijd en wijle op het programma „250” moeten teruggrijpen. Gemiddeld zal de situatie bij benadering overeenkomen met een programma „300”. Dit programma, waarvan figuur 7.1.1 een overzicht geeft, werd als grondslag voor de verdeling van het water over de Rijntakken in deze bijdrage aangehouden.



Figuur 7.1.1. Waterverdeling over de Rijntakken na kanalisatie van Neder-Rijn en Lek bij stuwprogramma „300”, alsmede bij open stuwen

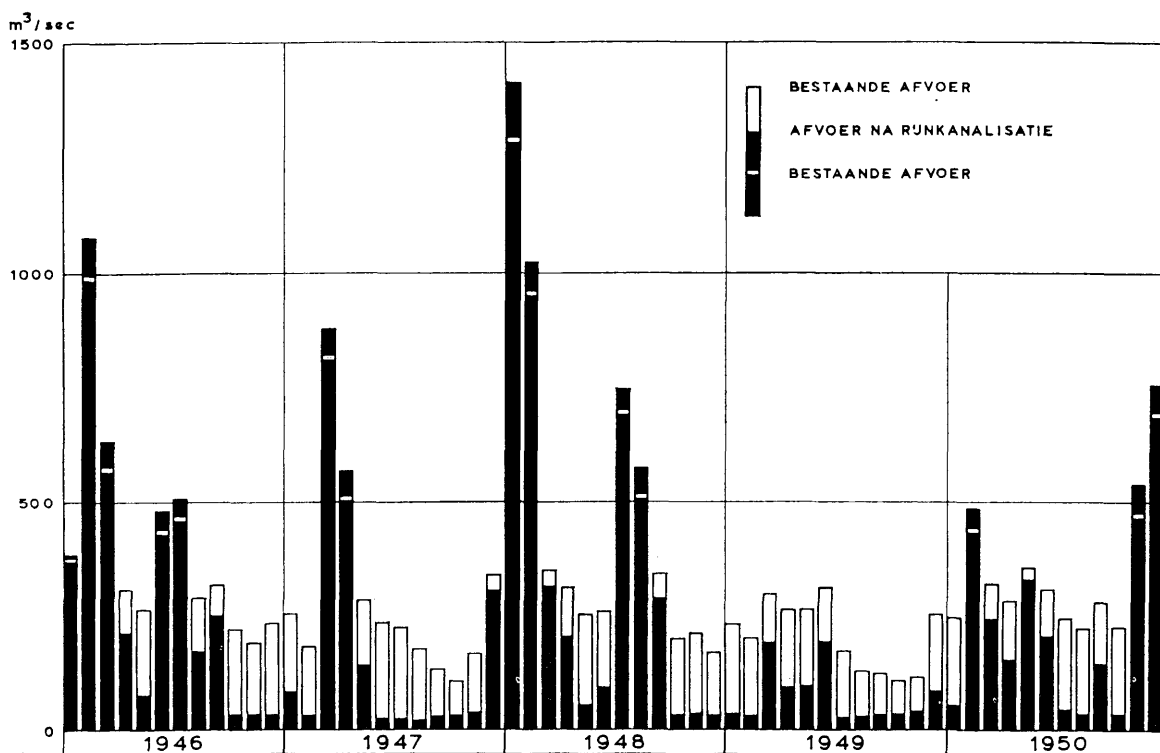
## 7.2 Neder-Rijn en Lek

De gestelde minimum-afvoer van 50 m<sup>3</sup>/sec langs Neder-Rijn en Lek is niet altijd voldoende om het bijna 170 000 ha metende verzorgingsgebied van deze rivier in de toekomst van het benodigde verversings- en aanvullingswater te voorzien en tevens de rivierpanden op bevredigende wijze door te spoelen. Uit de waterbalansen, die voor Neder-Rijn en Lek werden opgesteld, is gebleken, dat het tekort in uitzonderlijke gevallen kan oplopen tot 30 à 40 m<sup>3</sup>/sec. Daarbij werd volgens aanwijzingen van het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater op een minimale afvoer van 25 m<sup>3</sup>/sec voor doorspoeling van de benedenloop van de Lek gerekend.

Voor zover tekorten optreden, werd bij de samenstelling van de waterbalansen voor Neder-Rijn en Lek aangenomen, dat aanvulling kan plaatsvinden tot een maximum van 40 m<sup>3</sup>/sec met water, dat via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal aan de Waal wordt ontleend. Uit studies van de directie Boverivieren is gebleken, dat hierdoor geen grote hinder voor de scheepvaart zal ontstaan. Wel is het mogelijk, dat enige voorzieningen aan de sluisen van het Betuwepand nodig zullen zijn.

De vermindering van de afvoer van de Nieuwe Maas, die blijktens figuur 7.2.1 als gevolg van het stuwprogramma van de Rijnkanalisatie en de te verwachten toenemende wateronttrekking voor de drinkwatervoorziening en de landbouw zal ontstaan, kan na uitvoering van de deltawerken op eenvoudige wijze worden gecompenseerd door de afvoer van opperwater via de Haringvlietsluizen te beperken en daarmee die langs de Noord te vergroten. Het verzorgingsgebied van de Rotterdamse Waterweg c.a. zal dan in droge tijden nagenoeg geheel op de opperwaterafvoer van de Noord zijn aangewezen.

Zonder uitvoering van de deltawerken is het niet mogelijk de vermindering van de Lekafvoer op basis van de stuwprogramma's „250” tot en met „350” te compenseren, tenzij ingrijpende aanvullende werken zouden worden uitgevoerd. Aangezien deze werken na uitvoering van het Deltaplan overbodig zouden worden, werd daarop niet gerekend.



Figuur 7.2.1. Overzicht van de gemiddelde maandaafvoeren van de Lek nabij Krimpen van 1946 t/m 1950, alsmede van de overeenkomstige afvoeren na Rijnkanalisatie bij stuwprogramma „300”, wateraanvoer door het Betuwepand en ruime wateronttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening en de landbouw; afvoeren in m<sup>3</sup>/sec

### 7.3 Waal en Maas

De landbouwgronden in Midden- en Noord-Limburg, alsmede die in het midden en het oosten van Noord-Brabant zijn het voordeligste te voeden door water in te laten uit de bovenloop van de Maas. In perioden van kleine rivierafvoeren is hiervoor echter onvoldoende water aanwezig.

Ten behoeve van het scheepvaartverkeer wordt een Maas-Rijnverbinding overwogen. Het Maaswater zou hierlangs eventueel kunnen worden aangevuld met water uit de Rijn. Omtrent deze plannen bestaan nog zoveel onzekerheden en tegenstrijdigheden, dat het niet verstandig is om de toekomstige watervoorziening van Limburg en Noord-Brabant daarop thans reeds te baseren.

Ook kan worden overwogen om aanvullingswater uit de Waal aan te voeren via bijvoorbeeld het Maas-Waalkanaal of een stroomsluis bij Sint-Andries. Blijkens studies van de directie Bovenrivieren zal men nabij Tiel (Betuwepand Amsterdam-Rijnkanaal) of verder benedenstrooms bij Sint-Andries in totaal bijna 100 m<sup>3</sup>/sec uit de Waal kunnen onttrekken. De vermindering van de vaardiepte op de Waal, die in dat geval bij de kleinst geregistreerde afvoer zou optreden, kan na uitvoering van de Rijnkanalisatie door plaatselijke verbeteringen van weinig ingrijpende aard worden vermeden. Een wateronttrekking verder bovenstrooms bij Weurt (Maas-Waalkanaal) zal ongetwijfeld meer moeilijkheden bieden en nog nadere studie vergen.

Een andere mogelijkheid zou zijn, het water voor het verzorgingsgebied van de Maas te betrekken uit het Haringvlietbekken via de Amer en de Bergse Maas. Hierdoor wordt echter de doorspoeling van de Maas in benedenstroomse richting gestagneerd. Een voorlopig onderzoek van het R.I.Z.A. heeft uitgewezen, dat dit zeer schadelijk zal zijn. Volgens dit instituut is een afvoer van de Maas van ten minste 50 m<sup>3</sup>/sec in verband met de reinheid van het water in haar benedenloop gewenst.

De hiervóór genoemde oplossingen voor aanvulling van het Maaswater uit Rijn, Waal of Haringvliet hebben het nadeel, dat de onttrekking ten koste gaat van de afvoer naar de benedenrivieren, waardoor in tijden van grote waterschaarste de zoutbestrijding op de Nieuwe Maas in gevaar komt. Wanneer men het aanvullingswater ontleent aan de watervoorraad in het Zeeuwse Meer, zal voor de bovenbedoelde zoutbestrijding meer water overblijven. Tussengelegen oplossingen, waarbij de watervoorziening

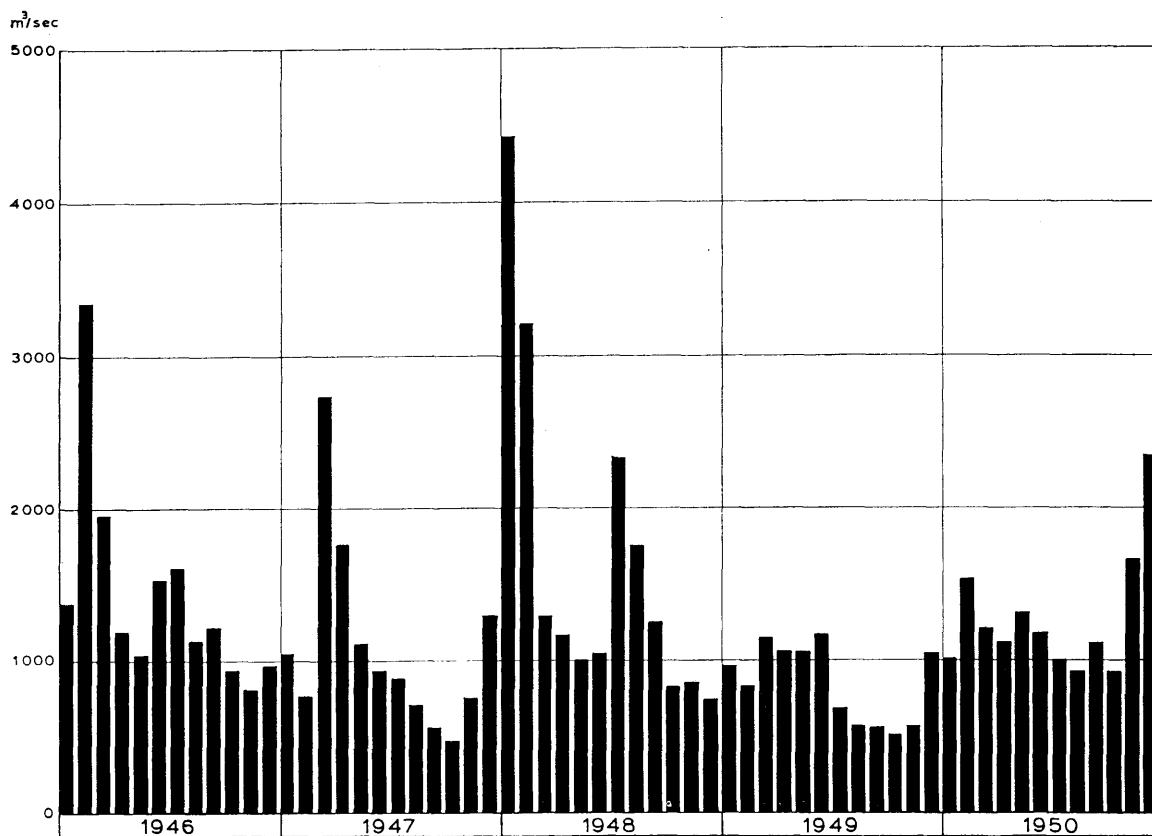
slechts gedeeltelijk of langs indirecte weg ten laste van het Zeeuwse Meer wordt gebracht, zijn wellicht mogelijk, doch ook deze zullen nog veel en tijdrovend onderzoek vergen.

In deze bijdrage moest bij het samenstellen van de waterbalansen op het onderzoek betreffende de watervoorziening van de landbouwgronden in het midden en het oosten van Noord-Brabant worden vooruitgelopen. Daarom werd getracht de verschillende mogelijkheden op een vereenvoudigde wijze tegenover elkaar te stellen. Daarbij bleek, dat de Maas normaliter voldoende water voor de landbouw ter beschikking kan stellen. In een periode als van 1946 t/m 1950 zouden echter gedurende enkele maanden grote tekorten ontstaan, speciaal in maanden als juli en augustus 1947, alsmede juli en augustus 1949. Volledige aanvulling van deze tekorten uit het Zeeuwse Meer zou de watervoorziening vanuit dit meer, zoals nog nader uit 17.2 zal blijken, zeer zwaar belasten. Het laat zich aanzien, dat daarbij in feite van een overbelasting kan worden gesproken.

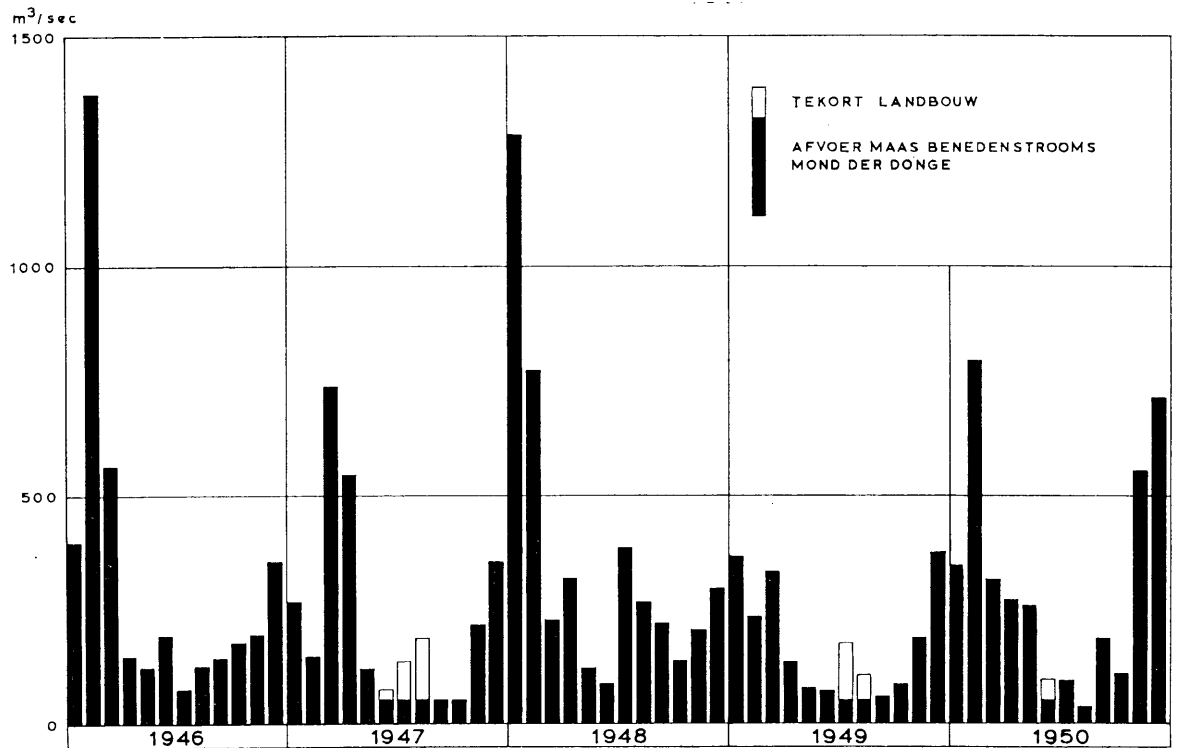
Aanvulling van de bovengenoemde tekorten ten koste van de afvoer langs de Nieuwe Waterweg – dus uit de Lek of de Waal – vergroot de moeilijkheden, die men in de hiervoor genoemde maanden met betrekking tot de waterinlaat uit de Nieuwe Maas, blijkens 9.4, toch al zal ondervinden.

Het bovenstaande vormt een reden om uit te zien naar mogelijkheden een gedeelte van de waterbehoefte voor de landbouwgronden in Noord-Brabant te voorzien uit diep grondwater. Veel onderzoek zal nog nodig zijn om na te gaan in welke mate een dergelijke voorziening zou kunnen plaatsvinden en wat daarvan de consequenties zouden zijn.

Een overzicht van de Waalafvoer nabij Gorinchem vindt men in figuur 7.3.1. Een eventuele wateronttrekking aan deze rivier ter aanvulling van de tekorten op de Maas werd daarbij niet in rekening gebracht. Van de Maasafvoer benedenstrooms van de mond der Donge, zoals deze na ruime wateronttrekking in een periode als van 1946 t/m 1950 zou zijn, alsmede van de tekorten, die zich daarbij zouden doen gevoelen, geeft figuur 7.3.2 een overzicht.



Figuur 7.3.1. Overzicht van de gemiddelde maandafoeren van de Waal bij Gorinchem in een periode als van 1946 t/m 1950 na Rijnkanalisatie bij stuwprogramma „300”, onttrekking via het Betuwepand en onttrekking ten behoeve van de landbouw; afvoeren in m³/sec



Figuur 7.3.2. Overzicht van de gemiddelde maandafoeren van de Maas benedenstrooms van de mond der Donge in een periode als van 1946 t/m 1950 na ruime wateronttrekking ten behoeve van de landbouw; afvoeren in  $\text{m}^3/\text{sec}$

## 8.0 CHLORIDEGEHALTE VAN DE RIJN, DE RIJNTAKKEN EN DE MAAS

### 8.1 Rijn en Rijntakken

Reeds in de inleiding kwam tot uiting in welk een overwegende mate Nederland voor wat betreft zijn watervoorziening is aangewezen op het water van de Rijn. Het behoeft dan ook geen verwondering te wekken, dat niet alleen aangaande de Rijnafvoer, doch ook met betrekking tot de kwaliteit van dit water, in de loop der jaren tal van onderzoeken zijn verricht [23]. Zo is door het bedrijf van de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam het chloridegehalte van het Rijnwater sedert 1927 vrijwel dagelijks gemeten, aanvankelijk te Rhenen, later bij Vreeswijk [13]. Het bedrijf van de Drinkwaterleiding der gemeente Rotterdam meet het chloridegehalte van de Nieuwe Maas ter hoogte van zijn waterwinwerk sinds 1875.

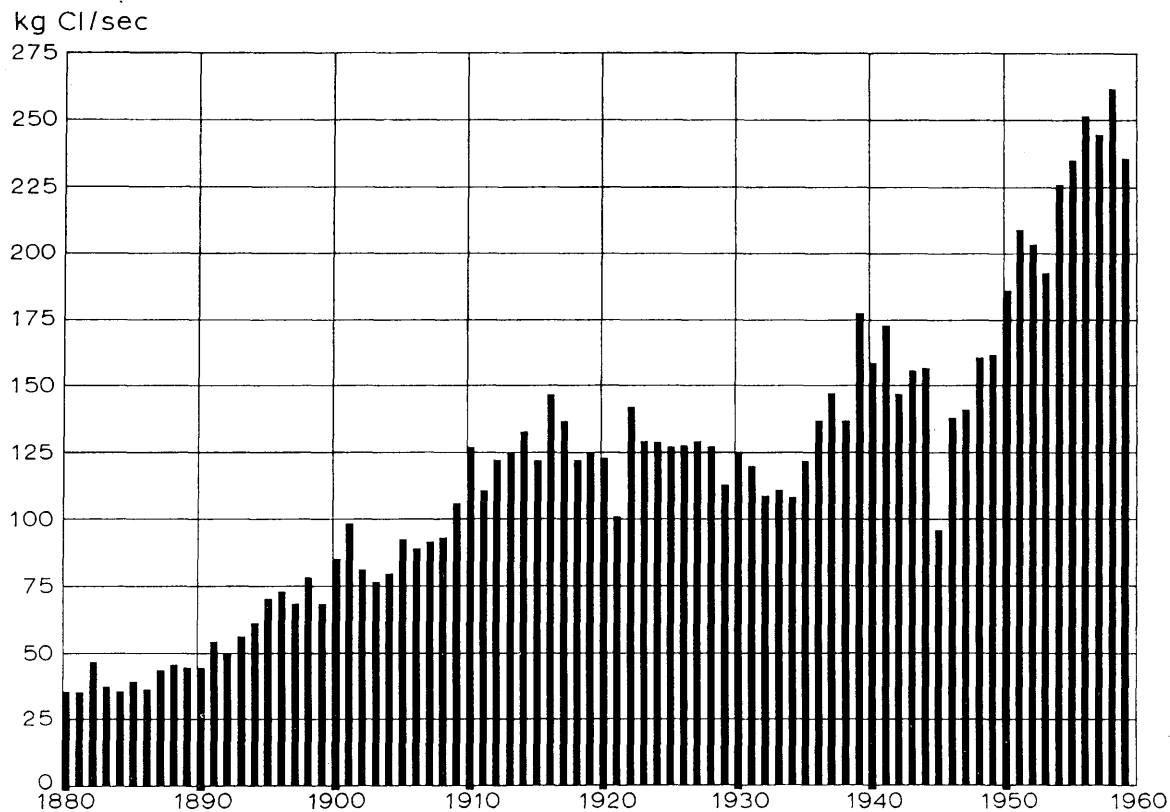
Met behulp van de bovengenoemde onderzoeken verkrijgt men een inzicht hoezeer de chloride-lozing op de Rijn in de loop der jaren is toegenomen. In feite weerspiegelt deze chloride-afvoer, die op figuur 8.1.1 vanaf 1880 is weergegeven, het gehele conjunctuurverloop in het stroomgebied van de Rijn. Zij toont de opkomst van het Ruhrgebied, waarbij de lage waarden in de periode 1930 – 1935 geweten kunnen worden aan de gevolgen van de economische crisis in die tijd. De stijging na 1934 is mede te verklaren uit de lozing van afvalzout van de kalimijnen in de Elzas, waarmede men toen begon. In 1940 werd de lozing van de mijnen in de Elzas gestaakt, terwijl ook de oorlogshandelingen in 1944 en 1945 zeer duidelijk op figuur 8.1.1 zijn af te lezen.

De hervatte lozing van de kalimijnen en vooral het krachtige economische herstel van Duitsland hebben sinds het dieptepunt van 1945 een ongekende toeneming van de chloride-afvoer ten gevolge gehad. In 1956 bedroeg deze gemiddeld reeds meer dan  $250 \text{ kg Cl}/\text{sec}$ , terwijl over kortere perioden nog grotere afvoeren werden waargenomen.

Gelet op de in 3.1 behandelde kwaliteitseisen voor gebruikswater en de omstandigheid, dat dit water in de benedenrivieren en zeearmen, in het IJsselmeer en in de laaggelegen polders nog aanzienlijk bezwaard wordt met binnendringend zeewater en zoute kwel, is het begrijpelijk, dat de Nederlandse

delegatie in de „Commission Internationale pour la protection du Rhin contre la pollution” naar een beperking van de chloridelozing in de Rijn streeft.

De Nederlandse delegatie beschouwt een chloride-afvoer te Lobith van 225 kg Cl/sec gemiddeld per jaar als een uiterste grens. Tevens werd door de delegatie de wenselijkheid naar voren gebracht om, in aansluiting op het bovenstaande, bij zeer lage rivierafvoeren de chloridelozing zodanig te beperken, dat een gehalte van 250 mg Cl/l bij Lobith niet zal worden overschreden.



Figuur 8.1.1. Chloride-afvoer van de Rijn te Lobith, gemiddeld over het jaar sinds 1880 in kg Cl/sec volgens gegevens van de „Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution”

Het verband tussen chloridegehalte en afvoer, indertijd ook bestudeerd door MAZURE [19], kan worden weergegeven als

$$c_0 = \frac{1000 k_0}{Q_0}$$

waarin:

- $c_0$  = chloridegehalte in mg Cl/l;
- $Q_0$  = rivierafvoer in m<sup>3</sup>/sec;
- $k_0$  = chloride-afvoer in kg Cl/sec.

Met behulp van deze formule en de afvoergegevens van de Rijn, die in bijlage IV.4 – 6.1.3 zijn opgenomen, kan men nagaan met welke frequentie een gehalte van 250 mg Cl/l wordt bereikt.

Uitgaande van de door de Nederlandse delegatie aangegeven afvoer van 225 kg Cl/sec, vindt men dan gemiddeld per jaar:

- 0,50 groepen van ten minste 1 dag;
- 0,31 groepen van ten minste 7 achtereenvolgende dagen;
- 0,18 groepen van ten minste 14 achtereenvolgende dagen;
- 0,11 groepen van ten minste 30 achtereenvolgende dagen.



Uit de vorenstaande opgave valt af te lezen dat men, ondanks de door de Nederlandse delegatie gestelde beperkingen, nog een kans heeft van 0,11 of wel van 11% per jaar, dat het chloridegehalte van het Rijnwater gedurende 30 of meer achtereenvolgende dagen de zeer hoge waarde van 250 mg Cl/l bereikt. Op een periode van 14 of meer achtereenvolgende dagen heeft men jaarlijks een kans van 18%.

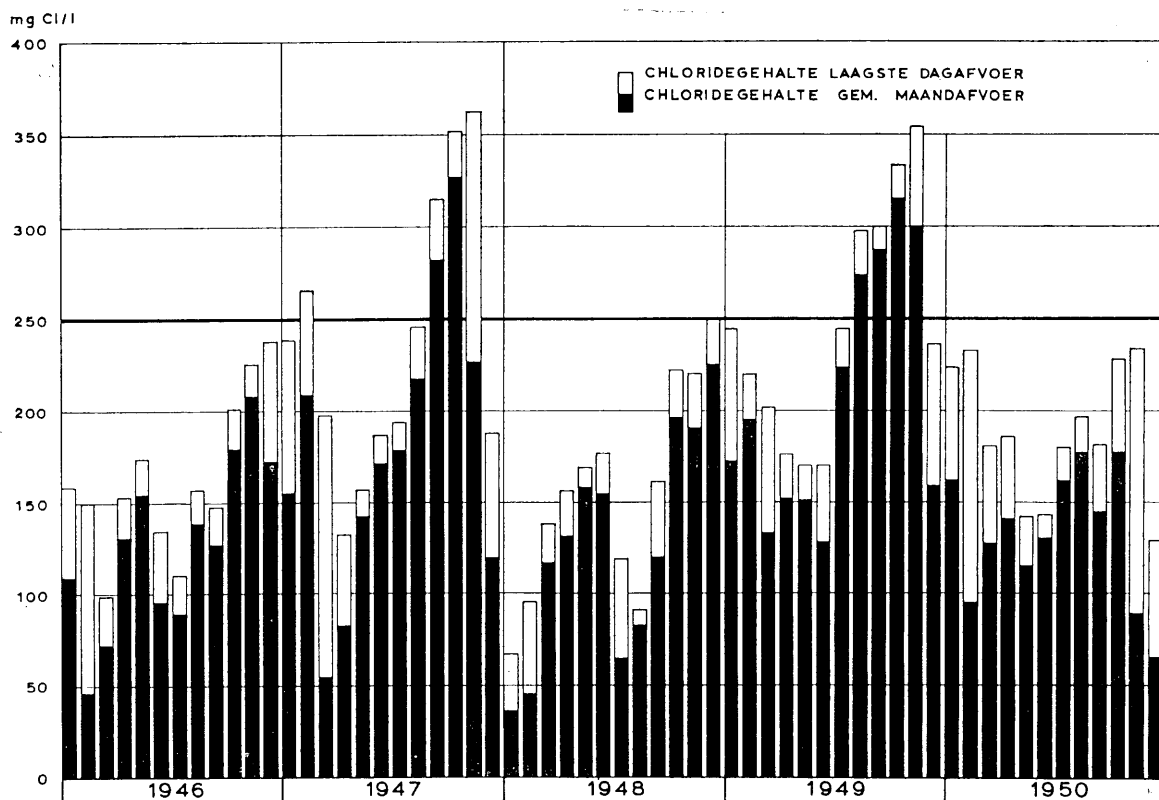
Voor de periode 1946 t/m 1950, die in deze bijdrage het uitgangspunt der berekeningen vormt, vindt men de chloridegehalten van het Rijnwater te Lobith, berekend op basis van de hiervoor gestelde richtlijnen, weergegeven in figuur 8.1.2.

Volgens onderzoeken [13] kan er van worden uitgegaan, dat tussen Lobith en de benedenrivieren geen noemenswaardige chloridelozing plaatsvindt. Langs deze weg zal dus het chloridegehalte niet of nagenoeg niet verder toenemen. Dit geschiedt eerst in de aan penetratie door zeewater onderhevige kustgebieden.

De grenswaarde van 225 kg Cl/sec heeft, zoals door de Nederlandse delegatie werd gesteld, betrekking op een gemiddelde waarde over het jaar. Tijdelijk zou men minder en ook meer zouthoudende afvalstoffen kunnen lozen, mits het gehalte bij Lobith maar niet boven 250 mg Cl/l stijgt. Een dergelijke maatregel levert voor een verzorgingsgebied als bijvoorbeeld dat van het IJsselmeer geen nadelen op. De aanvoer van Rijnwater naar het IJsselmeer is in vergelijking met de als buffer werkende inhoud van het meer namelijk zó gering, dat fluctuaties in de zoutaanvoer geen belangrijke invloed hebben op het momentele chloridegehalte in dit bekken.

Het zuidwesten des lands daarentegen heeft, ook na uitvoering der deltawerken, veel meer het karakter van een doorspoelings- en lozingsgebied. Hiervoor is de chloride-aanvoer per jaar, ook indien deze hoger zou worden gesteld dan gemiddeld 225 kg Cl/sec, in eerste aanleg van minder betekenis.

Van veel meer belang is het momentele chloridegehalte van het oppervlaktewater. Dit gehalte kan betrekkelijk laag blijven, indien men bij grote Rijnafvoeren naar verhouding belangrijk méér afvalstoffen zou lozen dan de gemiddelde hoeveelheid, doch daarentegen bij kleine Rijnafvoeren belangrijk minder.



Figuur 8.1.2. Overzicht van het chloridegehalte van de Rijn te Lobith bij een chloride-afvoer van 225 kgCl/sec, op basis van de gemiddelde maandafvoeren en kleinste dagafvoeren van de Rijn van 1946 t/m 1950; chloridegehalten in mg Cl/l

Bij een zelfde totale lozing van afvalstoffen per jaar zou dan in feite het chloridegehalte van het Rijnwater niet boven gemiddeld omstreeks 100 mg Cl/l behoeven te stijgen. Wat dit betekent voor de hoeveelheden water, die nodig zijn om nabij de kust het zout te bestrijden, blijkt o.m. uit tabel 9.4.1. Hieruit valt af te lezen, dat de bestrijding van het zout op de Nieuwe Maas nabij de Parkhaven na uitvoering der deltawerken circa 200 m<sup>3</sup>/sec minder opperwater zal vergen, wanneer de chlorideconcentratie van het Rijnwater 100 mg Cl/l bedraagt dan wanneer dit gehalte een waarde zou hebben van 250 mg Cl/l. In dit laatste geval zal men daardoor bij kleine opperwaterafvoeren voor de keuze komen te staan het chloridegehalte op de Nieuwe Maas hoog te laten oplopen, tot schade o.m. van de belangrijke land- en tuinbouwgebieden, die hun water aan deze rivier onttrekken, dan wel het nuttige waterverbruik elders in de delta te verminderen, ten nadele van de belangen aldaar.

## 8.2 Maas

Aangaande het chloridegehalte van het Maaswater zijn belangrijk minder gegevens bekend dan omtrent dat van het Rijnwater.

Sinds 1953 wordt de rivier evenwel op verschillende plaatsen regelmatig door het R.I.Z.A. bemonsterd. Uit deze gegevens valt een chloride-afvoer te becijferen van gemiddeld circa 5 kg Cl/sec. De Maas is dus belangrijk zoeter dan de Rijn.

Het debiet van de Maas is in vergelijking met de Waalafvoer, vooral in tijden van waterschaarste, uitermate gering. Daarom werd de bepaling van het chloridegehalte van het Haringvlietbekken en het Zeeuwse Meer, voor zover dit afhankelijk is van het chloridegehalte der bovenrivieren, eenvoudighalve alleen gebaseerd op de concentratie van het Rijnwater.

## 9.0 WATERVERBRUIK VOOR ZOUTBESTRIJDING OP DE ROTTERDAMSE WATERWEG

### 9.1 Beschouwingen betreffende het verziltingsmechanisme

#### 9.1.1. Inleiding

Bij de verzilting in de mondingsgebieden van grote rivieren speelt de getijbeweging een grote rol. Reeds op zuiver kinematische gronden kan hierdoor een waterdeeltje uit zee, dat zich aan het einde van de eb juist voor de mond van de rivier bevindt, met de vloed rivieropwaarts trekken tot een afstand van de mond, gelijk aan de vloedweg. Dit wordt nog versterkt, doordat het zeewater als gevolg van zijn groter soortelijk gewicht onder het lichtere rivierwater doordringt. Hierdoor kan in een rivier als de Rotterdamse Waterweg langs de bodem reeds een vloedstroom lopen, terwijl in de bovenlagen nog eb staat. Door deze ondervloed is de vloedweg nabij de bodem groter dan zonder soortelijk-gewichtsverschil tussen zee- en rivierwater het geval zou zijn. De verschijnselen gaan gepaard met de vorming van een zogenaamde zoutwig.

Het zout uit zee trekt overigens nog aanmerkelijk verder langs de rivier stroomopwaarts dan uit het bovenstaande zou volgen. Dit moet worden toegeschreven aan de werking van verschillende mengbewegingen van het water, die de getijbeweging begeleiden. Het kenmerkende van deze mengbewegingen is, dat aanvankelijk meer zeewaarts gelegen waterdeeltjes worden omgewisseld met meer landwaarts gelegen deeltjes. De zeewaarts gelegen watermassa, die in het algemeen zouter is dan verder bovenstrooms, geraakt daardoor in een zoetere omgeving, terwijl anderzijds de zoetere massa in een zouter milieu komt.

Als gevolg van verdere mengbewegingen op kleinere schaal zullen de verplaatste massa's elk min of meer opgaan in hun nieuwe omgeving. Het resultaat van de beschreven mengbeweging is, dat de meer zeewaartse omgeving zoeter en de meer naar binnen gelegen omgeving zouter is geworden. Er heeft dus in feite zouttransport in bovenstroomse richting plaatsgehad.

In een systeem als dat van de Rotterdamse Waterweg met de Oude Maas en de Nieuwe Maas en de daarmee verbonden havens vinden allerlei mengbewegingen als bovenbedoeld plaats. De voornaamste dezer bewegingen zijn de uitwisselingsstromen en de kombergingsstromen bij havenbekkens, de mengbewegingen bij kribvakken e.d., alsmede de turbulente uitwisseling tussen zoutere en zoetere lagen in het zoutwiggebied. Deze bewegingen geven in een soort estafette het zout uit zee steeds verder door langs de rivier naar boven.

Op deze wijze zouden op den duur de binnenwateren geheel met zeewater gevuld worden, ware het niet, dat door de aanvoer van zoet water door de bovenrivieren paal en perk wordt gesteld aan het opdringen van het zeezout.

Hierdoor kan zich een gemiddelde toestand instellen, waarbij het zoutgehalte van buiten naar binnen geleidelijk afneemt. In deze toestand zijn op ieder deel van de rivier het binnendringen van het zout door mengbewegingen en het terugdringen door de afvoer gemiddeld met elkaar in evenwicht.

We zullen hieronder trachten ons van dit evenwicht op globale wijze nader rekenschap te geven. Voor een dieper gaande studie wordt verwezen naar [27].

### 9.1.2. Nadere beschouwing van het zouttransport

Het zout- of chloridegehalte in een rivier vertoont aanmerkelijke variaties, zowel naar de plaats als naar de tijd. Ter vereenvoudiging beschouwen we hierna slechts het gemiddelde gehalte in het dwarsprofiel. Dit gemiddelde gehalte is dan evenwel nog een functie van de tijd, alsmede van de plaats van het dwarsprofiel, aangegeven door de coördinaat  $x$  langs de as van de rivier, positief in stroomopwaartse richting.

De fluctuaties met de tijd worden in de eerste plaats veroorzaakt door de getijstroom. Als gevolg hiervan schuift het gehele waterlichaam in de rivier heen en weer. De meer zeewaartse delen van dit lichaam hebben in het algemeen een hoger chloridegehalte dan de delen, die zich meer landwaarts bevinden, waardoor afwisselend zoutere en zoetere watermassa's het beschouwde dwarsprofiel passeren.

Daarnaast zijn ook de mengbewegingen van invloed op de fluctuaties met de tijd.

Ten einde ons probleem te vereenvoudigen, beperken we ons tot het geval van een stationair-periodieke getijbeweging (constant tijverskil) en een constante afvoer en beschouwen we het gemiddelde van het chloridegehalte  $c$  over een getijperiode. Dit gemiddelde, waarin dus de fluctuaties door de getijbeweging niet meer tot uiting komen, is nog een functie van  $x$ . Ons doel is nu die functie nader te bepalen, ten einde inzicht te krijgen in de mate, waarin het zout de rivier binnendringt.

We veronderstellen, dat er in de rivier mengprocessen plaatsvinden met een mengweg  $l$ , dat wil zeggen, dat watermassa's over afstanden  $l$  worden verplaatst en uitgewisseld tegen andere watermassa's, die een overeenkomstige verplaatsing in tegengestelde zin ondergaan. Laat het totale volume van de uitgewisselde watermassa's, die gedurende een getij een bepaald dwarsprofiel bijv. in stroomopwaartse richting passeren,  $V$  zijn. Dan is dus een volume  $V$  landinwaarts door het dwarsprofiel getrokken, doch een even groot volume is daartegen uitgewisseld en derhalve zeewaarts door het dwarsprofiel gegaan.

De plaatsen van herkomst van deze volumes liggen krachtens onze aannamen gemiddeld een afstand  $l$  uiteen. Dit betekent dat het gemiddelde verschil in chloridegehalte tussen het opgaande volume en het afgaande volume bij benadering bepaald kan worden door de langsgradiënt van het chloridegehalte  $c$ , te weten  $dc/dx$ , met de afstand  $l$  te vermenigvuldigen. Hieruit volgt, dat met de uitwisseling der beide volumes een resulterend chloridetransport naar binnen gepaard gaat, dat op

$$-\frac{dc}{dx} l V$$

gesteld kan worden.

Het gemiddelde transport per eenheid van tijd bedraagt

$$-\frac{dc}{dx} l \frac{V}{T},$$

waarin  $T$  de getijperiode voorstelt.

In feite zullen er allerlei mengprocessen met verschillende mengwegen  $l$  door elkaar optreden. Al deze mengprocessen leveren bijdragen, die evenredig zijn met de langsgradiënt van het chloridegehalte.

Dit leidt er toe, het resulterende gemiddelde transport per tijdseenheid voor te stellen door

$$-E \frac{dc}{dx},$$

waarin  $E$  het karakter heeft van een som van termen, elk van de vorm  $l V/T$ , zijnde het product van een mengweg  $l$  en een uitwisselingsafvoer  $V/T$ .

De grootheid  $E$  kan de *volumediffusiviteit* van het mengproces worden genoemd.

Tegenover het binnenwaartse transport van zout door menging staat een zeewaarts transport als gevolg van het feit, dat het gehele waterlichaam in de rivier na verloop van een getijperiode een verplaatsing in zeewaartse richting heeft ondergaan, veroorzaakt door de afvoer. Het hierdoor verplaatste volume bedraagt  $Q_0 T$ , waarbij  $Q_0$  de afvoer voorstelt.

De zeewaartse verplaatsing gaat gepaard met een transport van chloride dat gesteld kan worden op

$$Q_0 T c.$$

Dit is het verplaatste volume, vermenigvuldigd met het gemiddelde chloridegehalte ter plaatse.

Ter toelichting kan nog worden opgemerkt, dat, indien men afziet van toevallige, van getij tot getij variërende afwijkingen, het transport van chloride door de eb en het transport door de vloed in het algemeen gelijk zijn. Dit moet wel het geval zijn, indien de gemiddelde zouttoestand in de rivier in evenwicht is. De eb, waarvan het volume groter is dan dat van de vloed, heeft dan ook een lager chloridegehalte dan de laatste.

In de hier te volgen gedachtengang wordt evenwel ten aanzien van het chloridetransport onderscheid gemaakt tussen enerzijds de mengbeweging, waarbij steeds sprake is van het tegen elkaar uitwisselen van volumes en anderzijds de voortgaande verplaatsingen door de opperwaterafvoer. Wat het transport door deze afvoer betreft, is het verschil in chloridegehalte van eb en vloed niet van wezenlijke betekenis en kan in eerste benadering aan beiden het gehalte  $c$  worden toegekend.

### 9.1.3. Eenvoudige oplossing voor een enkelvoudige rivier

We veronderstellen, dat het opperwater zuiver zoet is, dat wil zeggen, dat op de bovenrivier geen transport van zout plaatsvindt. De zoutverdeling in de benedenrivier is dan gemiddeld in evenwicht, indien het binnenwaartse transport door menging en het zeewaartse transport door de afvoer elkaar juist opheffen:

$$-E \frac{dc}{dx} = Q_0 c. \quad (1)$$

Aan de mond ( $x = 0$ ) zal  $c$  gelijk moeten zijn aan het chloridegehalte van het zeewater aldaar,  $c_z$ . De oplossing van (1), die aan deze randvoorwaarde voldoet, is

$$c = c_z e^{-xQ_0/E}, \quad (2)$$

aangenomen, dat  $E$  constant is langs de rivier.

Deze oplossing laat in twee opzichten een interpretatie toe. In de eerste plaats kunnen wij het chloridegehalte  $c$  beschouwen als functie van  $x$ . We schrijven daartoe (2) in de vorm:

$$c = c_z e^{-x/s}. \quad (3)$$

Hierin is

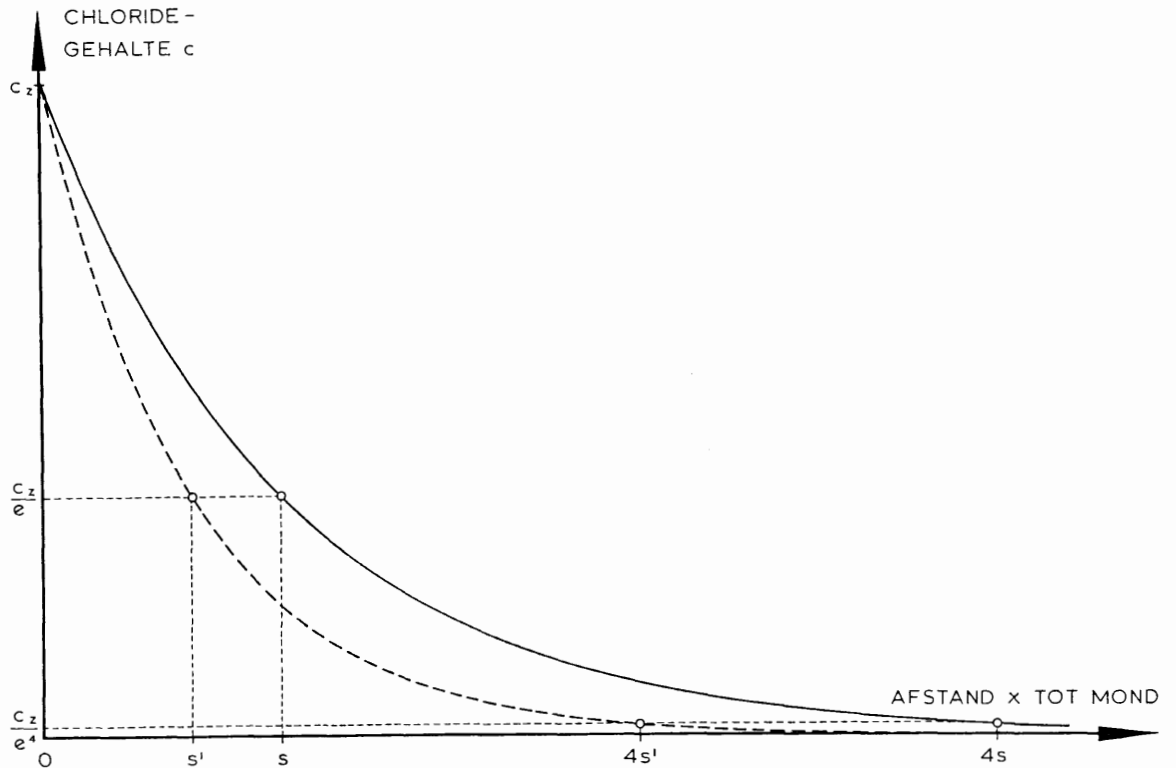
$$s = \frac{E}{Q_0}. \quad (4)$$

De grafiek van  $c$  tegen  $x$  is aangegeven in figuur 9.1.1.

Volgens deze functie wordt op een afstand  $s$  van de mond, de zogenaamde *nepereringsafstand*, een gemiddeld gehalte aangetroffen, dat  $e$  maal kleiner is dan dat van zeewater ( $e = 2,72$ , is het grondtal der natuurlijke of neperiaanse logaritme).

Op een afstand  $2s$  wordt een  $e^2$  maal kleiner gehalte aangetroffen, op een afstand  $3s$  een  $e^3$  maal en op een afstand  $4s$  een  $e^4$  maal kleiner gehalte. Dit laatste punt komt ongeveer overeen met de conventionele chloridegrens van 300 mg Cl/l.

De getrokken lijn in figuur 9.1.1 heeft betrekking op een bepaalde opperwaterafvoer. Wordt deze  $Q_0$  groter, dan neemt de nepereringafstand  $s$  af, zoals blijkt uit (4), stel tot de waarde  $s'$ . De zoutverdeling wordt dan meer naar de mond gedrongen, zoals aangegeven met de streeplijn in figuur 9.1.1. Met name komt het punt  $4s$ , dat ongeveer de conventionele chloridegrens weergeeft, dichterbij zee te liggen. Hierin komt dus het terugdringend effect van de opperwaterafvoer op de zoutverdeling tot uitdrukking.



Figuur 9.1.1. Chloridegehalte  $c$  als functie van de afstand  $x$  tot de mond

Een andere interpretatie van de formule (2) wordt verkregen door het chloridegehalte  $c$  op een bepaalde plaats  $x = x_1$ , uit te zetten tegen de oppervlaktewaterafvoer  $Q_0$ . Bij voorkeur wordt dit gedaan op enkel-logaritmisch papier. Men kan dan (2) in de vorm

$$\ln c = \ln c_z - \frac{Q_0}{Q_n} \quad (5)$$

brengen, waarin  $\ln$  de natuurlijke logaritme voorstelt en waarin

$$Q_n = \frac{E}{x_1} \quad (6)$$

de *nepereeringsafvoer* voor de plaats  $x_1$  is. Men kan ook

$$\log c = \log c_z - \frac{Q_0}{Q_d} \quad (7)$$

schrijven, waarin  $\log$  de gewone logaritme aanduidt en waarin

$$Q_d = 2,3 Q_n = \frac{2,3 E}{x_1} \quad (8)$$

de *decimeringsafvoer* voor de plaats  $x_1$  is.

Men ziet uit deze formules, dat het verband tussen chloridegehalte en oppervlaktewaterafvoer door een rechte lijn in het enkel-logaritmische diagram wordt weergegeven.

Neemt de oppervlaktewaterafvoer  $Q_0$  met een bedrag gelijk aan de decimeringsafvoer  $Q_d$  toe, dan wordt volgens (7) de gewone logaritme van het chloridegehalte met 1 verminderd. Dit betekent, dat het chloridegehalte zelf met een factor 10 afneemt. Bij een afvoer  $Q_0 = Q_d$  is dus het chloridegehalte ter plaatse  $x_1$  gelijk aan  $0,1 c_z$ ; bij een afvoer  $Q_0 = 2 Q_d$  bedraagt het  $0,01 c_z$  enz.

Een toename van de afvoer met een bedrag, gelijk aan de nepereeringsafvoer  $Q_n$ , heeft evenzo een vermindering van het chloridegehalte met een factor  $e$  ten gevolge.

9.1.4. *Verfijning van de theorie voor een enkelvoudige rivier*

We zullen ons nu losmaken van drie hierboven gemaakte beperkende veronderstellingen.

In de eerste plaats behoeft het chloridegehalte van het opperwater niet nul te zijn. Dit betekent, dat de bovenrivier voortdurend chloride afvoert, en wel per tijdseenheid een hoeveelheid

$$Q_0 c_0.$$

Hierbij stelt  $c_0$  het chloridegehalte van het opperwater voor. Het chloridetransport moet tot aan zee in stand blijven, wil zich een evenwicht kunnen instellen. Dit betekent, dat het zeewaartse transport door de afvoer op ieder punt het binnenwaartse transport door menging met een bedrag, gelijk aan  $Q_0 c_0$ , moet overtreffen. Dit leidt tot de vergelijking

$$-E \frac{dc}{dx} + Q_0 c = Q_0 c_0 \quad (9)$$

In de tweede plaats zijn de mengprocessen sterk afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden. Dit houdt in, dat  $E$  niet constant mag worden verondersteld, doch als functie van  $x$  moet worden ingevoerd.

De oplossing van (9), die aan de randvoorwaarde bij  $x = 0$  voldoet, wordt dan als volgt:

$$c = c_0 + (c_z - c_0) e^{-Q_0 \int_0^x \frac{dx}{E(x)}} \quad (10)$$

In de derde plaats zal het gehalte in de mond in het algemeen lager zijn dan dat in zee. Eerst tegen het einde van de vloed zal het gehalte in de mond meestal gelijk worden aan  $c_z$ , doch zodra de eb voldoende is doorgezet, daalt het gehalte door de aanvoer van zoeter water van boven af. Bij vloed gaat het gehalte weer stijgen, doch het duurt enige tijd vóórdat de vloed weer zeewater aanvoert, aangezien het ebwater zich aanvankelijk nog min of meer onverdund voor de mond bevindt. Het gemiddelde chloridegehalte in de mond,  $c_m$ , ligt daardoor beneden het gehalte  $c_z$  van zeewater.

We kunnen hiermee rekening houden door te veronderstellen, dat bij ieder getij een volume zeewater, groot  $\lambda V_g$ , zich vermengt met het van boven komende volume zoet water  $T Q_0$ . Hierbij is  $V_g$  het getijvolume in de mond en  $\lambda$  een coëfficiënt. Dan kan het gemiddelde gehalte in de mond op

$$c_m = \frac{\lambda V_g c_z + T Q_0 c_0}{\lambda V_g + T Q_0} \quad (11)$$

gesteld worden.

De oplossing van (9), die aan de voorwaarde  $c = c_m$  bij  $x = 0$  voldoet, is:

$$c = c_0 + (c_z - c_0) \frac{\lambda V_g}{\lambda V_g + T Q_0} e^{-Q_0 \int_0^x \frac{dx}{E(x)}} \quad (12)$$

We zullen nu aannemen, dat  $T Q_0$  vrij wat kleiner is dan  $\lambda V_g$  (het praktische belang van onze beschouwingen ligt vooral in gevallen dat de afvoer klein is!). Dan kan (12) benaderd worden door:

$$c = c_0 + (c_z - c_0) e^{-\frac{T Q_0}{\lambda V_g} - Q_0 \int_0^x \frac{dx}{E(x)}} \quad (13)$$

Tot deze uitkomst kunnen we ook komen door te veronderstellen dat de mond van de rivier niet bij  $x = 0$  ligt, doch op een afstand

$$a = \frac{T E_m}{\lambda V_g} \quad (14)$$

naar buiten, waarbij is aangenomen, dat het fictieve riviergedeelte van dat punt  $x = -a$  tot het punt

$x = 0$ , een volumediffusiviteit  $E_m$  vertoont, welke gelijk is aan die van de rivier nabij  $x = 0$ . We stellen dus

$$E(x) = E_m \equiv E(0) \quad \text{voor } -a < x \leq 0. \quad (15)$$

Dan kan (13) ook als

$$c = c_0 + (c_z - c_0) e^{-Q_0 \int_{-a}^x \frac{dx}{E(x)}} \quad (16)$$

geschreven worden.

Het verloop van  $c$  met  $x$  wordt dus nu niet meer door een eenvoudige  $e$ -macht weergegeven, doch door een functie, waarvan de vorm nog afhangt van de functie  $E(x)$ .

Uit (16) laat zich voor de plaats P ( $x = x_1$ ) afleiden

$$\ln(c - c_0) = \ln(c_z - c_0) - \frac{Q_0}{Q_{n_p}}, \quad (17)$$

waarin

$$Q_{n_p} = \frac{1}{\int_{-a}^{x_1} \frac{dx}{E(x)}} \quad (18)$$

de nepereringsafvoer van de beschouwde plaats is. De overgang op gewone logaritmen levert

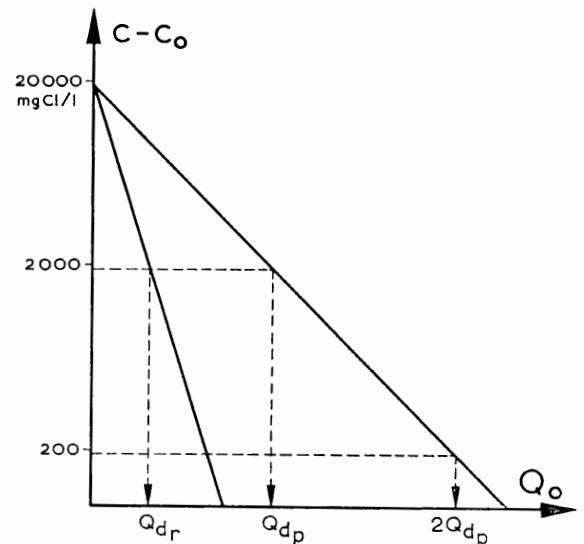
$$\log(c - c_0) = \log(c_z - c_0) - \frac{Q_0}{Q_{d_p}}, \quad (19)$$

waarin

$$Q_{d_p} = 2,3 Q_{n_p} = \frac{2,3}{\int_{-a}^{x_1} \frac{dx}{E(x)}} \quad (20)$$

Ook deze formules laten zich verwerken in een enkel-logaritmisch diagram. Daartoe wordt niet het chloridegehalte  $c$  langs de logaritmische as uitgezet, doch het herleide gehalte, dat verkregen wordt door  $c$  met de concentratie  $c_0$  van het opperwater te verminderen.

Dit herleide chloridegehalte ( $c - c_0$ ) ter plaatse  $x_1$  neemt met een factor 10 af, steeds wanneer de afvoer met een bedrag, gelijk aan de decimeringsafvoer  $Q_{d_p}$ , toeneemt. Het principe hiervan is weergegeven in figuur 9.1.2.



Figuur 9.1.2. Herleid chloridegehalte  $c - c_0$  als functie van de opperwaterafvoer  $Q_0$ , voor twee plaatsen, P en R

De decimeringsafvoer  $Q_{d_p}$  is karakteristiek voor de plaats P. Voor een andere, bovenstrooms van P gelegen plaats R, neemt de decimeringsafvoer een kleinere waarde  $Q_{d_r}$  aan. Ook dit is in figuur 9.1.2 geïllustreerd.

In principe zijn er twee mogelijkheden om de decimeringsafvoer  $Q_d$  te bepalen.

Ten eerste kan men  $Q_d$  berekenen volgens (20), indien men  $E$  als functie van  $x$  kent. In feite is onze kennis omtrent  $E$  voorshands nog onvoldoende om deze weg te kunnen volgen.

Ten tweede kan men  $Q_d$  empirisch bepalen door de herleide chloridewaarnemingen van de gekozen plaats tegen de afvoer uit te zetten in een enkel-logaritmisch diagram. Door de waarnemingspunten kan dan zo goed mogelijk een rechte lijn worden getrokken, welke voor  $Q_0 = 0$  in elk geval door het punt, overeenkomende met het chloridegehalte van zeewater, moet gaan. De helling van deze lijn bepaalt de decimeringsafvoer.

#### 9.1.5. *Uitbreiding van de theorie voor een rivierenstelsel*

We beschouwen nu het geval van een rivierenstelsel, dat bestaat uit twee takken, die door een gemeenschappelijke benedenloop met de zee in verbinding staan. Dit geval doet zich voor bij de Oude Maas en de Nieuwe Maas, die vanaf de Westgeul door het Scheur gezamenlijk in zee stromen.

Het chloridegehalte van de afvoer kan in dit geval voor beide rivieren gelijk gesteld worden, daar beide hun water grotendeels ontvangen uit de Rijn. De herleiding van het chloridegehalte valt daarom in beide rivieren op overeenkomstige wijze uit, zodat we hierop niet nader behoeven in te gaan.

De afvoer van de ene rivier zij  $Q_{01}$ , die van de andere zij  $Q_{02}$ . De afvoer van de gemeenschappelijke benedenloop is dus

$$Q_0 = Q_{01} + Q_{02} \quad (21)$$

Voor deze benedenloop kan nu onmiddellijk oplossing (16) dienst doen. Aldus vinden we voor het herleide chloridegehalte  $c_s - c_0$  op het punt van samenvloeiing S:

$$\log(c_s - c_0) = \log(c_z - c_0) - \frac{Q_0}{Q_d \Big|_z^s} \quad (22)$$

Hierin is  $Q_d \Big|_z^s$  de decimeringsafvoer voor het punt S, uitgaande van de zee als randvoorwaarde:

$$Q_d \Big|_z^s = \frac{2,3}{\int_{-a}^{x_s} \frac{dx}{E(x)}} \quad (23)$$

Op de riviertak met opperwaterafvoer  $Q_{01}$  kan nu opnieuw geïntegreerd worden, uitgaande van het chloridegehalte bij S. Aldus krijgen we voor een plaats  $P_1$  aan de eerste riviertak

$$\log(c_{p_1} - c_0) = \log(c_s - c_0) - \frac{Q_{01}}{Q_d \Big|_s^{p_1}} \quad (24)$$

Hierin is

$$Q_d \Big|_s^{p_1} = \frac{2,3}{\int_{x_s}^{x_{p_1}} \frac{dx}{E(x)}} \quad (25)$$

Elimineert men nu  $c_s$  uit (24) en (22) en voert men  $Q_0$  volgens (21) in, dan vindt men

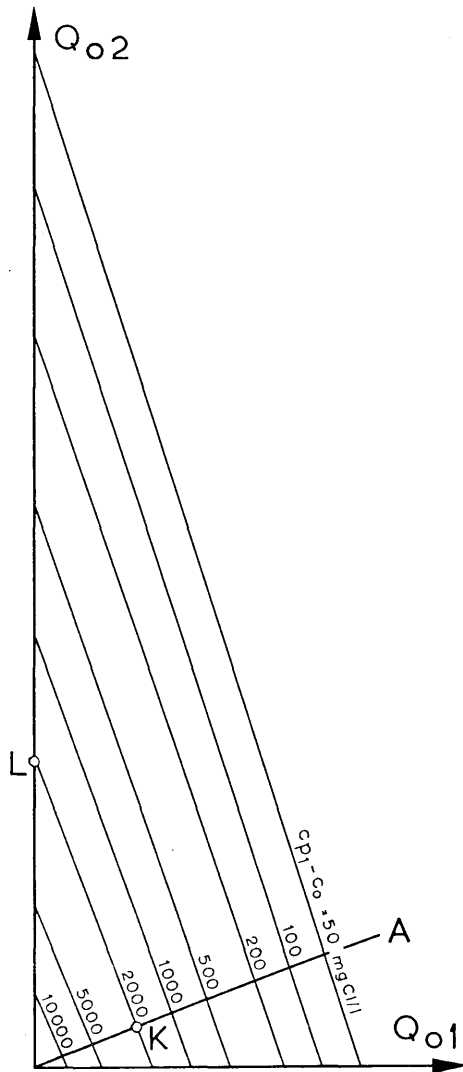
$$\log(c_{p_1} - c_0) = \log(c_z - c_0) - Q_{01} \left\{ \frac{1}{Q_d \Big|_s^{p_1}} + \frac{1}{Q_d \Big|_z^s} \right\} - \frac{Q_{02}}{Q_d \Big|_z^s} \quad (26)$$



Hiermee is dus het chloridegehalte ter plaatse  $P_1$  als functie van de afvoer voor een willekeurige afvoerverhouding  $Q_{02}/Q_{01}$  te bepalen.

Voor de tweede riviertak met de afvoer  $Q_{02}$  kan men op overeenkomstige wijze te werk gaan.

Formule (26) kan in een gemakkelijk hanteerbare grafische vorm worden gebracht door middel van een diagram, waarin de afvoeren  $Q_{01}$  en  $Q_{02}$  tegen elkaar zijn uitgezet. In dit diagram, dat in figuur 9.1.3 schematisch is weergegeven, worden lijnen getrokken, elk voor een bepaald chloridegehalte  $c_{p1} - c_0$ . Geeft men  $c_{p1} - c_0$  een of andere bepaalde waarde, dan neemt (26) de vorm aan van een lineaire betrekking tussen  $Q_{01}$  en  $Q_{02}$ . Dit stelt dus een rechte lijn voor in het  $(Q_{01}, Q_{02})$ -diagram.



Figuur 9.1.3. Chloridegehalte  $c_{p1} - c_0$  als functie van de afvoer  $Q_{01}$  ter plaatse  $P_1$  en de afvoer  $Q_{02}$  van een tweede riviertak

De lijnen voor verschillende waarden van  $c_{p1} - c_0$  zijn onderling parallel, daar de coëfficiënten van  $Q_{01}$  en  $Q_{02}$  niet van  $c_{p1} - c_0$  afhangen.

In het diagram van figuur 9.1.3 kan men voor elke combinatie van de afvoeren  $Q_{01}$  en  $Q_{02}$  het herleide chloridegehalte ter plaatse  $P_1$  aflezen.

Het diagram kan geconstrueerd worden, indien het chloridegehalte ter plaatse  $P_1$ , evenals het gehalte op het samenvloeiingspunt  $S$ , als functie van de afvoer bekend is voor één bepaalde afvoerverdelingsfunctie.

Laat het verband tussen  $Q_{01}$  en  $Q_{02}$  voor deze verdelingsfunctie gegeven zijn door de lijn  $A$  in figuur 9.1.3. Voor ieder punt van deze lijn is dan het chloridegehalte in  $P_1$  bekend. Dit levert dus bijv. voor de lijn  $c_{p1} - c_0 = 2000$  mg Cl/l, het punt  $K$ .

Bovendien kan worden opgemerkt dat, indien de afvoer  $Q_{01}$  van de beschouwde riviertak nul wordt, het chloridegehalte ter plaatse  $P_1$  gelijk zal worden aan dat ter plaatse  $S$ . De afvoer, die nodig is om bij  $S$  bijv. het gehalte 2000 mg Cl/l te geven, wordt nu langs de  $Q_{02}$ -as uitgezet. De lijn  $c_{p1} - c_0 = 2000$  mg Cl/l moet dan ook door het aldus gevonden punt  $L$  gaan. Bovengenoemde lijn is dus  $KL$ .

De lijnen voor andere waarden van  $c_{p1} - c_0$  zijn op overeenkomstige wijze te bepalen. De constructie wordt vergemakkelijkt door het feit, dat deze lijnen alle evenwijdig aan elkaar lopen.

## 9.2 Verwerking van gegevens voor de bestaande situatie

Het doel van de onderhavige studie was, te trachten inzicht te krijgen in de verziltings situatie op de Nieuwe Maas na uitvoering van de deltawerken.

Om hiertoe te komen, moest in twee etappen worden gewerkt. In de eerste plaats diende het beschikbare feitenmateriaal met betrekking tot de bestaande situatie volgens de boven ontvouwen gedachtengangen te worden verwerkt. Daarna moesten de verkregen uitkomsten worden geïnterpreteerd voor de veranderde omstandigheden, die de deltawerken zullen scheppen.

We zullen nu allereerst de verwerking van het feitenmateriaal voor de tegenwoordige toestand nagaan.

Vooropgesteld moet worden, dat onze kennis omtrent de optredende mengbewegingen momenteel nog slechts van meer algemene, kwalitatieve aard is. De beschikbare feitenkennis laat nog geen rechtstreekse kwantitatieve bepaling van de volumediffusiviteit  $E$  toe. De verwerking der gegevens moest daarom beperkt blijven tot het toepassen van de beschreven diagrammen op de waargenomen chloridegehalten.

De voor verwerking beschikbare chloridegehalten bestonden in hoofdzaak uit waarnemingen bij hoog- of laagwaterkentering op diverse plaatsen in de rivier, bij de bodem en bij de waterspiegel. Het was op grond hiervan niet goed mogelijk met gemiddelde chloridegehalten over een vol getij te werken.

Nu is het in principe niet ontoelaatbaar om voor het chloridegehalte, bijv. bij hoogwaterkentering, overeenkomstige formules te gebruiken als voor het gemiddelde over het volle getij. Het bezwaar is echter, dat het chloridegehalte bij de kentering sterker van allerlei wisselvallige factoren zal afhangen dan het gemiddelde over een getij. Het feitenmateriaal noopte evenwel tot het accepteren van dit bezwaar. De hoogwaterkentering en de laagwaterkentering werden uiteraard gescheiden behandeld.

Een overeenkomstige onvolkomenheid was voorts dat, in plaats van een gemiddelde over het profiel, het gemiddelde van twee waarnemingen, één aan de bodem en één aan de oppervlakte, moest worden genomen.

Voor een aantal punten langs de rivier werd nu een diagram als dat van figuur 9.1.2 opgezet. Alle herleide chloridewaarnemingen op of nabij de beschouwde plaats werden in het betreffende diagram uitgezet tegen de opperwaterafvoer van de betreffende riviertak, afgeleid uit de twee dagen tevoren te Lobith waargenomen waterstand.

Door de waarnemingspunten in het diagram werd een regressielijn bepaald, waaruit dan de waarde van de decimeringsafvoer ter plaatse volgde.

De spreiding in de diagrammen was aanzienlijk, doch er is reden om aan te nemen, dat dit slechts in beperkte mate te wijten is aan toevallige meet-onnauwkeurigheden. Immers, verwacht moet worden dat bij veranderende afvoer het chloridegehalte zich niet dan met een zekere vertraging daarbij aanpast. Daar toeneming en afneming van de afvoer elkaar uiteraard steeds afwisselen, zullen de chloridegehalten afwisselend te laag en te hoog zijn. Deze afwijkingen kunnen vermoedelijk vrij aanzienlijk zijn, vooral omdat ook de afvoerverdeling in het benedenrivierenstelsel van belang is en deze verdeling voor allerlei factoren gevoelig is. Daarnaast is ook de intensiteit der mengbewegingen niet constant, doch afhankelijk onder andere van het tijverskil.

De spreiding kan men gesplitst denken in een spreiding door allerlei meettoevalligheden en een spreiding door min of meer periodieke variaties der hydraulische omstandigheden. Door een gemiddelde te nemen als aangegeven door de regressielijn, worden de periodieke variaties min of meer geëlimineerd en worden de toevallige afwijkingen gereduceerd. Men mag dan ook verwachten, dat de regressielijn een redelijk goed beeld van de in theorie veronderstelde stationaire situatie geeft.

Deze conclusie vindt steun in het feit, dat de voor de verschillende plaatsen uit de waarnemingen afgeleide waarden der decimeringsafvoer, uitgezet naar de plaats, een binnen vrij nauwe grenzen vloeiend verloop vertoonden. Men kan hieruit het vertrouwen putten, dat de gevonden decimeringsafvoeren de tegenwoordige situatie redelijk goed weergeven.

Daar de decimeringsafvoeren krachtens (20) van 9.1 afhangen van de volumediffusiviteit  $E$ , kunnen uit de empirisch bepaalde decimeringsafvoeren omgekeerd conclusies getrokken worden ten aanzien van de diffusie. Van praktisch belang is daarbij vooral het verband tussen de diffusie en de getijbeweging.

Dit werd nagegaan door de waarnemingen te splitsen in groepen, afhankelijk van het tijverskil. Voor elke groep werd de gemiddelde decimeringsafvoer bepaald, alsmede het gemiddelde van de tijverschillen in die groep. Hierbij bleek een verband te kunnen worden vastgesteld in die zin, dat globaal de volumediffusiviteit evenredig met het tijverschil toeneemt. Dit is niet onaannemelijk, omdat bij een sterkere getijbeweging ook de mengprocessen geïntensiveerd worden.

Het is vooral de horizontale getijbeweging, die van belang geacht moet worden voor de waarden van de diffusiviteit. De bovengevonden correlatie zal daarom geïnterpreteerd worden als een verband tussen de diffusiviteit en de horizontale getijamplitude of het getijvolume.

### 9.3 Extrapolatie voor de situatie na uitvoering van de deltawerken

De beschouwingen van 9.1.5 stellen ons in staat om, uitgaande van de gegevens voor de tegenwoordige afvoerverdeling, de verzilting te voorspellen voor de door de deltawerken te scheppen afvoerverhoudingen, mits wij er van uitgaan, dat de coëfficiënten van het mengmechanisme niet veranderen.

Aan deze voorwaarde is evenwel niet voldaan. Ongetwijfeld zullen ook de mengbewegingen door de deltawerken beïnvloed worden.

In de eerste plaats moeten de veranderingen in de getijbeweging worden genoemd, in het bijzonder in de horizontale getijbeweging. In het algemeen heeft een versterking dan wel verzwakking van de getijstromen ook een grotere dan wel kleinere diffusiviteit ten gevolge. De invloed hiervan doet zich ook in de bestaande situatie reeds gevoelen in verband met de variatie van het getij volgens de maancyclus (springtij en doodtij), zoals in de vorige paragraaf werd uiteengezet.

Door de deltawerken ontstaat een situatie, waarin de getijstromen in het algemeen zwakker worden. De invloed hiervan zal dus soortgelijk zijn als die van de vermindering van de diffusiviteit bij kleinere getijverschillen in de huidige situatie. Op grond daarvan is voor de nieuwe toestand met een verminderde menging in het gehele gebied gerekend.

Verwacht moet evenwel worden, dat de menging niet uitsluitend van het getijvolume zal afhangen. Ook het getijverschil kan invloed hebben, evenals het faseverschil tussen horizontaal en verticaal getij, terwijl bovendien ook de vorm van stroomkrommen van belang kan zijn. De kennis van deze factoren is nog ontoereikend om daarvoor een schatting te maken.

In de tweede plaats zijn ook de wijzigingen in de stroomverdeling van directe invloed op de menging nabij de Westgeul. In het bijzonder veroorzaakt een faseverschil tussen de getijstroom in de Oude Maas en die in de Nieuwe Maas een uitwisseling tussen de waterlichamen in beide rivieren, die menging ten gevolge heeft. Bij de huidige situatie is nagenoeg geen faseverschil aanwezig, doch na uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas wordt dit belangrijk anders en moet dus een grotere menging nabij de Westgeul worden verwacht. Dit heeft hetzelfde effect als een verandering van de diffusiviteit in de omgeving van de Westgeul, dus in een vrij beperkt gebied. De invloed van deze factor op de chloridegehalten op de Nieuwe Maas werd schattenderwijs in rekening gebracht. Zij bleek vrij gering te zijn.

In de derde plaats zal de menging de invloed ondergaan van havenuitbreidingen en andere wijzigingen in het regime. Over het geheel genomen, zullen deze eerder een versterking dan een verzwakking der menging ten gevolge hebben. Een betrouwbare kwantitatieve bepaling hiervan is nog niet mogelijk, aangezien daarvoor de kennis van het mengmechanisme nog onvoldoende is.

Overzien we nu de stand van onze kennis in verband met de gestelde problemen, dan kan samenvattend het volgende worden opgemerkt:

Wanneer het gaat om een vergelijking tussen verschillende afvoerverhoudingen, bijvoorbeeld voor de toestand met afgesloten en die met open Oude Maas, dan kan een bruikbare schatting van de invloed hiervan wel gegeven worden, omdat bij dat probleem de veranderingen in de waarden van de diffusiviteit slechts van ondergeschikt belang zullen zijn.

Gaat het evenwel om een vergelijking tussen gevallen, waarin belangrijk verschillende mengmechanismen kunnen optreden, dan is voorzichtigheid geboden. Om die reden kan een vergelijking tussen de huidige toestand en de toestand na uitvoering der deltawerken voorshands nog slechts onder voorbehoud worden gegeven.

Het zal dan ook noodzakelijk zijn, het waarnemingsmateriaal verder uit te breiden en de studie der verschijnselen aan de hand hiervan voort te zetten.

#### **9.4 Waterverbruik, chloridegehalten en hun frequenties na uitvoering van de deltawerken**

Met behulp van chloridemetingen op de Rotterdamse Waterweg en nabij Vreeswijk werden volgens de methoden, door SCHÖNFELD ontwikkeld in 9.1 t/m 9.3 en in [27], grafieken samengesteld, waarop men het chloridegehalte langs de Rotterdamse Waterweg kan aflezen als functie van het oppervlaktewaterafvoer en zijn verdeling over Oude en Nieuwe Maas. Voor de bestaande situatie vindt men deze betrekking weergegeven op bijlage IV.4 – 9.4.1; voor de toestand na uitvoering der deltawerken wordt verwezen naar de bijlagen IV.4 – 9.4.2 en 9.4.3. Bij de samenstelling van deze diagrammen werden bijna 10 000 waarnemingen uit de periode 1951 t/m 1956 verwerkt.

Uitdrukkelijk zij nog eens herhaald, dat het onderzoek, waaruit de bovengenoemde bijlagen als eerste benaderend resultaat naar voren kwamen, nog geenszins is voltooid.

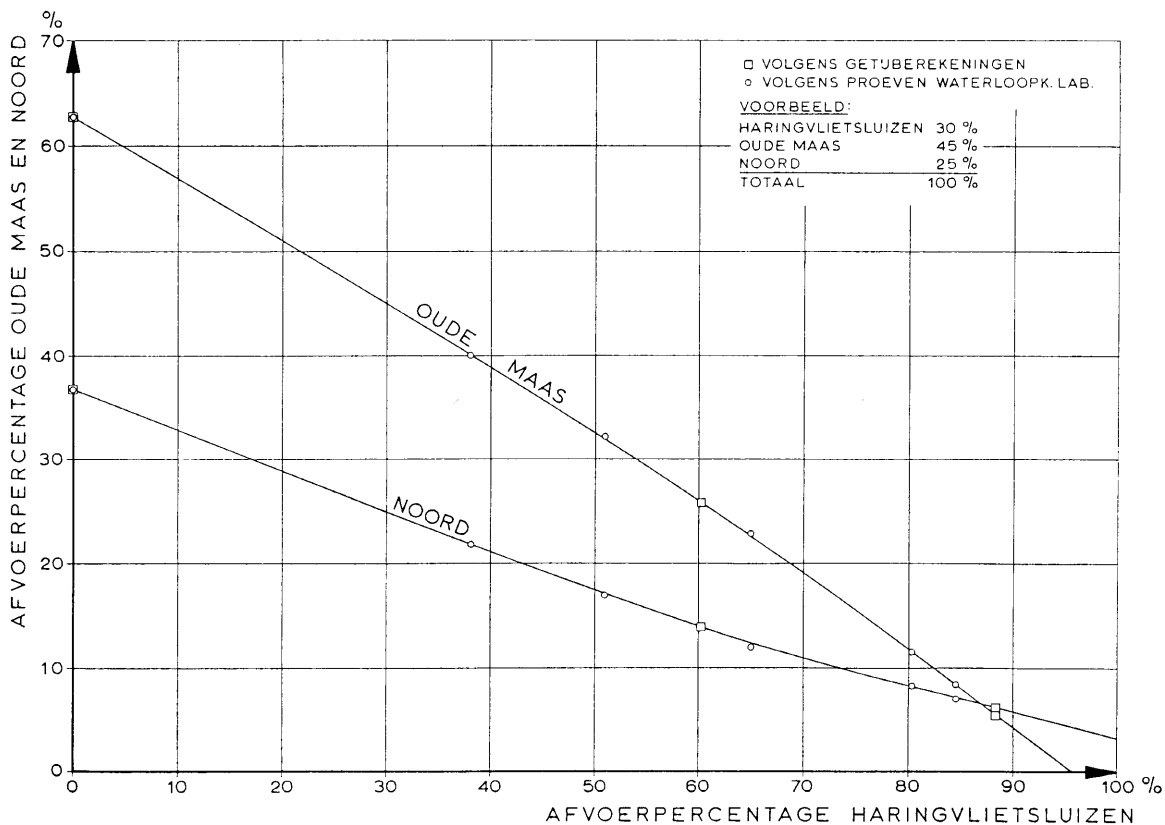
Al is het waarschijnlijk, dat de tendens, die het voorlopig onderzoek te zien geeft, door verdere studies niet wezenlijk zal veranderen, toch zullen de uitkomsten in absolute zin mettertijd nog wel correcties behoeven. De cijfers en conclusies, die met de zoutbeweging op de Rotterdamse Waterweg samenhangen, worden derhalve slechts onder voorbehoud verstrekt. Dat zulks in deze bijdrage ter wille van de leesbaarheid niet steeds zal worden herhaald, doet aan dit voorbehoud niets af.

Ten einde de hoeveelheid opperwater te kunnen bepalen, die voor zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg nodig is, alsmede om daarbij een vergelijking te kunnen maken tussen de toestand na uitvoering der deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, is het – in aanvulling op de bijlagen IV.4 – 9.4.2 en 9.4.3 – noodzakelijk om te beschikken over gegevens betreffende de opperwaterverdeling tussen Oude Maas, Noord en Lek.

Voor de situatie met afgesloten Oude Maas vormt dit nauwelijks een probleem. Via de kunstwerken in de Oude Maas zal men immers een regelbare hoeveelheid opperwater aflaten, waarmee men het zoute lek- en schutwater uit deze rivier kan verwijderen. Blijkens 10.3 zal hiervoor, met inbegrip van de zoutbestrijding op de Brielse Maas, naar schatting gemiddeld circa 60 m<sup>3</sup>/sec nodig zijn. Veiligheidshalve zal men deze hoeveelheid, die door het zoute lek- en schutwater een tamelijk hoog chloridegehalte zal hebben, bij de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg buiten beschouwing laten. Het voor de Rotterdamse Waterweg benodigde opperwater zal dus moeten worden aangevoerd uit de Lek en de Noord. Aangezien het chloridegehalte van deze rivieren nagenoeg hetzelfde is, is de verdeling van het opperwater in het onderhavige verband niet van belang, althans niet zolang het zeewater benedenstrooms van het splitsingspunt bij Krimpen aan de Lek wordt gehouden.

Voor de toestand met open Oude Maas is de opperwaterverdeling tussen Oude Maas en Noord zeer ingewikkeld. De oorzaak hiervan is, dat de verdeling afhankelijk is van de mate, waarmee men bij de Haringvlietsluizen loost. Houdt men de Haringvlietsluizen geheel of nagenoeg geheel gesloten, dan wordt via de Dordtse Kil en het Spui opperwater aan de Oude Maas toegevoegd. Wordt daarentegen een ruim overschot door de Haringvlietsluizen geloosd, dan zal via de beide bovengenoemde rivieren water aan de Oude Maas worden onttrokken. Vooral de eerstgenoemde situatie, waarbij de Haringvlietsluizen in tijden van waterschaarste gesloten zullen zijn, is voor deze bijdrage van belang.

De verdeling van het opperwater over Haringvlietsluizen, Oude Maas en Noord na uitvoering der deltawerken met open Oude Maas is weergegeven in figuur 9.4.1. Daarbij moet worden opgemerkt, dat



Figuur 9.4.1. Opperwaterverdeling tussen de Haringvlietsluizen, de Oude Maas nabij de Westgeul en de Noord na uitvoering der deltawerken met open Oude Maas; afvoeren in procenten

de verdeling betrekking heeft op de huidige afvoercapaciteiten der onderhavige rivieren. Wanneer men in het kader der deltawerken de Noord ten behoeve van de scheepvaart zou moeten verruimen, zal de verdeling van het opperwater uiteraard iets meer ten gunste van de laatstgenoemde rivier uitvallen. Ook een eventuele afsluiting van het Spui zal, evenals andere werken in het gebied der benedenrivieren, enige wijzigingen in de opperwaterverdeling ten gevolge kunnen hebben.

Aangezien het bij de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg uiteindelijk niet gaat om de opperwaterverdeling tussen Oude Maas en Noord, doch om de verdeling tussen Oude Maas en Nieuwe Maas, speelt ook de variabele Lekafvoer een rol, evenals de hoeveelheid water, die zijdelings aan de Nieuwe Maas wordt toegevoegd of daaraan wordt onttrokken. Bij de opstelling van waterbalansen werd daarmee in deze bijdrage steeds rekening gehouden. Alleen in tabel 9.4.1 werd daarvan afgeweken om redenen, die in het onderschrift bij deze tabel zijn toegelicht.

Met behulp van de bovenbeschreven opperwaterverdeling tussen Oude Maas en Nieuwe Maas kunnen de chloridegehalten bij hoogwaterkentering op de laatstgenoemde rivier uit de grafieken op de bijlagen IV.4 – 9.4.2 en 9.4.3 worden afgelezen. Daarbij valt het op, dat het voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, benedenstrooms van het punt van samenkomst van de Oude Maas en de Nieuwe Maas, betrekkelijk weinig ter zake doet uit welke van de beide riviertakken het zoete opperwater wordt aangevoerd.

Bovenstrooms van dit punt echter, op de Nieuwe Maas, maakt het voor het terugdringen van zee-water wel degelijk verschil uit of het opperwater uit de Oude Maas komt – waardoor het zoutafvoerend vermogen hiervan in hoofdzaak beperkt blijft tot de benedenloop van de Rotterdamse

Tabel 9.4.1

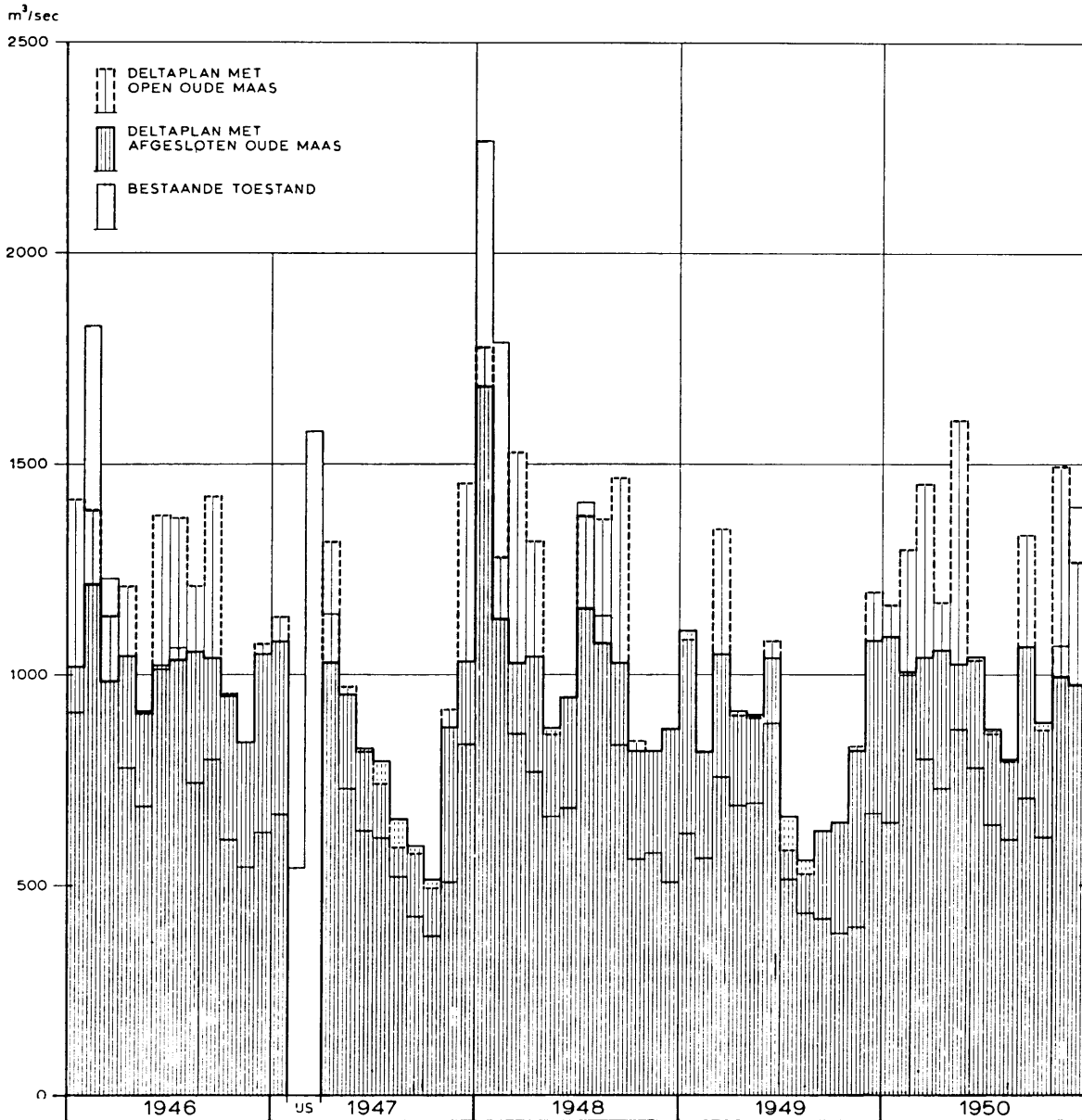
Waterverbruik voor zoutbestrijding op de Nieuwe Maas tot een chloridegehalte van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, alsmede voor verschillende chloridegehalten van het opperwater

Situatie na uitvoering van Rijnkanalisatie en deltawerken	Chloridegehalte Rijn te Lobith in mg Cl/l	Oude Maas	Nieuwe Maas	Scheur
		m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec
Oude Maas open . . . . .	100	660	440	1 100
Oude Maas afgesloten . . . . .	100	(60)	660	720
Vershil . . . . .				380
Oude Maas open . . . . .	150	710	470	1 180
Oude Maas afgesloten . . . . .	150	(60)	700	760
Vershil . . . . .				420
Oude Maas open . . . . .	200	770	510	1 280
Oude Maas afgesloten . . . . .	200	(60)	760	820
Vershil . . . . .				460
Oude Maas open . . . . .	250	870	590	1 460
Oude Maas afgesloten . . . . .	250	(60)	870	930
Vershil . . . . .				530

N.B. Ten einde een eenvoudige onderlinge vergelijking mogelijk te maken tussen enerzijds de toestanden met open Oude Maas en die, waarbij deze rivier is afgesloten, en anderzijds tussen de toestanden met een grote en met een minder grote chloride-afvoer van de Rijn, werd bij de verdeling van het opperwater aangenomen, dat de Lekafvoer in alle gevallen dezelfde zal zijn (50 m<sup>3</sup>/sec), terwijl wateronttrekking uit de Nieuwe Maas en uitslag van polderwater op deze rivier eenvoudigheidshalve werden verwaarloosd.

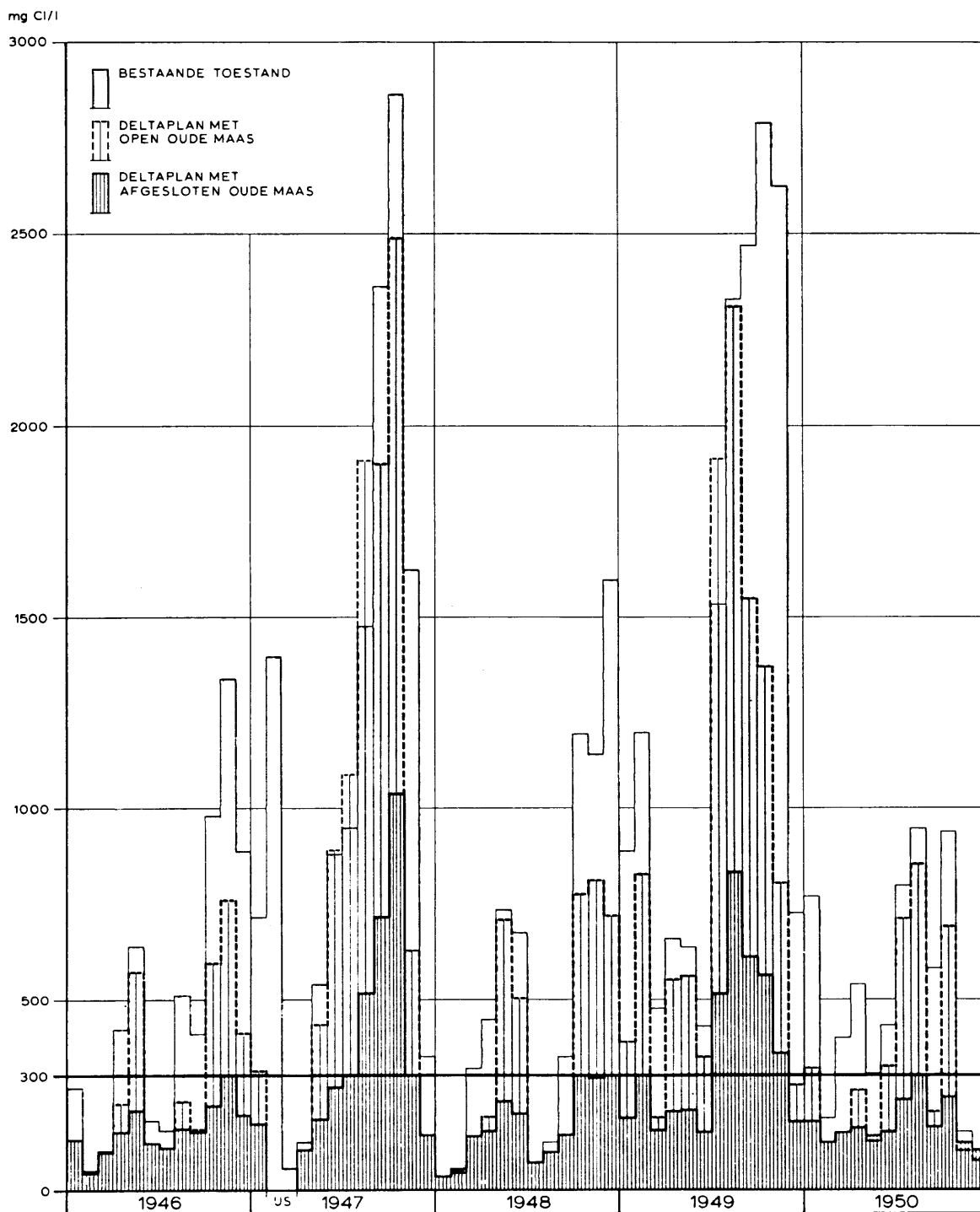
Waterweg – of dat het afstroomt door de Nieuwe Maas zelf. In het laatste geval doet de gunstige invloed van het oppervlaktewater zich immers over de gehele lengte van de rivier gevoelen. Zo kan men voor de bestrijding van het zout op de Nieuwe Maas met aanzienlijk minder oppervlaktewater volstaan om een zelfde chloridegehalte te bewerkstelligen, wanneer dit oppervlaktewater langs de Nieuwe Maas wordt geleid, dan wanneer dit voor een groot deel via een open Oude Maas tot afvloeiing zou komen.

In deze bijdrage werd een chloridegehalte van 300 mg Cl/l ten tijde van hoogwaterkentering nabij de Parkhaven als algemene maatstaf voor een aanvaardbare zouttoestand op de Nieuwe Maas aangehouden. Hiervan uitgaande, bedraagt het verschil in waterverbruik ten behoeve van zoutbestrijding voor het Deltaplan met open en met afgesloten Oude Maas blijkens tabel 9.4.1 circa 400 à 500 m<sup>3</sup>/sec.



Figuur 9.4.2. Overzicht van de gemiddelde oppervlaktewaterafvoeren langs het Scheur, die benodigd c.q. beschikbaar zijn voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, voor een periode als van 1946 t/m 1950 bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec tot een maximaal gehalte van 250 mg Cl/l; afvoeren in m<sup>3</sup>/sec

Uit tabel 9.4.1 blijkt tevens, dat bij toenemende chloridegehalten van het Rijnwater steeds grotere hoeveelheden opperwater nodig zijn om het zeewater op de Nieuwe Maas tot een zelfde grens terug te dringen. Dit spreekt minder sterk, wanneer de Oude Maas in het kader der deltawerken is afgesloten



Figuur 9.4.3. Overzicht van het chloridegehalte op de Nieuwe Maas tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, voor een periode als van 1946 t/m 1950 bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec tot een maximaal gehalte van 250 mg Cl/l; chloridegehalten in mg Cl/l

dan in het geval deze rivier open blijft. Niettemin heeft ook in het eerste geval het chloridegehalte van het opperwater, zoals reeds in het voorgaande hoofdstuk werd gesteld, nog een zeer belangrijke invloed.

Het verschil in de voor zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg benodigde hoeveelheid opperwater voor de toestand met open en met afgesloten Oude Maas is zo groot, dat alleen al hieruit in de gemiddelde waterbehoefte voor de landbouw in geheel Zuidwest-Nederland, evenals in de waterbehoefte voor doorspoeling van dit gebied en in die voor zoutbestrijding op het Haringvlietbekken en het Zeeuwse Meer zou kunnen worden voorzien. Wanneer het er om gaat een vergelijking te maken tussen de toestand met afgesloten en die met open Oude Maas, heeft het voor de laatstgenoemde situatie dus weinig zin om te trachten dezelfde zoutgrens op de Rotterdamse Waterweg vast te houden ten koste van een algehele beperking van de nuttige behoefte in het overige deltagebied en verder bovenstreams. Veeleer ligt het omgekeerde voor de hand, namelijk om dit nuttige waterverbruik voor de toestand met open Oude Maas hetzelfde te houden als het verbruik, dat, mede op basis van de in 16.0 te behandelen opperwaterverdeling, voor de toestand met afgesloten Oude Maas werd ingevoerd. Zolang geen water overtollig is, wordt de afvoer langs het Scheur de sluitpost van de waterbalans, waarbij de daaruitvolgende chloridegehalten op de Nieuwe Maas de graadmeter vormen voor een vergelijking tussen de beide in bespreking zijnde situaties. Van de hoeveelheden opperwater, die volgens deze beschouwingwijze langs het Scheur tot afvloeiing kunnen worden gebracht, geeft figuur 9.4.2 een overzicht. Uit deze figuur valt af te leiden, dat de beschikbare opperwaterafvoer langs het Scheur gemiddeld over de periode 1946 t/m 1950 bijna 1100 m<sup>3</sup>/sec zal bedragen voor het Deltaplan met open Oude Maas en circa 950 m<sup>3</sup>/sec, indien deze rivier is afgesloten. Ter vergelijking zij vermeld, dat in de genoemde jaren bij de bestaande opperwaterverdeling gemiddeld 800 m<sup>3</sup>/sec opperwater langs het Scheur tot afvloeiing kwam.

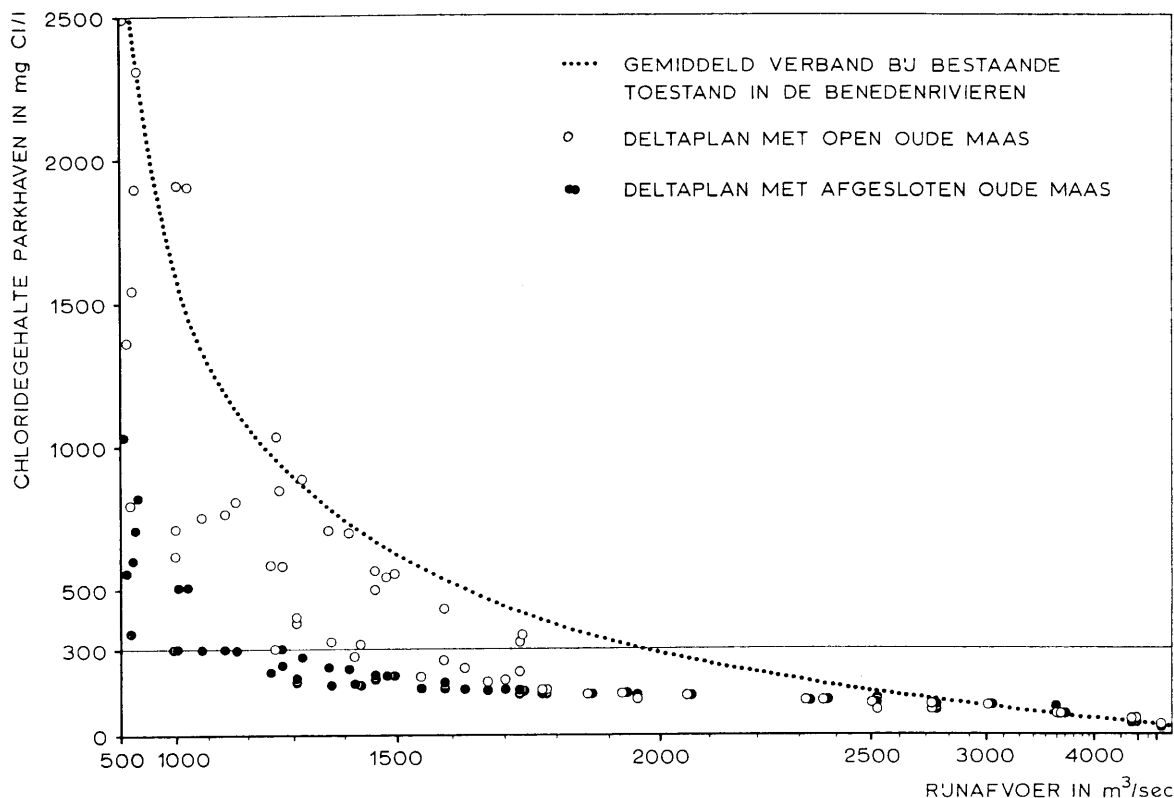
Het betrekkelijk geringe verschil in beschikbare afvoer voor de beide situaties na uitvoering der deltawerken doet – gelet op het hiervoor behandelde vereiste verschil, dat bij een zelfde chloridegehalte van het opperwater 400 à 500 m<sup>3</sup>/sec bedraagt – reeds vermoeden, dat de situatie met open Oude Maas belangrijk minder goede resultaten zal opleveren voor de zoutbestrijding op de Nieuwe Maas dan de toestand met afgesloten rivier. Dit volgt ook uit de figuren 9.4.3 en 9.4.4, waarop de geschatte chloridegehalten nabij de Parkhaven zijn aangegeven voor een periode als van 1946 t/m 1950 bij een chlorideafvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec.

In een dergelijke periode zal de grens van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering bij dit belangrijke inlaatpunt van Delfland bij de bestaande verdeling van het opperwater blijkens figuur 9.4.3 gedurende 45 maanden worden overschreden. Het gemiddelde chloridegehalte bij hoogwaterkentering bedraagt daarbij dan circa 1000 mg Cl/l. De ijsmaanden februari en maart 1947 zijn hierbij niet meegeteld.

De bovengenoemde overschrijdingswaarde betekent niet, dat Delfland in de jaren 1946 t/m 1950 gedurende 45 maanden geen water bij de Parkhaven zou hebben ingelaten. In de eerste plaats komt dit, omdat in deze bijdrage gewerkt wordt met een chloride-afvoer van de Rijn (225 kg Cl/sec), die groter is dan die, welke in 1946 t/m 1950 optrad (100 à 200 kg Cl/sec). Voorts dient de aandacht er op gevestigd te worden, dat gerekend werd met maandgemiddelden. Gedurende een gedeelte van de maand kan het chloridegehalte hoger zijn en gedurende het andere gedeelte dus lager dan de aangegeven grenswaarde. In het laatste geval kan dan toch water van redelijke kwaliteit aan de rivier worden onttrokken. En ook al overschrijdt het chloridegehalte bij hoogwaterkentering de waarde van 300 à 400 mg Cl/l, dan nog kan men bij opkomende vloed of bij afgaand tij – wanneer het chloridegehalte op de rivier nog niet zo hoog is gestegen of niet meer zo hoog is, doch de waterstand reeds of nog boven Delflands boezempeil ligt – water met een voldoende laag chloridegehalte inlaten. Naarmate de opperwaterafvoeren lager zijn en de chloridegehalten stijgen, wordt deze mogelijkheid steeds krupper, om uiteindelijk geheel te vervallen. Niettemin wordt in dergelijke gevallen toch nog water via de Parksluizen aan de Nieuwe Maas ontleend, ook al is het chloridegehalte daarvan te hoog. Door het Hoogheemraadschap Delfland wordt het namelijk als een noodzakelijkheid beschouwd om het boezempeil tot het uiterste te handhaven. Het inlaten van water bij de Parkhaven kan daarbij niet worden gemist, al is deze situatie na 1948, toen de aanvoerweg via Rijnland en het gemaal te Leidsendam gereed kwam, wel verbeterd.

Hoewel, gelet op het bovenstaande, de meergenoemde 45 maanden met een gemiddeld chloridegehalte van omstreeks 1000 mg Cl/l geen maatstaf vormen voor het al dan niet inlaten van water nabij de Parkhaven, zijn de cijfers toch wel kenmerkend voor de algemene zouttoestand op de Nieuwe Maas en lenen zij zich voor een vergelijking met de situatie, die na uitvoering van de deltawerken zal ontstaan.





Figuur 9.4.4. Overzicht van het chloridegehalte op de Nieuwe Maas tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven als functie van de Rijnaafvoer, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken, met open en met afgesloten Oude Maas voor een periode als van 1946 t/m 1950 bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec tot een maximaal gehalte van 250 mg Cl/l; chloridegehalte in mg Cl/l

Door deze werken zal – indien de Oude Maas open blijft – het aantal maanden, waarin het gemiddelde chloridegehalte van 300 mg Cl/l bij hoogwaterkentering nabij de Parkhaven wordt overschreden, blijkens de figuren 9.4.3 en 9.4.4 teruggebracht worden tot 32 met een gemiddeld gehalte van circa 900 mg Cl/l. Op zichzelf betekent dit dus reeds een behoorlijke verbetering. Daartegenover is het opvallend, dat bij deze toestand het chloridegehalte nabij de Parkhaven volgens de figuren 9.4.3 en 9.4.4 in sommige gevallen toch hoger kan zijn dan bij de huidige verdeling van het oppervater. Dit heeft drie oorzaken. In de eerste plaats werd voor de toestand na uitvoering der deltawerken op een veel grotere wateronttrekking gerekend dan thans. Voorts zal de afvoer van de Lek in tijden van kleine Rijnafvoeren als gevolg van het aangenomen stuwprogramma voor de gekanaliseerde Neder-Rijn niet onbelangrijk verminderen. Desondanks zal de hoeveelheid oppervater, die na uitvoering van de deltawerken in tijden van waterschaarste langs het Scheur tot afvloeiing kan worden gebracht, toch steeds groter zijn dan thans.

Mede door de veranderde verdeling van het oppervater over de open Oude Maas en de Noord zal het echter kunnen voorkomen, dat – ondanks de grotere afvoer langs het Scheur – de afvoer langs de Nieuwe Maas toch zóveel kleiner zal worden dan thans, dat dit voor de zoutbestrijding op deze rivier ongunstige gevolgen heeft.

Wanneer ook de Oude Maas is afgesloten, zal een chloridegehalte van 300 mg Cl/l bij hoogwaterkentering nabij de Parkhaven blijkens de figuren 9.4.3 en 9.4.4 nog gedurende 8 maanden worden overschreden tot een gehalte van gemiddeld omstreeks 650 mg Cl/l. Enerzijds blijkt hieruit, welke grote verbetering de deltawerken kunnen brengen, anderzijds blijkt ook, dat het zelfs na uitvoering van deze werken en zelfs wanneer daarbij de Oude Maas wordt afgesloten, niet mogelijk zal zijn om te allen tijde een voldoende laag chloridegehalte nabij de Parkhaven te verzekeren. De oorzaak hiervan is niet alleen,

dat in sommige gevallen te weinig opperwater ter beschikking is, doch tevens, dat het chloridegehalte van dit opperwater (200 à 250 mg Cl/l) zó hoog is, dat het ondoenlijk is het zeewater op doeltreffende wijze te bestrijden. Op de invloed, die de Rijnkanalisatie hierbij heeft, zal aan het einde van deze paragraaf nog nader worden ingegaan.

Overigens dient te worden opgemerkt, dat de periode van 1946 t/m 1950 wel een zeer ongunstig voorbeeld geeft van hetgeen men in de toekomst bij de Parkhaven verwachten kan.

Om een meer algemeen inzicht te verkrijgen in de frequentie van hoge chloridegehalten op deze plaats, werd er verband gelegd tussen deze gehalten en de Rijnafvoer, waarbij de waterbehoefte in Zuidwest-Nederland – die niet of nauwelijks met de Rijnafvoer is gecorreleerd – werd gebaseerd op gemiddelde meteorologische omstandigheden. Uit de overschrijdingswaarde van de Rijnafvoer volgt dan bij benadering de overschrijdingswaarde van het chloridegehalte. Een overzicht hiervan geeft tabel 9.4.2.

Omdat het wegvallen van de mogelijkheid tot waterinlaat gedurende een aaneengesloten periode van dagen of weken zeer veel meer bezwaar oplevert dan voor een enkele dag, werden de overschrijdingswaarden in tabel 9.4.2 aangegeven als groepenfrequenties, terwijl tevens onderscheid werd gemaakt tussen het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar. Voor het overige moge de tabel voor zichzelf spreken.

Tabel 9.4.2

Gemiddeld aantal groepen van achtereenvolgende dagen per jaar, waarbij een chloridegehalte van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven zal worden overschreden, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec

Aantal achtereenvolgende dagen	1 of meer	7 of meer	14 of meer	30 of meer
<b>Bestaande toestand</b>				
Zomerhalfjaar . . . . .	2,63	1,94	1,42	0,79
Winterhalfjaar . . . . .	3,21	2,31	1,63	0,88
Jaar . . . . .	5,84	4,25	3,05	1,67
<b>Deltawerken met open Oude Maas; Rijnkanalisatie bij stuwprogramma „300”</b>				
Zomerhalfjaar . . . . .	1,51	1,07	0,75	0,38
Winterhalfjaar . . . . .	2,01	1,36	0,92	0,43
Jaar . . . . .	3,52	2,43	1,67	0,81
<b>Deltawerken met afgesloten Oude Maas; Rijnkanalisatie bij stuwprogramma „300”</b>				
Zomerhalfjaar . . . . .	0,67	0,47	0,28	0,12
Winterhalfjaar . . . . .	1,13	0,73	0,45	0,19
Jaar . . . . .	1,80	1,20	0,73	0,31
<b>Deltawerken met afgesloten Oude Maas; Rijnkanalisatie bij open stuwen</b>				
Zomerhalfjaar . . . . .	0,51	0,35	0,20	0,09
Winterhalfjaar . . . . .	0,97	0,61	0,37	0,16
Jaar . . . . .	1,48	0,96	0,57	0,25

In het voorgaande viel speciaal de nadruk op het chloridegehalte nabij de Parkhaven. De reden hiervan is, dat de situatie bij deze plaats wordt beschouwd als een algemene graadmeter voor de zouttoestand op de Nieuwe Maas. Een en ander betreft dus niet alleen de omstandigheid, dat in de Parkhaven het voornaamste inlaatpunt is gelegen van het Hoogheemraadschap Delfland, ook andere punten langs de Nieuwe Maas zijn van belang, namelijk Vijfsluizen nabij Schiedam, de prise d'eau van de Rotterdamse drinkwatervoorziening bij Kralingen en het mondingsgebied van de Hollandse IJssel. Aan laatstgenoemde rivier onttrekken namelijk o.m. het Hoogheemraadschap Rijnland en het Grootwaterschap Woerden hun water, terwijl hieruit ook Delfland via Rijnland ten dele wordt voorzien.

De toestand nabij Vijfsluizen is in de bestaande situatie zodanig, dat slechts bij voldoende grote afvoeren (Rijn  $\geq 2800 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) het chloridegehalte bij hoogwaterkentering omstreeks  $300 \text{ mg Cl/l}$  bedraagt of minder. Weliswaar zal Delfland op deze plaats reeds eerder gedurende een gedeelte van het getij water kunnen inlaten, doch de mogelijkheden daartoe zijn gering. In de periode van 1946 t/m 1950 werd het gehalte van  $300 \text{ mg Cl/l}$  gedurende naar schatting 53 maanden overschreden, de ijsmaanden niet meegerekend. Ook na uitvoering van de deltawerken zal Vijfsluizen geen volwaardig inlaatpunt kunnen vormen. Toch valt met afgesloten Oude Maas te bereiken, dat in een periode als van 1946 t/m 1950 het aantal maanden, waarbij het gemiddelde chloridegehalte bij hoogwaterkentering groter zal zijn dan  $300 \text{ mg Cl/l}$ , kan worden teruggebracht tot 27, met een gemiddeld gehalte bij hoogwaterkentering van  $850 \text{ mg Cl/l}$ .

De situatie nabij Vijfsluizen zal na uitvoering van de deltawerken met afgesloten Oude Maas dus belangrijk gunstiger worden dan thans, zelfs gunstiger dan die, welke door de uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas nabij de Parkhaven kan worden bereikt.

Voor de Rotterdamse drinkwatervoorziening, waarvan de prise d'eau circa 5 km bovenstrooms van de Parkhaven is gelegen, zullen de verbeteringen als gevolg van de deltawerken weliswaar welkom zijn, doch het voordeel zal zich niet ten volle doen gevoelen, omdat men het water meestal bij eb, en in het bijzonder omstreeks de laagwaterkentering, aan de rivier onttrekt. Men heeft dan in hoofdzaak te maken met het chloridegehalte van het opperwater.

Aan de Hollandse IJssel kon ook in de zeer droge jaren 1947 en 1949 voldoende water voor aanvulling en verversing der polderwateren worden onttrokken. Wel trok in die tijd de zoutgrens bij hoogwaterkentering op tot bovenstrooms van de mond van genoemde rivier, doch de fasen van het horizontale en verticale getij in de mond van deze doodlopende rivierarm en in de Nieuwe Maas zijn zodanig op elkaar afgestemd, dat de Hollandse IJssel telkenmale aan het einde van de eb en het begin van de vloed van zoet water wordt voorzien.

Belangrijker nog is de zoetwaterinhoud van de Hollandse IJssel zelf, die een bufferwerking heeft. Door de deltawerken zal de situatie nog verbeteren, doordat het zout niet meer, zoals thans, zo hoog zal optrekken. Bovendien zal de natuurlijke aanvulling van zoet water door de verandering van de getijbeweging als gevolg van de deltawerken enigermate toenemen, terwijl ten slotte de afsluitbare kering in de mond van de Hollandse IJssel nog een mogelijkheid schept om de aanvulling van zoet water te regelen.

Een algehele afsluiting van de Hollandse IJssel zal voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg geen gunstige invloed van betekenis hebben.

In het hiervóór behandelde werd steeds stilzwijgend verondersteld, dat het voorlopige stuwprogramma van de Rijnkanalisatie volgens 7.1 ook in tijden van zeer kleine rivierafvoeren zal worden gehandhaafd.

Afgezien van de waterhuishouding in het gebied van het IJsselmeer werd deze veronderstelling gebaseerd op één van de belangrijke aspecten van de Rijnkanalisatie, namelijk die met betrekking tot de scheepvaart op de IJssel. Bij Rijnafoeren van omstreeks O.L.R., wanneer de situatie nabij de Parkhaven na uitvoering van de deltawerken kritiek gaat worden, zal volgens het voorlopige stuwprogramma van de Rijnkanalisatie nog circa  $90 \text{ m}^3/\text{sec}$  aan het deltagebied worden onttrokken. Het chloridegehalte van dit water is hoog, zodat het slechts een geringe bijdrage voor de zoutbestrijding zou opleveren, indien men het stuwprogramma ten behoeve van de waterinlaat nabij de Parkhaven zou laten vervallen. Dit blijkt ook uit een vergelijking tussen de onderste twee delen van tabel 9.4.2. Voor de IJssel zou deze maatregel een afneming van het debiet betekenen van  $220 \text{ m}^3/\text{sec}$  tot  $130 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Dit zou de gemiddelde vaardiepte op de bovenloop van de IJssel, die dan toch al klein is, nog met gemiddeld omstreeks 1,25 m doen verminderen. Een uitspraak in deze kwestie valt buiten het kader van deze bijdrage.

## **10.0 WATERVERBRUIK VOOR ZOUTBESTRIJDING OP HET HARINGVLIETBEKKEN C.A.**

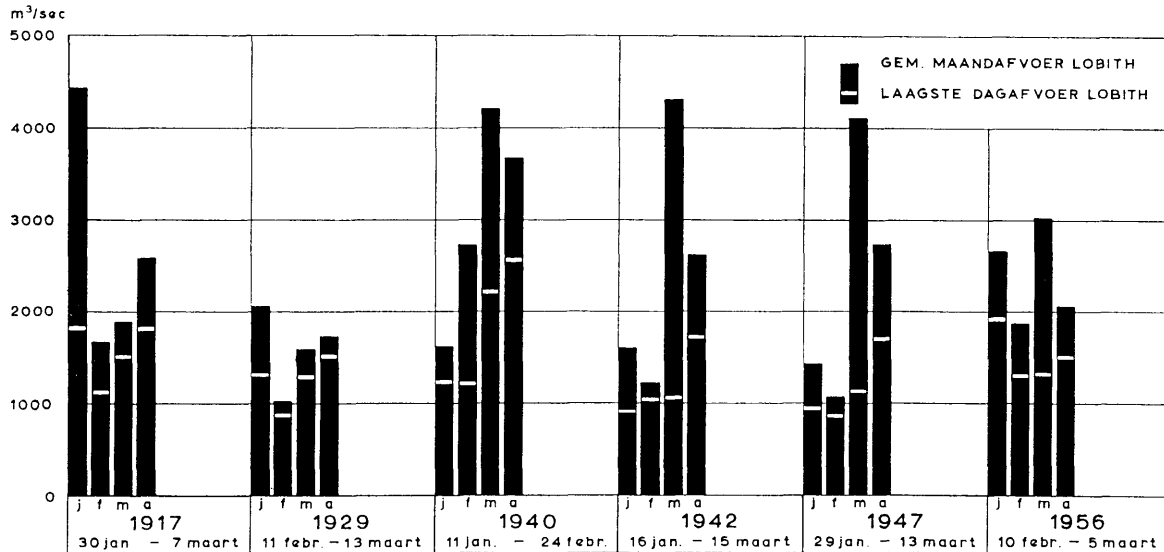
### **10.1 Ontzilting van het Haringvlietbekken**

Na het gereedkomen van de werken zullen de Haringvlietsluizen onder normale omstandigheden bij vloed gesloten zijn. Bij eb wordt overtollig opperwater afgelaten. Het aanwezige zout zal zich bij

eerste benadering met ongeveer dezelfde snelheid als die van het opperwater in benedenstroomse richting verplaatsen. Het tempo van ontzilting van het Haringvlietbekken hangt daardoor in overwegende mate samen met de opperwaterafvoer, die beschikbaar is om langs het Haringvliet te worden afgevoerd.

Uit de beschouwingen in een andere bijdrage <sup>1)</sup> blijkt, dat men rekening moet houden met de mogelijkheid, dat de Haringvlietsluizen in perioden van zware ijsgang niet alleen tijdens eb, doch ook bij vloed geheel geopend zullen worden. Het zout trekt in dat geval uit zee stroomopwaarts en verzout het eenmaal ontzilte bekken opnieuw.

Zoals uit figuur 10.1.1 blijkt, zijn de opperwaterafvoeren in perioden van strenge vorst veelal gering.



Figuur 10.1.1. Overzicht van de gemiddelde maandafvoeren en kleinste dagafvoeren van de Rijn te Lobith tijdens de strenge winters vanaf 1917, waarbij drijfs en vast ijs gedurende omstreeks een maand optraden; afvoeren in m³/sec

Bij Rijnafoeren van omstreeks 1000 m³/sec, die men in strenge vorstperioden mag verwachten, bedraagt het chloridegehalte nabij Willemstad bij hoogwaterkentering onder de bestaande omstandigheden 4000 tot 5000 mg Cl/l.

Na uitvoering van de deltawerken zal als gevolg van de vermindering van het getijvermogen op het Haringvliet en Hollands Diep en het wegvallen van de zoute vloedstroom uit het Volkerak, ten tijde van ijsgang ongetwijfeld een gunstiger situatie ontstaan dan thans. Niettemin moet er op gerekend worden, dat de 300 mg Cl/l-grens bij kleine opperwaterafvoeren ten tijde van de hoogwaterkentering tot ver bovenstrooms van Willemstad zal optrekken. Ten einde verzilting van het Zeeuwse Meer te voorkomen, verdient het derhalve aanbeveling om de stroomsluizen in de Volkerakdam in zulke perioden gesloten te houden.

Omstreeks het invallen van de dooi zijn de opperwaterafvoeren meestal belangrijk groter dan in het hart van de vorstperiode. De minst gunstige situatie vindt men wat dit betreft in 1929. Toch bedroeg de Rijnafoer na afloop van de vorstperiode toen nog ongeveer 1600 m³/sec. Bij de hoogwaterkentering ligt de 300 mg Cl/l-grens onder de huidige omstandigheden in een dergelijk geval circa 9 km bovenstrooms van Willemstad. Na voltooiing van de deltawerken zal deze grens zeker enkele kilometers lager liggen. Ten tijde van de laagwaterkentering is de situatie uiteraard gunstiger. In deze fase van het getij zal de 300 mg Cl/l-grens bij een Rijnafoer van 1600 m³/sec tot benedenstrooms van Willemstad worden teruggedrongen.

Wanneer de periode van zware ijsgang voorbij is, zal men de Haringvlietsluizen weer over de vloed gaan sluiten. Zou men dit voor het eerst doen ten tijde van de laagwaterkentering, dan zou het Haring-

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.5.

vlietbekken een peil krijgen, dat gelijk is aan de lage laagwaterstanden aldaar. Bij het opkomen van de vloed zou het bekken daardoor in zeer sterke mate via de Rotterdamse Waterweg worden gevuld. Op deze rivier zou dan tijdelijk een groot vloedoverschot ontstaan, waardoor het zout ver stroomopwaarts zou doordringen. Om dit te voorkomen dient men de sluizen dus niet voor het eerst tijdens de laagwaterkentering te sluiten, doch zal men de waterafvoer reeds gedurende de voorafgaande ebperiode moeten beperken. Met betrekking tot de ontziltling van het Haringvliet wordt het uitgangspunt dan gevormd door de zouttoestand, zoals deze ten tijde van de hoogwaterkentering voor het laatst met geheel geopende sluizen optrad.

Na aftrek van de hoeveelheid water, benodigd voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, en het wegspoelen van zout schutwater enz., blijft er van een afvoer als in maart 1929 na uitvoering der deltawerken circa 900 tot 450 m<sup>3</sup>/sec over om langs het Haringvliet af te voeren. De eerstgenoemde waarde geldt voor het geval de Oude Maas is afgesloten, de tweede voor de toestand, waarbij deze rivier open blijft. Rekent men voor het Haringvliet en het Hollands Diep op een gemiddeld stroomvoerend dwarsprofiel van 10 000 m<sup>2</sup>, dan bedraagt de driftweg op deze rivier bijna 8 km, resp. 4 km per etmaal. Binnen enkele dagen zal dan de 300 mg Cl/l-grens tot bij Willemstad zijn teruggedrongen, waardoor men – indien nodig – water van voldoende kwaliteit naar het Zeeuwse Meer kan afleiden. Geeft men er de voorkeur aan allereerst het Haringvliet verder te ontzilten, dan neemt dit voor het ongeveer 30 km lange traject van Willemstad tot de Haringvlietsluizen bij de bovengenoemde afvoeren 4 tot 8 dagen in beslag. Door onvoldoende menging is dan vermoedelijk nog niet al het zout uit het Haringvliet verwijderd, doch men kan aannemen, dat het water aan de oppervlakte van voldoende kwaliteit zal zijn om voor agrarische doeleinden te worden gebruikt.

## 10.2 Zoutbestrijding op het Haringvlietbekken na ontziltling

Om na te gaan, welke hoeveelheid opperwater moet worden verbruikt om het Haringvlietbekken na ontziltling door middel van doorspoeling zoet te houden, is het nodig te weten met welke hoeveelheden chloride dit bekken normaliter zal worden belast.

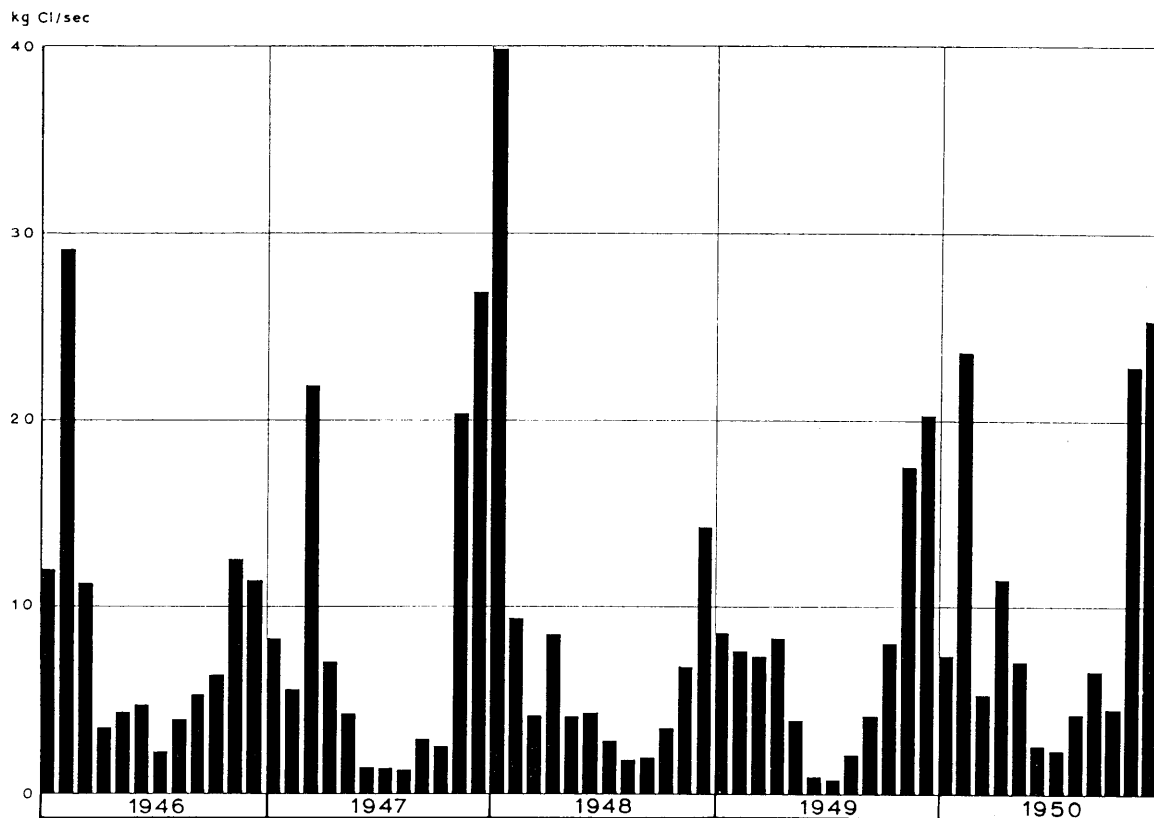
Chloridebezwaar ontstaat door het uitslagwater van aan zoute kwel onderhevige poldergebieden, door zout schutwater, door lekkage van de uitwateringssluizen, door wateroverslag bij storm, door eventuele zoute kwel onder de afdamming, alsmede door diffusie van het bodemzout. Voorts speelt uiteraard het chloridegehalte van het voor doorspoeling te gebruiken opperwater een belangrijke rol.

Van de bovengenoemde zoutbronnen kan de diffusie van het bodemzout worden verwaarloosd. Op zoute kwel naar het Haringvliet behoeft niet te worden gerekend. De gemiddelde waterstand op dit bekken zal zich vrijwel altijd voldoende boven de gemiddelde zeestand bewegen, zodat geen continue grondwaterstroom in bovenbedoelde richting kan ontstaan. Vanwege de hoge middenstand op het Haringvlietbekken zal tevens de zoute lek door de Haringvlietsluizen tot een minimum beperkt blijven. Uiteraard dienen de beweegbare keringen in deze sluizen van een goede dichting te worden voorzien, terwijl men er bij de constructie tevens naar zal streven om zoute golfoverslag althans bij zomerstormen zoveel mogelijk te vermijden. Doordat geen druk scheepvaartverkeer door de schutsluis in de dam door het Haringvliet wordt verwacht, zal ten slotte ook de hoeveelheid zeewater, die met het schutten op het Haringvlietbekken wordt gebracht, gering zijn.

Als voornaamste chloridebezwaar blijft dus bestaan het brakke uitslagwater van de poldergebieden, die op het Haringvliet lozen. Op grond van globale berekeningen, die in samenwerking met de directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat werden uitgevoerd, kan deze hoeveelheid chloride gemiddeld op omstreeks 250.10<sup>6</sup> kg Cl per jaar worden gesteld, althans gedurende de eerste jaren na voltooiing van de deltawerken. Een schatting van de verdeling van de chloride-uitslag per maand over de periode van 1946 t/m 1950 geeft figuur 10.2.1.

Wanneer men de dempende invloed, die de komberging van het Haringvlietbekken op de chloridegehalten zal uitoefenen, verdisconteert in de demping, die door het werken met maandgemiddelden wordt bereikt, en wanneer wordt aangenomen, dat de hoeveelheid water, die door de Haringvlietsluizen wordt geloosd, gelijk is aan het debiet, dat bovenstrooms in het bekken wordt toegevoerd, dan kan men het chloridegehalte bij de Haringvlietsluizen op eenvoudige wijze berekenen.

Van de chloridegehalten, die men op basis van de in 16.0 te bespreken opperwaterverdeling over de benedenrivieren bij deze sluizen zal aantreffen, geeft figuur 10.2.2 een overzicht voor een periode



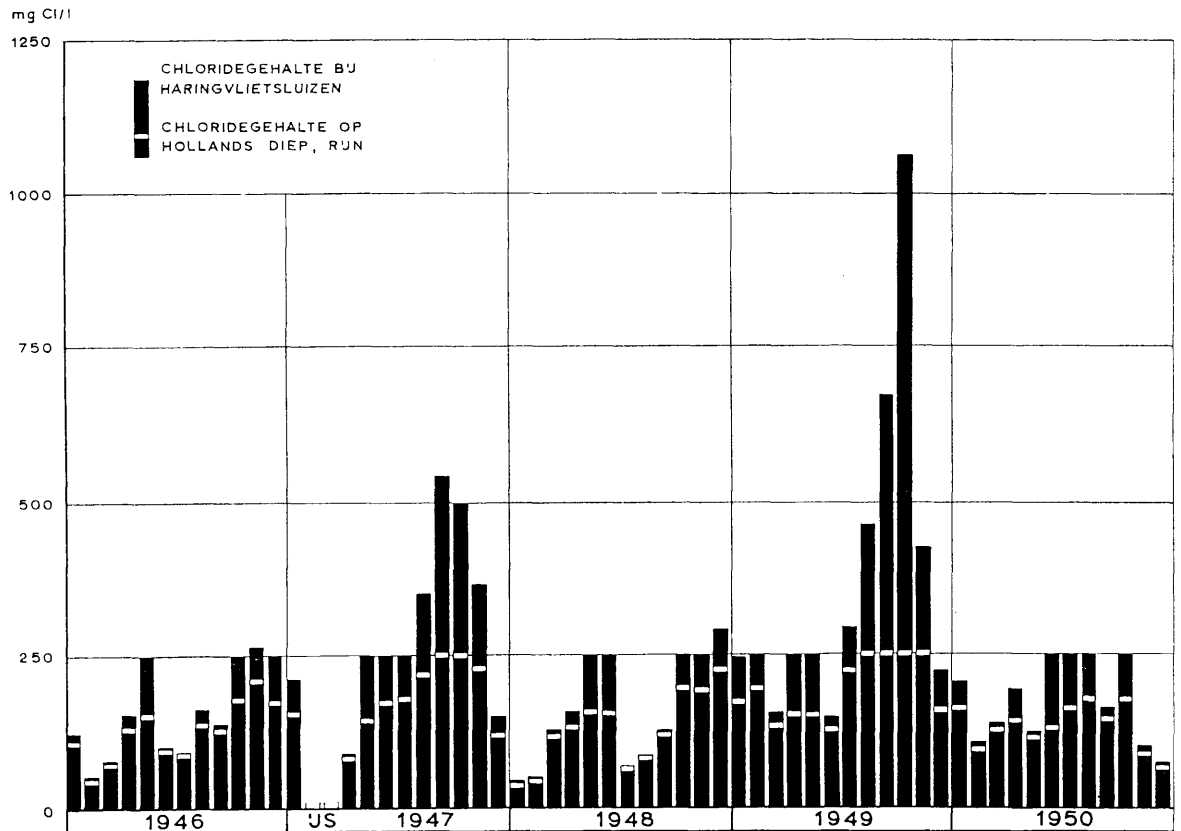
Figuur 10.2.1. Overzicht van de hoeveelheden chloride, die naar globale schatting door polders op het Haringvlietbekken zullen worden uitgeslagen in een periode als van 1946 t/m 1950, direct volgende op de voltooiing der deltawerken; chloride-uitslag in kg Cl/sec

als van 1946 t/m 1950. Verder bovenstrooms zullen de gehalten lager zijn dan bij de sluizen, om ten slotte op het Hollands Diep bij benadering overeen te komen met het chloridegehalte van de Waal en de Rijn.

Uit figuur 10.2.2 valt af te lezen, dat in perioden van zeer grote waterschaarste, waarbij het chloridegehalte van het Rijnwater tot 250 mg Cl/l oploopt, de concentratie in het Haringvlietbekken boven 300 mg Cl/l zal stijgen. Dit blijkt zich speciaal voor te doen in 1947 en 1949 en wel in het najaar. Voor de landbouw is deze stijging dus niet van groot belang. Indien noodzakelijk, zou het mogelijk zijn om ook in deze perioden de concentratie beneden 300 mg Cl/l te houden, doch de hiervoor benodigde hoeveelheid opperwater zou dan in mindering moeten worden gebracht van hetgeen langs de Rotterdamse Waterweg tot afvloeïing komt. Aangezien de hoeveelheid opperwater, die in perioden als de bovengenoemde voor zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg beschikbaar kan komen, toch reeds uitermate gering en onvoldoende zal zijn, verdient het weinig aanbeveling deze ten behoeve van het Haringvliet te verminderen.

Opgemerkt dient te worden, dat de chloridegehalten, speciaal de hoge concentraties, wel wat ongunstig berekend zijn. In de eerste plaats werd de chloridebelasting door natuurlijke kwel tamelijk hoog gesteld. Voorts werd niet in rekening gebracht, dat langs de Oude Maas, ook indien deze is afgesloten, een hoeveelheid opperwater tot afvloeïing komt, die zout uitslagwater van polders met zich mee zal voeren naar de Rotterdamse Waterweg. Ten slotte geven de benaderingen, op grond waarvan de chloridegehalten bij de Haringvlietssluzen werden bepaald, aanleiding om te veronderstellen, dat de werkelijk voorkomende concentraties lager zullen zijn dan de berekende.

Tegenover de bovengenoemde gunstige aspecten staat evenwel een aantal factoren, die een ongunstige invloed kunnen hebben op het berekende chloridegehalte. Zo werd er op gerekend, dat het lek- en schutzout van de Haringvlietssluzen direct achter deze kunstwerken wordt opgevangen en door onttrekking uit de diepte weer naar de zee wordt teruggevoerd, zonder dat hierdoor het Haringvliet-



Figuur 10.2.2. Overzicht van de chloridegehalten die na de voltooiing der deltawerken op het Haringvlietbekken en het Hollands Diep verwacht kunnen worden bij een chloride-afvoer van de Rijn te Lobith van 225 kg Cl/sec tot een maximaal gehalte van 250 mg Cl/l in een periode als van 1946 t/m 1950; chloridegehalten in mg Cl/l

bekken met chloride zal worden belast. Of deze gunstige aanname kan worden verwerkelijkt, is voorshands nog onzeker. Voorts werd bij de bepaling van de chloride-uitslag der polders alleen op een belasting door natuurlijke kwel gerekend. Wanneer de in de poldergebieden aanwezige zoute gasbronnen en nortonputten niet worden gedicht, zal men een hoger chloridebezwaar ondervinden dan werd aangenomen. Een, zij het gering, chloridebezwaar door diffusie van het bodemzout werd bij de berekening verwaarloosd, terwijl ten slotte evenmin rekening werd gehouden met een eventuele chloride-uitslag of lozing van andere schadelijke afvalstoffen van industrieën, die zich in de toekomst misschien langs het Haringvlietbekken zouden vestigen.

### 10.3 Zoutbestrijding op de Oude Maas

Wanneer de Oude Maas na uitvoering der deltawerken open blijft, is de chloridebelasting door het brakke uitslagwater der aangrenzende poldergebieden onbetekenend, vergeleken bij de hoeveelheden zout, die via de Rotterdamse Waterweg in de benedenloop van de Oude Maas optrekken. Deze laatste hoeveelheid is op haar beurt weer belangrijk kleiner dan thans. De oorzaak hiervan is, dat het getijvolume in de Nieuwe Waterweg als gevolg van de uitvoering der deltawerken afneemt, terwijl blijkens 16.0 vooral in tijden van waterschaarste belangrijk meer opperwater langs de Oude Maas tot afvloeiing zal komen dan onder de tegenwoordige omstandigheden het geval is. De mogelijkheden voor het inlaten van bruikbaar water naar o.m. de boezem van de Brielse Maas zullen hierdoor verbeteren.

Wanneer de Oude Maas is afgesloten, zal men ter plaatse van de beweegbare kering en de schutsluizen het zout, dat daar nog binnendringt, moeten bestrijden. Hoewel de hoeveelheid zoet water, benodigd om bovenstrooms van deze kunstwerken een zouttong in evenwicht te houden, kleiner zal zijn dan de hoeveelheid opperwater, die door een open Oude Maas vrij tot afstroming zou komen, is deze toch nog zeer groot. Doelmatiger is het om het binnendringende zeewater direct achter de kunst-

werken op te vangen in een diepe kom en door wateronttrekking uit deze diepte naar de benedenstroomse zijde terug te voeren. Rekent men, mede met het oog op een uitbreiding van het Rotterdamse havengebied, op een normale schutcapaciteit overeenkomende met het tegenwoordige gebruik van de sluizen te IJmuiden, dan dringt naar schatting gemiddeld per seconde circa 25 m<sup>3</sup> zout water naar binnen. Wanneer dit water zich niet zou mengen, zou een zelfde hoeveelheid nodig zijn om het zout wederom uit het achterliggende pand te verwijderen. De mate waarin menging als gevolg van de scheepvaart en andere factoren optreedt, verdient nog uitgebreide nadere studie, evenals de vormgeving van de afvoerwegen van het zout. In verband hiermede werd op een verdubbeling van de hoeveelheid water, die moet worden teruggevoerd, gerekend. In afwachting van nadere studie is echter geen enkele waarborg aanwezig, dat dit voldoende zal zijn.

Uitgaande van een tweevoudige terugspoeling, kan de hoeveelheid water, benodigd voor de bestrijding van zout schutwater in of nabij de benedenmond van de Oude Maas, worden gesteld op 50 m<sup>3</sup>/sec.

De hoeveelheid water, benodigd ter bestrijding van de zoute lek door de beweegbare kering in de Oude Maas, bedraagt bij een terugspoeling, die op de diepe waterlagen is geconcentreerd, vermoedelijk slechts enkele m<sup>3</sup>/sec.

Voor de bestrijding van het chloridebezwaar op de Brielse Maas en het terugdringen van het zout, dat door lekkage het Kanaal door Rozenburg binnenkomt, is blijkens de tegenwoordige ervaring circa 3 m<sup>3</sup>/sec benodigd.

Met enige afronding zal dus voor de bestrijding van zout lek- en schutwater op de Oude Maas en de Brielse Maas in totaal circa 60 m<sup>3</sup>/sec aan de eerstgenoemde rivier moeten worden onttrokken. Deze hoeveelheid is ruimschoots voldoende om tevens het bekken van de Oude Maas, dat door brak uitslagwater van polders en enig afvalwater wordt bezwaard, te verversen.

## 11.0 WATERVERBRUIK VOOR ZOUTBESTRIJDING OP HET ZEEUWSE MEER

### 11.1 Bestrijding van zout lek- en schutwater

Zout lek- en schutwater zal het Zeeuwse Meer willen binnendringen bij de sluizen te Hansweert in het Kanaal door Zuid-Beveland, bij de sluizen te Vlissingen of Vere in het Kanaal door Walcheren en door alle overige schut- of uitwateringssluizen, die men in de afsluitdammen of elders aan het Zeeuwse Meer zou aanleggen.

Het zout is belangrijk beter te bestrijden, indien de sluizen – waardoor het binnendringt – achterin een kanaal zijn gelegen dan wanneer deze sluizen direct uitkomen op het meer zelf. In het laatste geval zal het binnengedrongen zout zich gemakkelijk verspreiden, zodat een doelmatige bestrijding uiterst moeilijk wordt en veel water kost. Zo wordt wel aangenomen, dat voor het terugspoelen van het zout, dat door de sluizen in de Afsluitdijk het IJsselmeer binnendringt, een spuistroom nodig is van 200 m<sup>3</sup>/sec om de helft en van 500 m<sup>3</sup>/sec om 4/5 deel van het zout tegen te houden [29, 32]. Uit een oogpunt van zoetwaterhuishouding moet het dan ook ontraden worden om schutsluizen in de dammen door de Oosterschelde en het Brouwershavense Gat aan te leggen. Aan de spuumiddelen, die in of nabij deze dammen nu eenmaal niet gemist kunnen worden om een goede verversing van het Zeeuwse Meer te bewerkstelligen, zal de uiterste zorg met betrekking tot de dichting moeten worden besteed. Hevelinrichtingen verdienen in dit verband de voorkeur, omdat daardoor in het geheel geen zout kan binnendringen.

Bij de berekening van het chloridebezwaar op het Zeeuwse Meer werd aangenomen, dat de kunstwerken of wel achterin een kanaal gelegen zijn of wel bestaan uit hevelinrichtingen, zodat het Zeeuwse Meer niet door zout lek- en schutwater wordt belast. Daartoe is het nodig om het zout, dat door het schutten en door lek in het aansluitende kanaal binnendringt, weer aanstonds uit dit kanaal te verwijderen.

Voor het Kanaal door Zuid-Beveland kon berekend worden, dat per seconde ongeveer 7 m<sup>3</sup> zout water door het schutten bij Hansweert zal binnendringen. Indien dit zout niet verwijderd zou worden, zou hierdoor het Zeeuwse Meer met meer dan 80 kg Cl/sec worden bezwaard. Laat men een zouttong op het kanaal ontstaan, die nog juist vóór de uitmonding in het Zeeuwse Meer wordt tegengehouden,



dan is hiervoor een spuiroom nodig van meer dan 40 m<sup>3</sup>/sec. Doelmatiger is het evenwel om, zoals dit reeds in 10.3 ter sprake kwam, het zoute water direct achter de sluis op te vangen in een diepe kom en het door onttrekking uit deze diepte terug te voeren naar de Westerschelde. In dat geval is voor de zoutbestrijding te Hansweert een hoeveelheid zoet water nodig van naar ruwe schatting circa 15 m<sup>3</sup>/sec.

Voor het Kanaal door Walcheren werd op dezelfde wijze voor de tegenwoordige omvang van het scheepvaartverkeer een spuiroom van 3 m<sup>3</sup>/sec berekend.

Met enige afronding is dus voor de bestrijding van het zout bij de bestaande schutsluizen in het Zeeuwse gebied een spuiroom van naar schatting 20 m<sup>3</sup>/sec nodig. Om een zware chloridebelasting van het Zeeuwse Meer te vermijden, is het noodzakelijk deze spuiroom ook in tijden van groot watertekort te handhaven.

## 11.2 Zoutbelasting door kwel onder de afsluitdammen en diffusie van het bodemzout

De zoutbelasting door kwel onder de afsluitdammen is afhankelijk van het peil op het Zeeuwse Meer. Is dit peil in voldoende mate hoger dan het gemiddelde zeeniveau, dan zal geen water door de ondergrond naar het Zeeuwse Meer toestromen. Is het meerpeil lager, dan wordt het meer met zoute kwel bezwaard.

Volgens voorlopige berekeningen van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening zal de hoeveelheid chloride, die ter plaatse van de dammen in de Oosterschelde en het Brouwershavense Gat wordt toegevoerd, bij een meerpeil van N.A.P. + 0,5 m onbetekenend zijn. Bij een meerpeil van N.A.P. — 0,5 m zou de chloridetoever circa 2,5 kg Cl/sec bedragen, terwijl deze hoeveelheid chloride bij een peil van N.A.P. — 1,0 m zou verdubbelen.

Aangezien blijkens 17.1 omtrent de peilregeling van het Zeeuwse Meer nog geen uitsluitsel kan worden gegeven, moest ten aanzien van de kwel onder de afsluitdammen een aanname worden gedaan. Uitgaande van een peil van N.A.P. werd een chloridebezwaar van circa 1 kg Cl/sec in rekening gebracht.

Bij ontzilting van het Zeeuwse Meer en ook nog zeer lange tijd daarna, wordt, als gevolg van het concentratieverhang tussen het meerwater en het zoutere poriënwater onder de meerbodem, chloridebezwaar ondervonden door diffusie. Dit verschijnsel werd door de Dienst der Zuiderzeewerken uitvoerig bestudeerd [19]. De bij de bodem uitgewisselde hoeveelheid chloride kan blijkens deze studies globaal worden voorgesteld door:

$$Q^2 = \frac{4}{\pi} \varepsilon^2 k \int_0^t (c_0 - c_t)^2 dt$$

waarin:

$Q$  = totale door diffusie uitgewisselde hoeveelheid chloride in tonnen per m<sup>2</sup> bodemoppervlak over een tijd  $t$  na het begin van de ontzilting;

$\varepsilon$  = poriëngehalte van de grond; voor de bodem van het Zeeuwse Meer kan  $\varepsilon = 0,4$  à  $0,5$  worden aangehouden;

$c_0$  = oorspronkelijk chloridegehalte van het bovenliggende water bij het begin van de ontzilting in tonnen per m<sup>3</sup>; aangehouden werd  $18 \cdot 10^{-3}$  ton/m<sup>3</sup>;

$c_t$  = chloridegehalte van het bovenliggende water in tonnen per m<sup>3</sup> ten tijde  $t$  na het begin van de ontzilting;

$k$  = diffusiecoëfficiënt in m<sup>2</sup>/maand; voor het stroombed van de wateren in het zuidwesten des lands kan deze coëfficiënt op ongeveer  $1,5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/maand worden gesteld;

$t$  = tijd in maanden.

In het begin van de ontziltingsperiode bedraagt de chloridebelasting door diffusie, die met behulp van de bovenstaande formule voor het Zeeuwse Meer werd berekend, 20 à 25 kg Cl/sec.

Voor de periode na ontzilting vindt men de uitkomsten van de berekening, gebaseerd op een oppervlakte van het beneden N.A.P. gelegen deel van de meerbodem ter grootte van 51 750 ha, weergegeven in tabel 11.2.1. Bij de berekening van de doorspoeling, die vereist is om het Zeeuwse Meer na ontzilting zoet te houden, werd de chloridebelasting door diffusie gesteld op 3 kg Cl/sec.

Tabel 11.2.1  
Chloridebelasting van het Zeeuwse Meer door diffusie van het bodemzout na ontzilting van het meer

Aantal jaren na aanvang ontzilting	Chloridebelasting in tonnen chloride per maand	Chloridebelasting in kg chloride per seconde
5	11 600	4,4
10	8 250	3,1
15	6 700	2,6
20	5 800	2,2
25	5 200	2,0

### 11.3 Zoutbelasting door het uitslagwater van polders

De polder- en boezemwateren in het deltagebied worden bezwaard met zout lek- en schutwater, door natuurlijke kwel en in sommige gevallen door pompwells en gasbronnen.

Van de bovengenoemde zoutbronnen is het zoute kwelwater, dat in de poldersloten opstijgt of daarheen door de infiltrerende regen uit de bovenste grondlagen wordt gestuwd, in de meeste gevallen verreweg de belangrijkste.

Omtrent de kwel, de hoeveelheid uitslagwater en het chloridegehalte daarvan zijn in het deltagebied – de uitgestrektheid en de uiteenlopende geo-hydrologische gesteldheid in aanmerking genomen – slechts weinig gegevens beschikbaar. In samenwerking met cultuurtechnische instellingen, de Geologische Dienst, het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en de Werkgroep Geo-electrisch Onderzoek T.N.O., worden deze gegevens thans uitgebreid.

Door het ontbreken van voldoende gegevens is het niet mogelijk om thans reeds betrouwbare cijfers betreffende de doorlatendheid en het zoutgehalte van de ondergrond aan kwelberekeningen ten grondslag te leggen. Voor deze berekeningen moest dus worden uitgegaan van schattingen, waartoe uiteraard de beschikbare hydro-lithologische en geologische profielen, de resultaten van het onderzoek van grond- en watermonsters en die van geo-elektrische metingen zoveel mogelijk werden geraadpleegd.

Van het chloridegehalte van het diepe grondwater en de diverse bodemconstanten, die bij de voorlopige berekeningen, welke in samenwerking met de directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat werden uitgevoerd, zijn aangehouden, geeft tabel 11.3.1 een overzicht.

Tabel 11.3.1  
Overzicht van de geo-hydrologische gegevens omtrent de ondergrond van het deltagebied

Gebied	$k$ m/etm	$D$ m	$kD$ m <sup>2</sup> /etm	$c$ etm	$\alpha$	Chloridegehalte mg Cl/l
Voorne-Putten . . . . .	5	275	1375	250 à 500	0,5–0,6	2 500
Hoekse Waard . . . . .	5	275	1375	250 à 500	0,5–0,9	2 000
Noord-Brabant (noordwest). . . . .	5	200	1000	500	0,7	2 000 – 2 500
Goeree-Overflakkee . . . . .	5	225	1125	250 à 500	0,5–0,8	7 500–10 000
Schouwen . . . . .	5	150	750	100 à 750	0,8–0,9	15 000
Duiveland . . . . .	5	150	750	500 à 1000	0,7–0,8	10 000
Sint-Philipsland . . . . .	5	150	750	250 à 1000	0,5	7 500–10 000
Tholen . . . . .	5	150	750	250 à 1000	0,5–0,8	7 500
Noord-Brabant (zuidwest) . . . . .	5	150	750	500	0,5–0,7	2 500 – 5 000
Noord-Beveland . . . . .	5	100	500	250 à 1000	0,5–0,9	10 000
Zuid-Beveland . . . . .	5	75	375	250 à 500	0,5–0,9	7 500–10 000
Walcheren Zuidwatering (noord) . . . . .	5	75	375	200	0,5	16 000

Hierbij is:

$k$  = horizontale doorlatendheid van het watervoerende pakket in m/etmaal;

$D$  = dikte van het watervoerende pakket in m;

$c$  = weerstand van de slecht doorlatende bovenlaag tegen verticale opkwalling in etmalen per eenheid van oppervlakte;

$\alpha$  = dimensieloze kwel-coëfficiënt, waarvan de grootte afhangt van de aan- of afwezigheid van doorbrekingen van de afsluitende lagen in de nabijheid van de dijk.

Voor de methode van berekening van de kwel wordt verwezen naar [20].

De kwel in het deltagebied werd berekend voor vier verschillende toestanden, te weten:

- I Buitenpeil N.A.P. + 0,5 m; binnenpeil 0,5 m boven polderpeil.
- II Buitenpeil N.A.P. + 0,5 m; binnenpeil 0,5 m beneden polderpeil.
- III Buitenpeil N.A.P.; binnenpeil 0,5 m boven polderpeil.
- IV Buitenpeil N.A.P.; binnenpeil 0,5 m beneden polderpeil.

Waar de eilanden aan zee of aan open zeearmen grenzen, werd voor het buitenpeil N.A.P. aangehouden.

De uitkomsten der voorlopige berekeningen vindt men in tabel 11.3.2.

Tabel 11.3.2

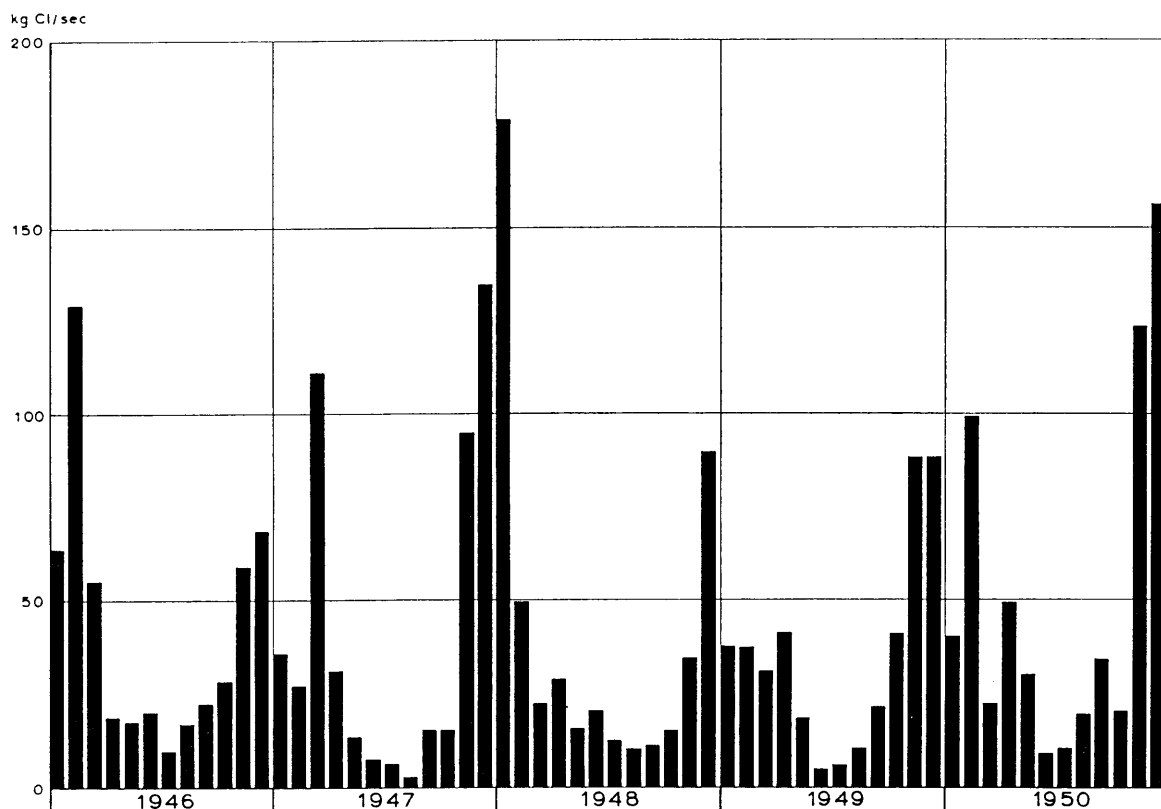
Overzicht van het chloridebezwaar door kwel in de gebieden, afwaterende op het Haringvlietbekken c.a. en het Zeeuwse Meer

Gebied	Kwel in m <sup>3</sup> /etmaal				Chloridebezwaar in kg Cl/sec			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
<i>Haringvlietbekken c.a.</i>								
Voorne-Putten . . . . .	16 000	28 000	11 000	23 000	0,5	0,8	0,3	0,7
Hoekse Waard . . . . .	60 000	118 000	32 000	89 000	1,4	2,7	0,7	2,1
Goeree-Overflakkee . . . . .	37 000	88 000	13 000	64 000	3,2	7,7	1,1	5,6
Noord-Brabant (west) . . . . .	24 000	36 000	18 000	30 000	0,6	0,9	0,4	0,8
Totaal . . . . .	137 000	270 000	74 000	206 000	5,7	12,1	2,5	9,2
<i>Zeeuwse Meer</i>								
Goeree-Overflakkee . . . . .	31 000	76 000	10 000	56 000	3,6	8,8	1,2	6,4
Noord-Brabant (west) . . . . .	17 000	34 000	9 000	26 000	0,9	1,8	0,4	1,4
Sint-Philipsland . . . . .	5 000	11 000	2 000	8 000	0,4	1,0	0,2	0,7
Tholen . . . . .	36 000	60 000	25 000	48 000	3,2	5,2	2,1	4,2
Duiveland . . . . .	45 000	70 000	30 000	56 000	5,2	8,1	3,5	6,4
Schouwen . . . . .	80 000	113 000	62 000	96 000	13,9	19,6	10,8	16,6
Noord-Beveland . . . . .	16 000	35 000	6 000	26 000	2,3	5,4	0,8	3,8
Zuid-Beveland (west) . . . . .	18 000	32 000	13 000	26 000	2,1	3,6	1,5	3,0
Zuid-Beveland (oost) . . . . .	3 000	5 000	2 000	4 000	0,2	0,4	0,2	0,3
Walcheren . . . . .	4 000	7 000	3 000	6 000	0,8	1,4	0,5	1,1
Totaal . . . . .	255 000	443 000	162 000	352 000	32,6	55,3	21,2	43,9

Bij de verdere uitwerking van het chloridebezwaar na uitvoering van de deltawerken werd voor het zomerhalfjaar uitgegaan van toestand II met een hoog peil van het buitenwater en een laaggelegen freatisch vlak, terwijl de situatie voor het winterhalfjaar werd benaderd door te rekenen met toestand III, dus met een betrekkelijk lage buitenwaterstand en een tamelijk hoge grondwaterspiegel in de polders. De gemiddelde zoute kwel over het jaar bedraagt dan voor het Zeeuwse Meer omstreeks 38,2 kg Cl/sec. Voor de huidige situatie dient men zich te baseren op de toestanden III en IV, waarbij voor de gemiddelde zoute kwel een waarde van 32,5 kg Cl/sec wordt gevonden. Door de uitvoering van de deltawerken zal het chloridebezwaar door kwel in de polders dus aanvankelijk met circa 17% toenemen, althans wanneer men op het Zeeuwse Meer des zomers een peil van N.A.P. + 0,5 m zou onderhouden en des winters een peil van N.A.P. Met de invloed van hogere grondwaterstanden in buitendijkse

gronden is, in verband met het ontbreken van gegevens, geen rekening gehouden. Als gevolg hiervan zal de zoute kwel bij de tegenwoordige situatie waarschijnlijk wat groter zijn dan werd berekend. Daardoor zal de toekomstige toestand in vergelijking met de bestaande minder ongunstig uitvallen.

Hoewel de kwel over het zomer- en winterhalfjaar min of meer geleidelijk verloopt en over elk jaar ongeveer hetzelfde zal zijn, houdt dit geenszins in, dat ook de hoeveelheid chloride, die door de polders wordt uitgeslagen, steeds dezelfde is. Deze hoeveelheid is in sterke mate afhankelijk van de neerslag, die het kwelzout uit de grond spoelt en naar de sloten afvoert. Aan de hand van enkele schaarse gegevens werd dit verband, waarbij tevens de grondwaterstand een rol speelt, per maand zo goed mogelijk geschat. De resultaten van deze schatting vindt men voor het Zeeuwse Meer aangegeven in figuur 11.3.1. Voor het Haringvlietbekken wordt verwezen naar figuur 10.2.1.



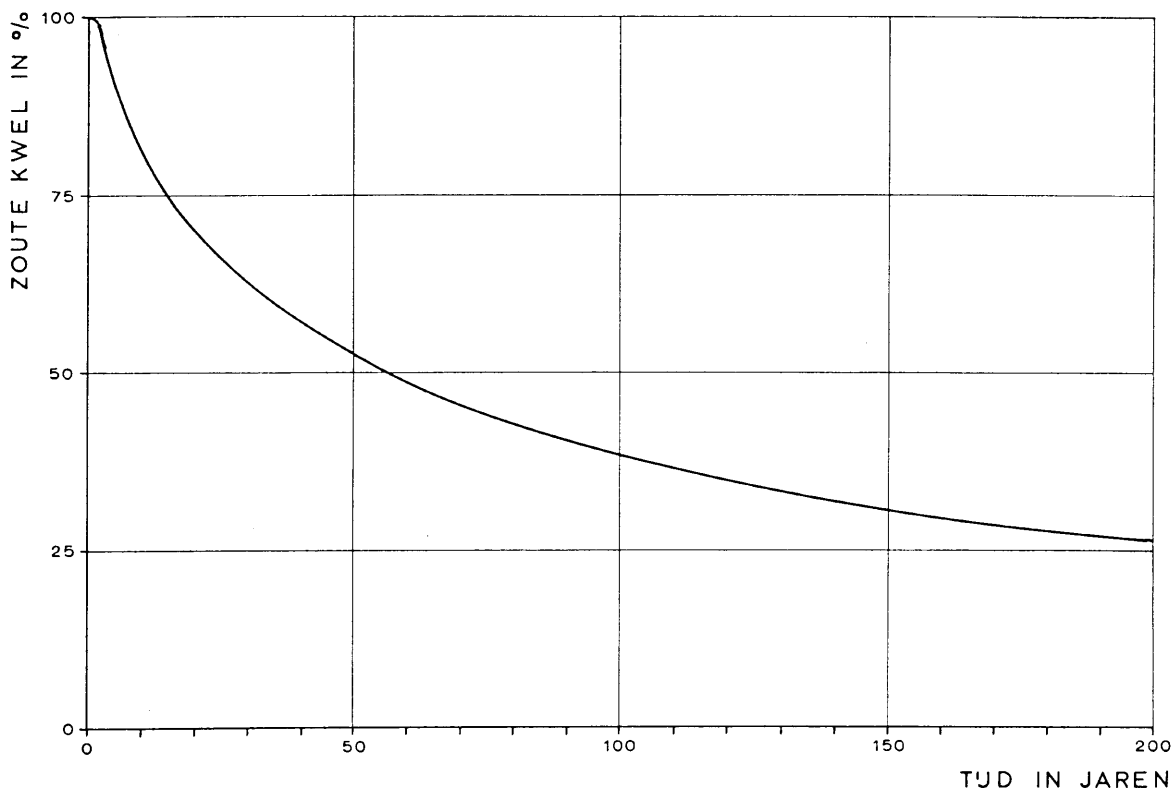
Figuur 11.3.1. Overzicht van de hoeveelheden chloride, die naar globale schatting door polders op het Zeeuwse Meer zullen worden uitgeslagen in een periode als van 1946 t/m 1950, direct volgende op de voltooiing der deltawerken; chloride-uitslag in kg Cl/sec

Figuur 11.3.1 heeft betrekking op de toestand, zoals deze bij benadering gedurende de eerste jaren na de ontzilting van het Zeeuwse Meer zal kunnen optreden. Door de ontzilting van het meer zal de kwel naar de polders geleidelijk aan verzoeten. Tevens zal in de loop der jaren de hoeveelheid kwelwater afnemen, doordat het potentiaalverschil tussen binnen- en buitenwater als gevolg van de in de ondergrond voortschrijdende verzoeting zal verminderen. Van landbouwkundige zijde wijst men daartegenover nog op een mogelijkheid, dat de zoute kwel minder snel zal kunnen afnemen, namelijk wanneer de afdekkende zoute kleilagen gaan verzoeten. Men acht het niet uitgesloten, dat deze kleilagen daardoor zullen dichtslaan, waardoor zij nog minder doorlatend zullen worden dan zij thans reeds zijn. De totale hoeveelheid kwelwater wordt dan wel minder, doch het gemiddelde chloridegehalte van dit water blijft langer hoog.

Met betrekking tot de te verwachten afname van de zoute kwel werd een globale berekening uitgevoerd. Door het ontbreken van gegevens kon daarbij met het eventuele dichtslaan van kleilagen geen

rekening worden gehouden. Figuur 11.3.2 geeft de uitkomsten van de voorlopige berekening weer voor de gebieden, die afwateren op het Zeeuwse Meer. Daarbij is de afname van de zoute kwel in procenten uitgedrukt als functie van de tijd. Blijkens deze figuur zal de zoute kwel omstreeks 10 à 15 jaar na de ontzilting van het Zeeuwse Meer met circa 20% zijn afgenomen, terwijl zij na een vijftig- à zestigtal jaren tot ongeveer de helft van haar oorspronkelijke waarde zal zijn teruggebracht.

De afname van de zoute kwel voor de gebieden, die lozen op het Haringvlietbekken, werd in deze bijdrage verwaarloosd. Als gevolg van de in het algemeen belangrijk minder zoute ondergrond zal dit verschijnsel zich daar namelijk ook procentueel in mindere mate voordoen.



Figuur 11.3.2. Globale schatting van het verloop van de zoute kwel in de poldergebieden, die afwateren op het Zeeuwse Meer, uitgedrukt in procenten, als functie van de tijd na ontzilting van dit meer

#### 11.4 Ontzilting van het Zeeuwse Meer

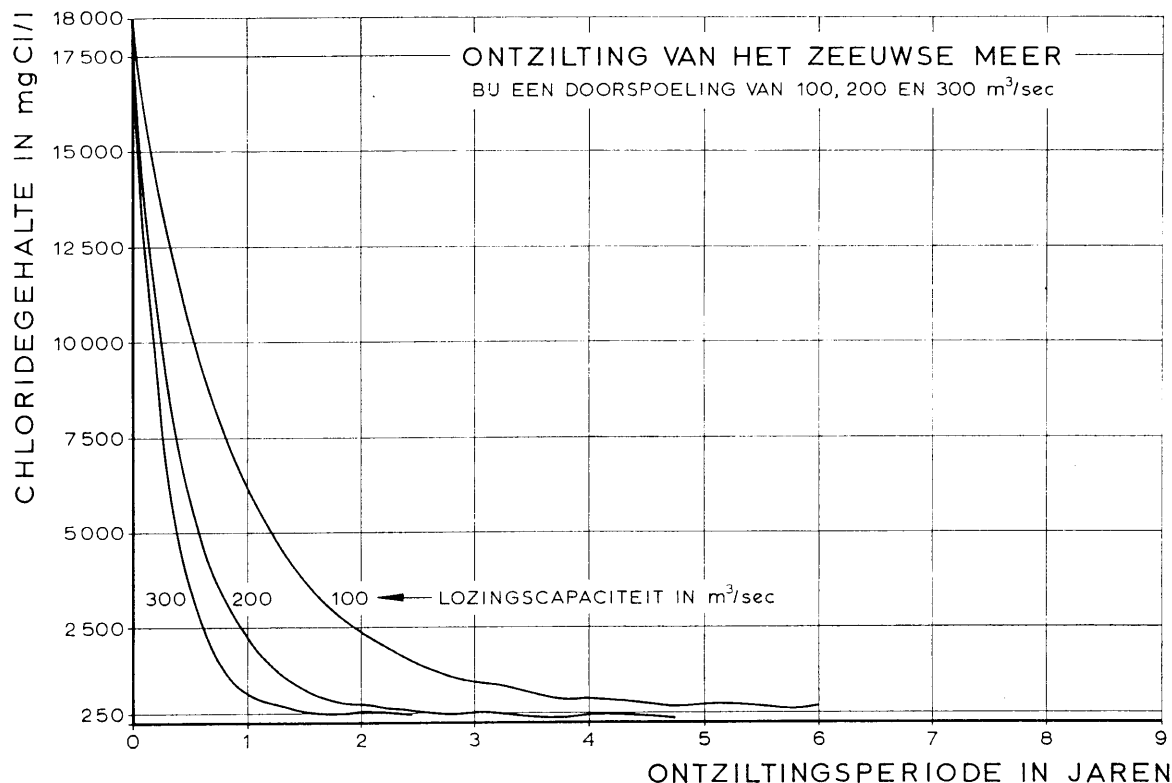
De ontzilting van de afgesloten Zeeuwse wateren zal in karakter overeenstemmen met hetgeen de ervaring heeft geleerd ten aanzien van het IJsselmeer. Om het oorspronkelijke chloridegehalte van omstreeks 6000 mg Cl/l in het IJsselmeer terug te brengen tot 300 mg Cl/l, bleek een hoeveelheid doorspoelingswater nodig te zijn van ongeveer vijfmaal de inhoud van dit meer. Aangezien dit vijf jaar in beslag nam, kan men de secundaire zoutbronnen als het uitslagwater der aan kwel onderhevige poldergebieden, zoute kwel onder de Afsluitdijk en diffusie van het bodemzout niet verwaarlozen. Neemt men deze in aanmerking, dan blijkt, dat men bij de bepaling van het tempo der ontzilting moet rekenen met een chloridegehalte van het uit het meer geloosde water, dat gebaseerd is op een volledige menging van de hoeveelheid zout water die aanwezig is, het brakke water dat daaraan wordt toegevoegd en het zoete water dat voor doorspoeling wordt gebruikt.

Op grond van het bovenstaande werd ook voor het Zeeuwse Meer met een volledige menging van het aanwezige en het toegevoerde water gerekend. Deze aanname zal te ongunstig zijn, indien men – hetgeen wordt aanbevolen – de lozingsmiddelen zodanig construeert, dat speciaal het zoutste water onderuit de diepe toevoergeulen wordt onttrokken.

Als uitgangspunt voor de ontziltingsberekeningen werd een gehalte van 18 000 mg Cl/l gekozen. De inhoud van het Zeeuwse Meer werd gesteld op ongeveer  $2800 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> beneden N.A.P.

Met betrekking tot zout lek- en schutwater werd volgens 11.1 aangenomen, dat een spuiroom van ten minste 20 m<sup>3</sup>/sec nodig is om te voorkomen, dat het Zeeuwse Meer via het Kanaal door Zuid-Beveland en het Kanaal door Walcheren zout ontvangt.

De chloridebelasting door kwel onder de afsluitdammen werd ingevolge 11.2 gesteld op 1 kg Cl/sec. De belasting door diffusie van het bodemzout is afhankelijk van het tempo, waarmede het Zeeuwse Meer wordt ontzilt, c.q. van de hoeveelheid zoet doorspoelingswater, die voor de ontzilting



Figuur 11.4.1. Tempo van de ontzilting van het Zeeuwse Meer bij verschillende hoeveelheden doorspoelingswater

wordt gebruikt. Voor de verschillende situaties, die hierbij werden bestudeerd, werd de chloridebelasting door diffusie berekend met de formule, die in 11.2 is opgenomen.

De chloridebelasting door het uitslagwater van polders werd op basis van het gestelde in 11.3 berekend voor een gemiddeld jaar.

De hoeveelheid water, die voor doorspoeling via het Volkerak uit het Haringvlietbekken moet worden onttrokken, werd bij de berekeningen gevarieerd. Het chloridegehalte van het doorspoelingswater werd gelijkgesteld aan de concentratie van het Rijnwater bij een chloride-afvoer te Lobith van 225 kg Cl/sec in een gemiddeld jaar.

Van de uitkomsten der berekeningen geeft figuur 11.4.1 een overzicht. Hierop valt het tempo der ontzilting bij verschillende hoeveelheden doorspoelingswater af te lezen.

Zonder de zoetwaterhuishouding in het gebied van de benedenrivieren te schaden, kan na de voltooiing der deltawerken in normale jaren gemiddeld 750 à 1000 m<sup>3</sup>/sec voor de doorspoeling van het Zeeuwse Meer ter beschikking worden gesteld. De capaciteit van de inlaatluizen in het Volkerak, die uit veiligheidsoverwegingen waarschijnlijk tamelijk ruim zal worden gekozen, is meer dan voldoende om de bovengenoemde hoeveelheid met betrekkelijk gering verval door te laten. Het zullen dan ook niet zozeer de inlaatmogelijkheden zijn, die de mate van doorspoeling bepalen, als wel de capaciteit van de lozingsmiddelen. Deze worden in hoofdzaak bepaald door de hoeveelheid doorspoelingswater,

die na de ontzilting van het Zeeuwse Meer nodig is om ook onder minder gunstige omstandigheden, bijv. door een grote chloride-uitslag van de polders of een betrekkelijk hoog chloridegehalte van het doorspoelingswater, de concentratie van het water in het Zeeuwse Meer niet te hoog te laten oplopen. Blijkens 11.5 lijkt wat dit betreft een capaciteit van tenminste 200 m<sup>3</sup>/sec wenselijk. Op basis hiervan zal de ontzilting van het Zeeuwse Meer tot 250 à 300 mg Cl/l volgens figuur 11.4.1 bij normale Rijnafvoeren 2 à 3 jaar vorderen. Bruikbaar water voor de landbouw zal, zeker aan de oppervlakte van het meer, op tal van plaatsen reeds veel eerder kunnen worden ontleend. Uiteraard zullen daartegenover perioden met kleine tot zeer kleine Rijnafvoeren, waarbij het chloridegehalte van het doorspoelingswater hoog is of waarbij geen water voor doorspoeling ter beschikking kan worden gesteld, het tempo van ontzilting nadelig beïnvloeden. Over het geheel genomen lijkt echter een lozingscapaciteit van 200 m<sup>3</sup>/sec wel aanvaardbaar, te meer omdat de duur van de ontziltingsperiode bij een onttrekking van het water uit de diepe geulen te ongunstig werd berekend.

### 11.5 Zoutbestrijding na ontzilting

Bij de bepaling van de hoeveelheid doorspoelingswater en de daarmee verband houdende lozingscapaciteit, die nodig zal zijn om het eenmaal ontzilte Zeeuwse Meer zoet te houden, werd uitgegaan van een periode, vallende omstreeks 10 à 15 jaar nadat de ontzilting zal zijn voltooid. In dat geval kan het zoutbezwaar door de uitslag van polderwater blijkens 11.3 met circa 20% worden verminderd, terwijl de zoutbelasting door diffusie volgens 11.2 nog maar ongeveer 3 kg Cl/sec zal bedragen. Voor de kwel onder en door de afsluitdammen werden de gegevens aangehouden, die vermeld zijn in 11.1.

Het chloridegehalte van het water, dat via het Volkerak uit het Haringvlietbekken voor doorspoeling van het Zeeuwse Meer moet worden ingelaten, werd – overeenkomstig voorgaande aannamen – gelijkgesteld aan de concentratie van het Rijnwater bij een chloride-afvoer te Lobith van 225 kg Cl/sec.

Als uitgangspunt voor de berekening van de vereiste lozingscapaciteit dient ten slotte nog een veronderstelling te worden gedaan omtrent het chloridegehalte van het water, dat uit het Zeeuwse Meer zal worden geloosd. Hoe hoger dit gehalte is, des te minder water zal er nodig zijn om een bepaalde hoeveelheid chloride te lozen, des te kleiner ook kan de capaciteit der lozingsmiddelen worden gekozen. Het chloridegehalte in het meer zal van het inlaatpunt in de Volkerakdam tot de punten van lozing geleidelijk aan toenemen. In deze richting voorttrekkend, zal de doorspoelingsstroom immers steeds meer zout uitslagwater der polders opnemen. De geleidelijke toeneming van de chlorideconcentratie in de doorspoelingsstroom zal verstoord worden door onregelmatigheden in de uitslag der polders, alsmede door windinvloeden. Deze laatstgenoemde invloeden zal men zeker niet kunnen verwaarlozen. De snelheid van de doorspoelingsstroom in het meer zal namelijk als gevolg van het grote dwarsprofiel slechts zeer gering zijn. Hierdoor zijn storende invloeden als bovenbedoeld al spoedig van relatief grote betekenis.

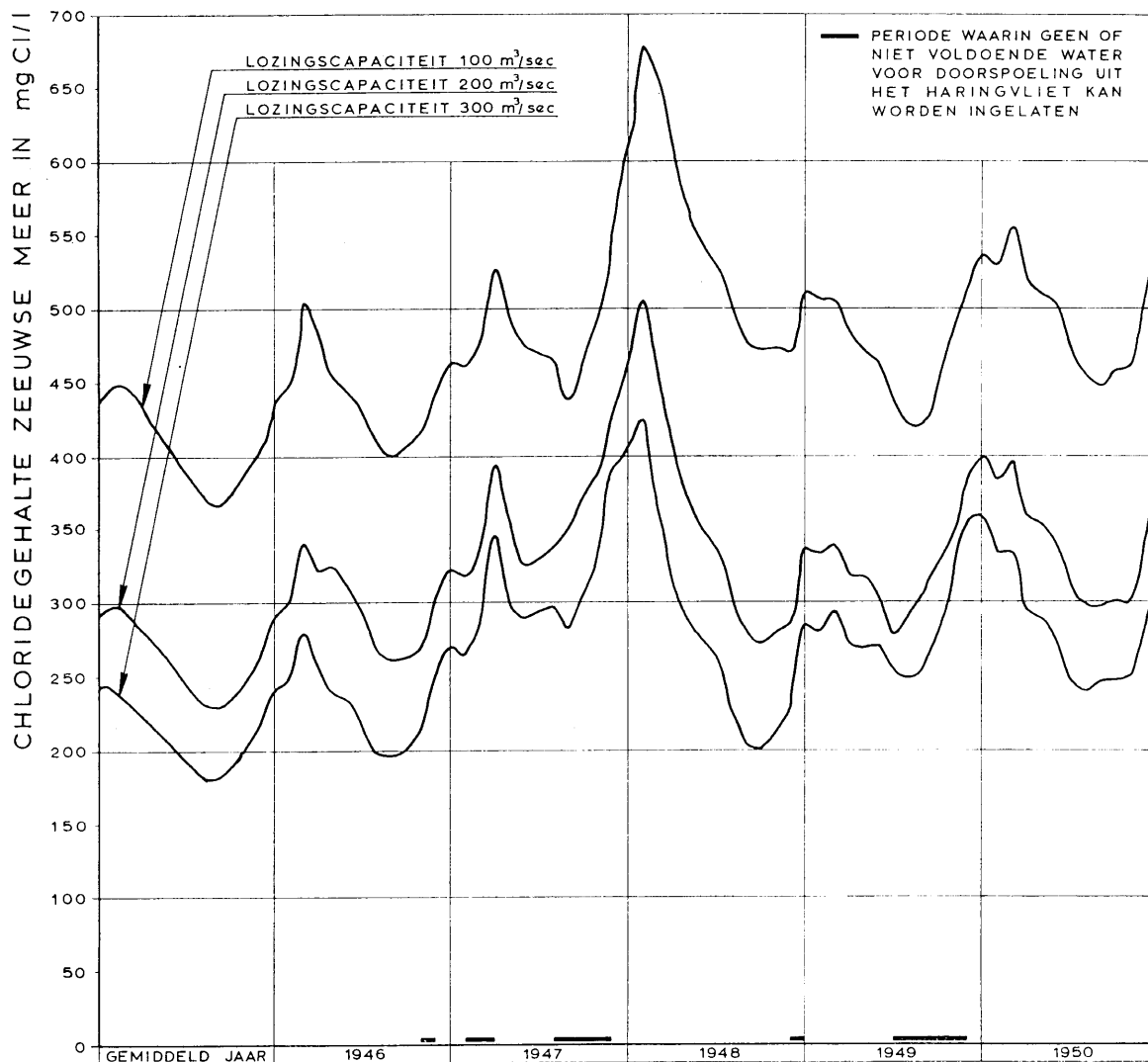
Ten einde niet van te gunstige veronderstellingen ten aanzien van het chloridegehalte uit te gaan, werd op basis van de ervaringen in het IJsselmeer aangenomen, dat het gehalte van het te lozen water overeenkomt met de gemiddelde concentratie in het gehele meer. Uiteraard dient daarbij het chloridebezwaar door zout lek- en schutwater nabij de lozingspunten afzonderlijk te worden beschouwd.

De diepte, waarop het water aan het meer wordt onttrokken, is voor de periode na ontzilting van minder groot belang dan daarvóór. Na ontzilting vormt namelijk het brakke uitslagwater der polders het voornaamste chloridebezwaar, waarmee het Zeeuwse Meer nog zal worden belast. Verwacht mag worden, dat dit uitslagwater zich nagenoeg volledig met het meerwater zal mengen. Behalve voor het verwijderen van zout, dat nog onder in de geulen is achtergebleven, heeft een onttrekking uit de diepte dan vermoedelijk weinig zin meer. In ieder geval leek het niet verantwoord om de voorlopige veronderstelling betreffende het gemiddelde chloridegehalte van de spuiroom uit hoofde van een eventuele diepe onttrekking te wijzigen.

Bij de bepaling van de lozingscapaciteit, die met het oog op het onderhouden van een goede kwaliteit van het water in het Zeeuwse Meer nodig is, zal men zich niet op het standpunt kunnen stellen, dat een bepaald chloridegehalte, bijvoorbeeld 250 mg Cl/l, te allen tijde gehandhaafd moet kunnen worden. Wanneer het chloridegehalte van het water, dat men via de Volkeraksluizen uit Haringvliet en Hollands Diep voor doorspoeling moet inlaten, hoog is, zou een dergelijk uitgangspunt namelijk tot uitzonderlijk grote hoeveelheden doorspoelingswater leiden. Wel zou men er naar kunnen streven, dat het chloride-

gehalte van het meerwater gedurende het groeiseizoen zoveel mogelijk beneden 250 mg/l blijft. Met het oog op de waterhuishouding in het gebied ten noorden van het Volkerak, in het bijzonder in verband met de vereiste zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, is echter de hoeveelheid water, die voor de verversing van het Zeeuwse Meer ter beschikking kan worden gesteld, aan beperkingen onderhevig. Om deze redenen werd niet getracht aan een bepaald chloridegehalte in het meer vast te houden, waarmee men dan de vereiste doorspoelings- en lozingscapaciteit zou moeten berekenen, doch werd omgekeerd nagegaan, welke chloridegehalten men verwachten kan, indien van een gegeven capaciteit der lozingsmiddelen wordt uitgegaan. Verschillende capaciteiten der lozingsmiddelen werden beschouwd. Men verkrijgt daardoor een inzicht in de praktische mogelijkheden om de variaties in het chloridegehalte binnen aanvaardbare grenzen te houden.

Een overzicht van de resultaten der uitgevoerde berekeningen geeft figuur 11.5.1.



Figuur 11.5.1. Verloop van het gemiddelde chloridegehalte in het Zeeuwse Meer, geschat voor een gemiddeld jaar, alsmede 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 een gemiddelde lozingscapaciteit van 100, 200 en 300 m<sup>3</sup>/sec; chloridegehalten in mg Cl/l

Uit figuur 11.5.1 valt af te leiden, dat een vergroting van de lozingscapaciteit van 100 tot 200 m<sup>3</sup>/sec een belangrijk gunstiger effect heeft op het chloridegehalte in het Zeeuwse Meer dan een vergroting



van 200 tot 300 m<sup>3</sup>/sec. In het eerste geval zullen de chloridegehalten met omstreeks 150 mg Cl/l dalen, in het tweede geval nog maar met 50 mg Cl/l. Het laat zich aanzien, dat een lozingscapaciteit van 100 m<sup>3</sup>/sec onvoldoende zal zijn om een aanvaardbaar chloridegehalte op het Zeeuwse Meer te handhaven. Bij deze capaciteit variëren de chloridegehalten in een gemiddeld jaar, dat zeer gunstig afsteekt ten opzichte van een periode als van 1946 t/m 1950, tussen ongeveer 370 en 450 mg Cl/l met een gemiddelde van 390 mg Cl/l voor het zomerhalfjaar en 425 mg Cl/l voor het winterhalfjaar.

Bij een lozingscapaciteit van gemiddeld 200 m<sup>3</sup>/sec variëren de chloridegehalten in een gemiddeld jaar tussen 230 en 300 mg Cl/l met een gemiddelde van 250 mg Cl/l voor het zomerhalfjaar en 275 mg Cl/l voor het winterhalfjaar. In een periode als van 1946 t/m 1950 zal dan in het groeiseizoen het gehalte van 300 mg Cl/l evenwel nog tamelijk lang worden overschreden.

Wanneer men de doorspoeling van het Zeeuwse Meer baseert op een lozingscapaciteit van 300 m<sup>3</sup>/sec, verkrijgt men uiteraard een verdere verbetering. Het zal van nadere studie betreffende het chloridebezwaar van het Zeeuwse Meer, de verdeling van het chloridegehalte over dit meer en de betekenis daarvan voor het verbruik, alsmede van de plaats, het ontwerp en de kosten der lozingsmiddelen afhangen of het installeren voor een dergelijk grote capaciteit aanbeveling zal verdienen of niet.

Bij de verdeling van het oppervlaktewater over de benedenrivieren en het Zeeuwse Meer werd in deze bijdrage van de meer gematigde veronderstelling uitgegaan, dat de doorspoeling van het Zeeuwse Meer zal plaatsvinden op basis van een lozingscapaciteit van 200 m<sup>3</sup>/sec.

## 12.0 WATERVERBRUIK VOOR VERVERSING VAN POLDER- EN BOEZEMWATEREN

Ten einde het water in een boezem of polder voldoende rein te houden, is zuivering van het daarop te lozen afvalwater, beperking van het aantal gasbronnen en pompwells, alsmede beperking van de hoeveelheid zout lek- en schutwater in het algemeen gewenst. Niettemin zal men in de laaggelegen poldergebieden toch voor verversing van het water moeten zorg dragen om de zoute natuurlijke kwel uit de polders en boezemgebieden te verwijderen. De hoeveelheid water, die daarvoor nodig is, zal – behoudens in bijzondere gevallen – tevens voldoende zijn om het water ook in andere opzichten te reinigen en een voldoende hoog zuurstofgehalte te waarborgen. Tevens kan daarmee zout lek- en schutwater worden teruggedrongen, zodat dit zout de polder- en boezemwateren niet behoeft te bezwaren.

Voor de bepaling van de vereiste hoeveelheid door te spoelen water is het noodzakelijk de hoeveelheid chloride, waarmee het gebied belast wordt, te kennen. Voorts spelen uiteraard de kwaliteit van het in te laten water en de kwaliteit, die men aan het polder- of boezemwater wil geven, een belangrijke rol. Omtrent deze factoren vindt men in de voorafgaande paragrafen verschillende gegevens. Bezie men de doorspoeling in haar meest eenvoudige vorm, dan zouden deze gegevens voldoende zijn om, afhankelijk van de mate van ontzilting, die men wenst te bereiken, de daarvoor vereiste hoeveelheid verversingswater te bepalen.

Het probleem van de doorspoeling kan echter niet los gezien worden van de hoeveelheid water, die nodig is voor peilbeheersing, c.q. voor wateraanvulling ten behoeve van agrarische en andere doeleinden. Dit water heeft immers eveneens een aandeel in de verversing. Ook het systeem van doorspoeling of verversing, i.c. de doelmatigheid daarvan, zal mede bepalend zijn voor de hoeveelheid water, die benodigd is. Ten slotte kan de doorspoeling niet los worden gezien van de lozingsmiddelen.

De studie betreffende de waterinlaat, doorspoeling en lozing van polder- en boezemwateren is nog niet zover gevorderd, dat van gebied tot gebied kan worden aangegeven hoeveel water daarmee zal zijn gemoeid. Wel zijn uitgebreide onderzoeken verricht voor het Hoogheemraadschap Rijnland [9]. Op grond hiervan werd voor een voor de toekomst gewenste verversing van Rijnland en Delfland aangenomen, dat, in aanvulling op het voor peilbeheersing geloosde water, een hoeveelheid water voor verversing aan de benedenrivieren wordt onttrokken en daarbuiten wordt geloosd, zodanig, dat de totale hoeveelheid uitslagwater 60 mm per maand bedraagt. Dit komt bij benadering overeen met de gemiddelde lozing voor peilbeheersing gedurende de wintermaanden. Zodra de hoeveelheid water, die voor peilbeheersing wordt geloosd, groter is dan 45 mm per maand, zal men – onafhankelijk van deze hoeveelheid – toch 15 mm per maand voor verversing blijven inlaten.

In de poldergebieden in het zuidwesten des lands treft men geen uitgestrekte boezemwateren aan, zoals in Rijnland en Delfland. De zorg voor een goede kwaliteit van het water, speciaal ten behoeve van de tuinbouw, is daar dus meer van plaatselijke aard. Voor het overgrote deel van het genoemde gebied, dat in hoofdzaak bestaat uit akkerland en gemengd bedrijf, kunnen minder hoge eisen aan de kwaliteit van het polderwater worden gesteld. Ook is de belasting door zout lek- en schutwater – zeker na uitvoering van de deltawerken –, alsmede de lozing van afvalwater van industrieën en stedelijke agglomeraties minder groot dan in het verzorgingsgebied van de Rotterdamse Waterweg. Daar staat tegenover, dat de zoute kwel in het Zeeuwse poldergebied in het algemeen belangrijker hoger is dan die in Centraal-Holland.

Globaal en zeer in het algemeen kan uit de water- en chloridebalansen der poldergebieden worden afgeleid, dat, bij verwaarlozing van secundaire effecten verband houdende met de beheersing van sloot- en grondwaterstanden,

$$Q_a = \frac{k_p}{\Delta Cl},$$

waarin:

$Q_a$  = doorspoeling in m<sup>3</sup>/sec;

$k_p$  = chloridebelasting van het polderwater in kg Cl/sec (uit metingen blijkt voor Rijnland en voor de IJsselmeerpolders, dat over het zomerhalfjaar ongeveer 30 à 40% van de totale zoute kwel per jaar in het polderwater terecht komt);

$\Delta Cl$  = verschil in chloridegehalte tussen het uitgeslagen en ingelaten water in kg Cl/m<sup>3</sup>.

De hoeveelheden doorspoelingswater, berekend volgens de bovenstaande formule en de gegevens omtrent de zoute kwel, opgenomen in tabel 11.3.2, blijken zeer groot te zijn. Uitgaande van een chloridegehalte van omstreeks 250 mg Cl/l van het in te laten water – d.i. de vermoedelijke gemiddelde concentratie in het Zeeuwse Meer gedurende de eerste decennia na voltooiing van de deltawerken –, zal men een gemiddeld gehalte van 300 mg Cl/l in het slootwater in de meeste gevallen praktisch niet kunnen verwezenlijken. De kosten voor doorspoeling zouden daarvoor te hoog zijn. Om des zomers gemiddeld 500 mg Cl/l te bereiken, zou omstreeks 75 à 250 mm per maand nodig zijn; voor 1000 mg Cl/l minder dan 75 mm. Voor aan sterke kwel onderhevige gebieden als Schouwen-Duiveland zouden de benodigde hoeveelheden doorspoelingswater nog belangrijker groter zijn dan hierboven is aangegeven.

Op de waterbalansen, die ten behoeve van deze bijdrage werden berekend, werd alleen de hoeveelheid doorspoelingswater in rekening gebracht, die uit het deltagebied naar elders zal worden afgevoerd. Voor Zeeland betreft dit gedeelten van Walcheren en Zuid-Beveland. Hiervoor werd de doorspoeling gesteld op gemiddeld 75 mm per maand van het zomerhalfjaar over 20 000 ha.

Bij de uitwerking van de globale balansen voor Neder-Rijn en Lek werd gerekend op een afvoer door het Amsterdam-Rijnkanaal tot een hoeveelheid van 10 m<sup>3</sup>/sec te Zeeburg. Blijkens studies van het Werkcomité Watervoorziening Midden-West-Nederland is deze hoeveelheid voldoende om het brakke water, dat uit het Noordzeekanaal in het Amsterdam-Rijnkanaal trekt, terug te dringen tot beneden de Diemer. Daarmede is tevens de verversing van het Amsterdam-Rijnkanaal, mede ten behoeve van de watervoorziening van Amstelland, verzekerd. Voor de verversing van de stadsgrachten van Utrecht, het gebied van de Eem en de Gelderse Vallei werd eveneens een hoeveelheid van circa 10 m<sup>3</sup>/sec voor verversing in rekening gebracht. Overigens werd niet op doorspoeling ten koste van het water der bovenrivieren gerekend.

## 13.0 WATERVERBRUIK VOOR AGRARISCHE DOELEINDEN

### 13.1 Netto-behoefte aan aanvullingswater

Overeenkomstig de gedachtengang van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (C.O.L.N.) zou men de netto-behoefte aan aanvullingswater voor agrarische doeleinden kunnen definiëren als het verschil tussen het neerslagtekort in een bepaalde periode en de voor het gewas beschikbare hoeveelheid bodemvocht [6].

Het neerslagtekort wordt gevormd door het verschil in de neerslag en de verdamping van de gewassen bij een optimale watervoorziening. De neerslag is een zuiver meteorologisch-klimatologisch gegeven, de potentiële evapotranspiratie van de gewassen echter niet. Deze hangt o.m. samen met de aard van het gewas en de fase van zijn groei. Het is gebruikelijk de evapotranspiratie ( $E_p$ ) te beschouwen in evenredigheid met de verdamping ( $E_0$ ) van open water. De verhouding tussen beide grootheden ( $E_p : E_0$ ) werd o.m. door PENMAN met behulp van lysimeterwaarnemingen bepaald voor grasland [22]. Gevonden werd voor november t/m februari 0,6; voor mei t/m augustus 0,8 en voor de overige maanden van het jaar 0,7. Recente studies van MAKKINK [18] wijzen daarentegen op een verhoudingsfactor van 0,8 voor de wintermaanden en 0,6 à 0,7 voor het zomerhalfjaar. Op grond hiervan werd bij de berekeningen van de Rijkswaterstaat eenvoudigheidshalve uitgegaan van een reductiefactor 0,75, geldend voor alle maanden van het jaar. Voor de grote betekenis die aan een juiste bepaling van deze reductiefactor moet worden gehecht, zij hier gemakshalve verwezen naar [30].

De hoeveelheid water, die door het gewas aan de bodemvoorraad kan worden onttrokken, hangt niet alleen af van de aard van het gewas en de fase van zijn groei, doch tevens van de grondsoort, de geo-hydrologische gesteldheid van de ondergrond, van de mate waarin de grondwaterstand kan worden beheerst, enz. Hierover is veel literatuur, waarvan het samenvattend werk van WESSELING hier zij genoemd [35].

Het is tot heden nog niet mogelijk gebleken om van de bruikbare hoeveelheid bodemvocht voor verschillende grondsoorten en cultures een betrouwbaar geografisch overzicht voor het gehele land samen te stellen. Tal van studies en waarnemingen zullen hiervoor nog nodig zijn [34]. Wel werden door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding in samenwerking met de Cultuurtechnische Dienst voor alle agrarische gebieden in Nederland op de praktijk gebaseerde globale schattingen gedaan betreffende de kans, dat een bepaalde behoefte aan aanvullingswater zal optreden, waarbij een oogstdepressie van 10% werd toegelaten. Door deze schattingen te koppelen aan het neerslagtekort, kan men langs een omweg toch een indruk verkrijgen van het verbruik van de bodemvochtvoorraad. Opgemerkt wordt, dat de aldus verkregen uitkomsten slechts een schijnbare waarde voor dit verbruik geven. Allerlei invloeden, die zowel de berekening van het neerslagtekort, het bodemgebruik als de bodem zelf betreffen, spelen een rol. Het schijnbare verbruik van de vochtvoorraad kan daarom slechts opgevat worden als een rekengrootheid, waarin het totaal van vele afwijkende factoren is verwerkt [8].

Aangezien het volgens [8] binnen aannemelijke grenzen mogelijk bleek om de gevonden rekengrootheid te koppelen aan de grondsoort, kan met behulp van de vereenvoudigde bodemkaart op bijlage IV.4-4.0.3 enig inzicht in haar geografische verdeling worden verkregen. Daarbij dient men dan de globale indeling van het schijnbare verbruik van de vochtvoorraad volgens tabel 13.1.1 aan te houden. Verondersteld wordt, dat dit verbruik geleidelijk over het groeiseizoen van mei t/m augustus is verdeeld.

Tabel 13.1.1

Globaal overzicht van het schijnbare verbruik van de bodemvochtvoorraad per groeiseizoen, verdeeld naar grondsoort

Grondsoort	Schijnbaar verbruik bodemvochtvoorraad in mm
Zeeklei en veen . . . . .	75 à 125, gemiddeld 100
Rivierklei . . . . .	25 à 75, gemiddeld 50
Zand . . . . .	0 à 25, gemiddeld 10

Vergelijkt men de uitkomsten in tabel 13.1.1 met gegevens, die op andere wijze werden afgeleid, dan blijken zij daarmee in het algemeen zeer wel overeen te stemmen. Zo kan uit de waterbalansen van Rijnland (1938 t/m 1956) worden afgeleid, dat, in aanvulling op het ververste kwelwater c.a. van 13 mm per maand, een verbruik van de watervoorraad in de bodem plaats vindt van 45 mm per groeiseizoen. Stelt men de duur van het groeiseizoen op 4 maanden en houdt men rekening met de kwel, dan vindt men voor het schijnbare verbruik een waarde van  $4.13 + 45 = 97$  mm. Dit valt binnen de grenzen, die in tabel 13.1.1 voor zeeklei- en veengebieden zijn opgegeven. Op overeenkomstige

wijze valt uit een artikel van STOLP en MOHRMANN [28] af te leiden, dat het schijnbare verbruik van de vochtvoorraad in de Haarlemmermeerpolder, waarvan de grondsoort en de gesteldheid tot dezelfde categorie behoren,  $4,19 + 31 = 107$  mm bedraagt.

De werkelijk voor de gewassen beschikbare vochtvoorraad in de bodem is in de meeste gevallen veel groter dan in de praktijk gemiddeld blijkt te worden verbruikt. Zo geeft de Commissie Waterbeheersing Noord-Brabant in haar eerste rapport [7] voor zeekelegebieden een bodemvoorraad aan van 100 mm voor ondiep wortelende gewassen en van 200 mm voor diep wortelende vegetatie. De verdeling van de gronden in grasland en akkerland in aanmerking nemend, komt dit neer op een vochtvoorraad van 135 mm, waaraan de bijdrage van grondwaterstromingen dan nog moet worden toegevoegd. Een en ander stemt overeen met de mededelingen van STOLP en MOHRMANN in [28], waarbij zij opmerken, dat gemiddeld over het groeiseizoen slechts 20 à 25% van de werkelijke vochtvoorraad in de bodem wordt verbruikt. Een dergelijk percentage geldt ook voor zandgronden.

De resterende voorraad kan worden beschouwd als een buffer; deze voorziet in piekbehoeften, welke in korte perioden van bijv. enige dagen kunnen ontstaan. Deze buffervoorraad, die telkenmale na afloop van een droogteperiode weer wordt aangevuld, voorkomt dat men de leidingen voor het aanvoeren van oppervlaktewater naar het gewas moet berekenen op een capaciteit, die ver uitgaat boven bijv. de gemiddelde aanvoer in een droge maand of langere periode. Zij rechtvaardigt tevens, dat bij de opstelling van waterbalansen voor de grote rivieren en zeearmen van maandcijfers werd uitgegaan.

Het bovenstaande globaal samenvattend, werd de netto-behoefte aan aanvullingswater voor de landbouw per maand van het groeiseizoen bepaald door het maandelijks neerslagtekort voor elk der in 4.0 genoemde verzorgingsgebieden te verminderen met een kwart van het uit de tabellen 4.0.1 en 13.1.1 af te leiden schijnbare verbruik van de bodemvochtvoorraad. Met betrekking tot neerslagtekorten, die een enkele maal in het winterhalfjaar kunnen optreden, werd geen wateraanvulling uit oppervlaktewater in rekening gebracht.

Het neerslagtekort werd gevonden door de maandcijfers voor de neerslag, ontleend aan de gegevens van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (K.N.M.I.) te De Bilt [15] per verzorgingsgebied en per maand te middelen en te verminderen met de maandcijfers voor de potentiële evapotranspiratie. De laatstgenoemde waarden werden ontleend aan de resultaten van de door het K.N.M.I. [16] uitgevoerde berekeningen voor de verdamping van open water voor de stations De Bilt, Naaldwijk, Gemert, Oudenbos en Vlissingen, waarbij als verhouding tussen de potentiële evapotranspiratie en de verdamping van open water een factor 0,75 voor alle maanden van het jaar werd aangehouden.

Een overzicht van de resultaten vindt men in figuur 13.3.1.

### 13.2 Vergelijking tussen netto-behoefte en werkelijke behoefte voor grote verzorgingsgebieden

In het voorgaande werd nagegaan in welke mate de behoefte aan aanvullingswater afhankelijk is van het neerslagtekort en het verbruik en gebruik van de watervoorraad in de grond. Daarbij werd de netto-behoefte aan aanvullingswater gedefinieerd als het verschil tussen het gemiddelde neerslagtekort in een bepaalde periode en het in deze zelfde periode toe te laten *verbruik* uit de beschikbare bodemvochtvoorraad, terwijl de lengte van die periode samenhangt met het *gebruik* van de vochtvoorraad als buffer bij het opnemen van piekbehoeften.

De werkelijke behoefte aan aanvullingswater kan zowel kleiner als groter zijn dan de volgens bovenstaande definitie afgeleide nettobehoeft. Bij de beschouwing van de factoren, die hierop betrekking hebben, is het noodzakelijk acht te slaan op het doel, waarvoor de berekening der waterbehoefte wordt opgezet. Het maakt namelijk een groot verschil uit of men bijvoorbeeld een bepaald gebied van geringe omvang in het oog heeft of dat men – als uiterste aan de andere zijde – een balans voor het gebruik van oppervlaktewater wil samenstellen voor de grote verzorgingsgebieden van de IJssel en het IJsselmeer, van de Neder-Rijn en de Waal of de Maas, van de benedenrivieren en zeearmen of van geheel Nederland. Het eerste dient voor ieder geval afzonderlijk te worden gezien, waarbij ook de geo-hydrologische ligging van het gebied en andere plaatselijke omstandigheden een belangrijke rol kunnen spelen. In dit overzicht wordt hierop niet nader ingegaan. Wel zal de vereiste hoeveelheid aanvullingswater worden gezien als onderdeel van de meer algemene balansen voor het gebruik van het water der grote rivieren.

De factoren waardoor de werkelijke behoefte aan aanvullingswater kleiner kan zijn dan de berekende netto-behoeften zijn de volgende.

*a. De gewassen behoeven niet steeds een optimale watervoorziening*

De volledige aanvulling van het neerslagtekort, waarop de bepaling van de netto-behoefte aan aanvullingswater werd gebaseerd, dekt ook het tekort over korte, zeer droge perioden, die willekeurig in het groeiseizoen kunnen zijn gelegen. Voor de groei van de gewassen zal aanvulling van dit tekort zeker niet in alle gevallen nodig zijn.

*b. De gewassen vergen niet alle tegelijk een optimale watervoorziening*

Bij de bepaling van de netto-behoefte aan aanvullingswater werd geen rekening gehouden met het bodemgebruik. Niet alle gewassen staan gedurende het volledige zomerseizoen op het veld. Sommige, zoals bijvoorbeeld rogge, verlaten het land zelfs zeer vroeg. Naar ruwe schatting zou in dit verband voor gebieden met bouwland of gemengd bedrijf een reductie van 30, resp. 15% kunnen worden toegepast. Voor zuivere graslandgebieden zou een dergelijke reductie geen zin hebben. Door het ontbreken van voldoende gegevens is het uiterst moeilijk om een nadere differentiatie te geven. Bezien over grote oppervlakten zou men op grond van de bovenstaande schattingen echter een reductie van 10 à 15% kunnen overwegen.

Naast de bovengenoemde factoren, waardoor de vereiste aanvoer voor een agrarisch gebied kleiner kan zijn dan de aangegeven waarden, zijn er ook omstandigheden aan te wijzen waardoor deze aanvoer groter is dan de netto-behoefte. Genoemd kunnen worden de volgende factoren.

*c. Lek en verdamping uit aanvoerleidingen*

De lek uit aanvoerleidingen en het wegzijgen van water naar de ondergrond heeft tot gevolg, dat naar de hooggelegen landbouwgronden meer water moet worden aangevoerd dan aldaar aankomt of wordt verbruikt. Voor de algemene waterbalans betekent deze ondergrondse afstroming geen volledig verlies. Het water komt gedeeltelijk in lager gelegen gebieden ter beschikking, zodat daar een overeenkomstige hoeveelheid water minder hoeft te worden aangevoerd. Voor het overige deel vloeit het water terug naar de grote rivieren, waarbij uiteraard enige vertraging optreedt. Tijdelijk, namelijk gedurende perioden van toenemende waterbehoefte, kan hierdoor enig verlies ontstaan. Gedurende perioden van afnemende waterbehoefte verkrijgt men daarentegen enig overschot. Geen van beide mogelijkheden is voor de algemene waterbalans van veel betekenis.

De verdamping van water in de aanvoerleidingen is groter dan die van de grond en de gewassen. In het algemeen zal men bij de oppervlakte van de grond, die van water moet worden voorzien, ook de oppervlakte van de aanvoerleidingen meetellen. Als gevolg van de meerdere verdamping van het open water wordt daardoor een iets te kleine hoeveelheid water voor de gewassen berekend. In tijden van grote waterbehoefte bedraagt het verschil echter minder dan 1% en kan dus verwaarloosd worden.

*d. Afvoer van tijdelijk overtollig regenwater*

Door de wisselvalligheid van de neerslag in hoeveelheid en duur zal men soms genoodzaakt zijn plotseling overtollig geworden water af te laten. Deze hoeveelheid komt dus niet ten goede aan de vermindering van het neerslagtekort, terwijl dit bij de berekening van de netto-behoefte met behulp van de maandcijfers wél het geval is. Als gevolg hiervan zal het werkelijke neerslagtekort groter zijn dan het berekende. Om dit verschil te compenseren, zullen dus tijdelijk grotere hoeveelheden moeten worden ingelaten. Op de waterbalansen voor de grote rivieren en de afgesloten zeearmen werd met deze extra-onttrekking geen rekening gehouden, omdat anderzijds ook de extra-aanvoer van water naar de rivieren en bekkens in maanden met neerslagtekort buiten beschouwing bleef.

*e. Ondoelmatig gebruik van de beschikbare watervoorraad in de grond*

Een ondoelmatig gebruik van de als buffer werkende watervoorraad in de grond kan een belangrijke, zij het tijdelijke invloed hebben op de aan te voeren hoeveelheden water. Een voorbeeld hiervan is, dat de landbouwer met het toedienen van water veelal zal wachten tot de verdroging zover is voortgeschreden, dat waterverstrekking onvermijdelijk wordt. In het bijzonder zal hij niet geneigd zijn reeds in de maand april, die in feite nog buiten het eigenlijke groeiseizoen ligt, water aan te voeren om de vochtvoorraad in de bodem op veldcapaciteit te houden. In droogtegevoelige zandgronden, die slechts een geringe vochtvoorraad voor de gewassen beschikbaar hebben, zal deze voorraad daardoor reeds

in april uitgeput kunnen zijn. Dit houdt in, dat de grond in de daaropvolgende maanden van het groei-seizoen niet als buffer kan werken om piekbelastingen op te vangen, tenzij door extra-aanvoer opnieuw een vochtreserve wordt geschapen.

Door goede voorlichting en een juiste weersvoorspelling, zowel op korte als op wat langere termijn, kan een ondoelmatig gebruik van de watervoorraad in de grond worden vermeden. De wateraanvulling voor de landbouw werd er in deze bijdrage dan ook op berekend, dat de zandgronden aan het begin van het groeiseizoen op veldcapaciteit zijn. Hiertoe zal in april meestal reeds enige wateraanvulling moeten plaatsvinden.

*f. Continue waterverstrekking is niet overal te realiseren*

De netto-behoefte aan aanvullingswater werd uitgedrukt in millimeters per etmaal. Als zodanig reeds vormt zij een gemiddelde waarde, die bovendien nog gedurende lange tijdvakken in het groei-seizoen moet worden aangehouden. Indien de aanvoer niet doorlopend plaatsvindt, zal dit tot gevolg hebben, dat de capaciteit van de aanvoermiddelen belangrijk groter moet zijn dan uit een continu gebruik zou volgen.

Een continue waterverstrekking is in vele gevallen niet te verwachten. Voor bevoeiingsgebieden is zij onbekend. Bij berekening kan een veelvuldige watertoediening wegens de daaraan verbonden hoge arbeidskosten veelal moeilijk worden gerealiseerd. Alleen bij redelijk vochthoudende gronden doen zich mogelijkheden voor.

Beschouwt men de watervoorziening van uitgestrekte verzorgingsgebieden, dan is dit wederom aanleiding om een belangrijke nivellering van discontinuïteiten te verwachten. Bovendien vindt de spreiding niet alleen plaats over de oppervlakte, doch ook over de tijd. Wat betreft de wateronttrekking aan de rivieren dient er namelijk op te worden gewezen, dat de looptijd van het oppervlaktewater van Lobith naar het gebied van de benedenrivieren en naar het IJsselmeer ongeveer twee etmalen bedraagt. Ook het Zeeuwse Meer en het Haringvlietbekken hebben een bufferwerking.

Als samenvatting van het bovenstaande kan worden gesteld, dat er factoren zijn aan te wijzen, waardoor de werkelijke aanvoer van aanvullingswater zowel groter als kleiner kan zijn dan de netto-behoefte. Sommige van die factoren zijn van permanente betekenis, andere doen zich incidenteel voor.

Beschouwt men de behoefte als gemiddelde over een uitgestrekt gebied, dan wordt de invloed van de verschillende, elkaar soms geheel, soms gedeeltelijk compenserende factoren sterk genivelleerd, terwijl enkele van die factoren hun betekenis nagenoeg verliezen.

Als voorlopige benadering lijkt de conclusie gerechtvaardigd om de werkelijke behoefte aan aanvullingswater, gemiddeld over een groot verzorgingsgebied, gelijk te stellen aan de continue waarde van de berekende netto-behoefte.

De verschillende bovengenoemde factoren behoeven ongetwijfeld nadere studie, speciaal waar het de watervoorziening van weinig omvangrijke gebieden betreft en waar het gaat om de dimensionering van wateraanvoer- en waterdoorvoerwerken.

### **13.3 Wateraanvulling bij algehele voorziening in de behoefte**

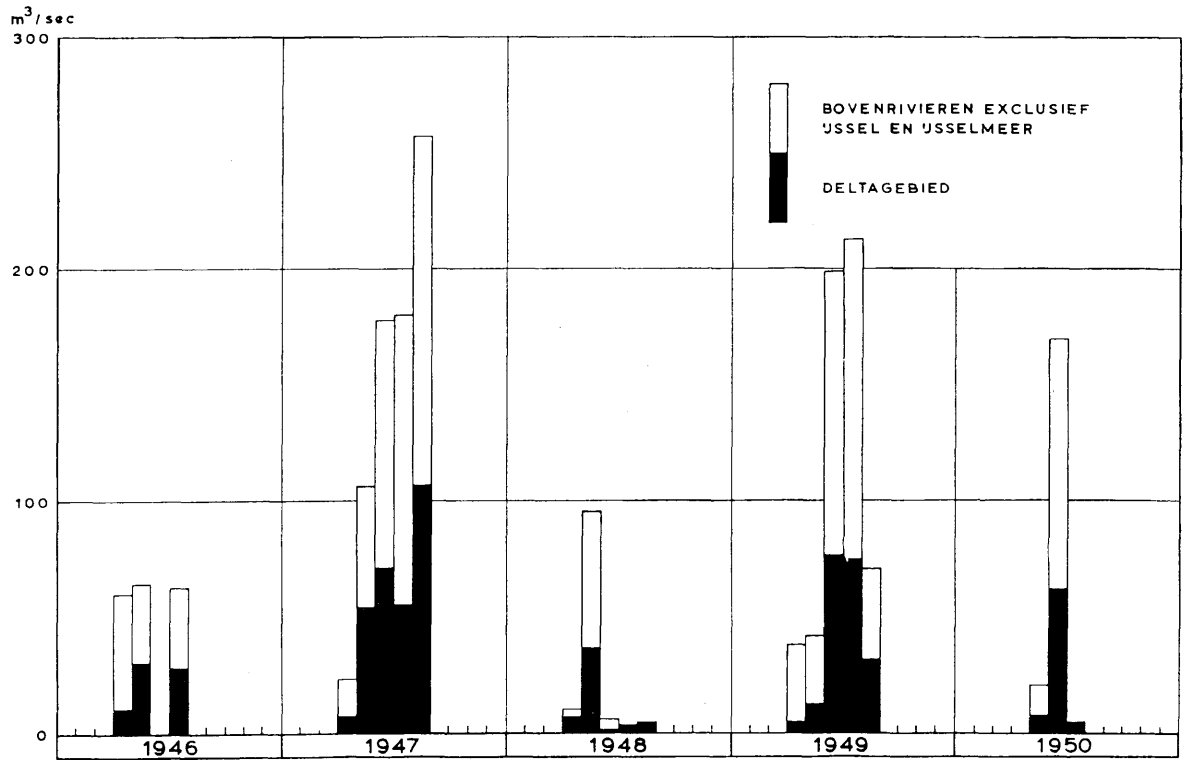
In het voorgaande werd de behoefte aan aanvullingswater voor de landbouw in beschouwing genomen, waarbij in het midden werd gelaten in hoeverre aan deze behoefte zal worden voldaan. Overwegingen van o.m. financiële en economische aard kunnen in dit opzicht belemmeringen opleveren.

Vele van de water behoevende landbouwgronden zijn er niet op ingericht om water uit de grote rivieren of afgesloten zearmen te ontvangen. Geschikte inlaat-, doorvoer- en opvoerwerken ontbreken. In het bijzonder geldt dit met betrekking tot de hoge gronden in Noord-Brabant. Ook zijn werken nodig om het water over de percelen te verdelen, waarbij de inrichting der percelen er mede van zal afhangen of het water door infiltratie dan wel door beregening of door bevoeiing bij de plant wordt gebracht. Ruil- en of herverkavelingen zullen in vele gevallen nodig zijn.

Omtrent de kosten, die met de wateraanvoer gemoeid kunnen zijn, geeft [26] enig inzicht. Met betrekking tot de rendabiliteit van de watervoorziening in de landbouw wordt eveneens hiernaar verwezen.

Hoewel de bovengenoemde cultuurtechnische werken vermoedelijk geen gelijke tred zullen houden met de uitvoering der deltawerken, mag toch wel worden verondersteld, dat men op den duur ten volle in de waterbehoefte zal voorzien. Ten einde na te gaan in hoeverre de afsluiting der zearmen dit in

het zuiden en westen des lands mogelijk zal maken, werd bij het uitwerken van de waterbalansen voor de toekomstige situatie in eerste instantie aangenomen, dat de wateraanvulling voor de in tabel 4.0.1 vermelde cultuurgronden volledig ten laste van het oppervater zal komen. Van deze wateraanvulling, berekend volgens de in 13.1 en 13.2 gestelde normen, geeft figuur 13.3.1 een overzicht, dat gebaseerd is op de meteorologische omstandigheden betreffende neerslag en verdamping voor de jaren 1946 t/m 1950.



Figuur 13.3.1. Overzicht van de wateraanvulling bij algehele voorziening in de behoefte voor agrarische doeleinden in zuidelijk en westelijk Nederland voor een periode als van 1946 t/m 1950; wateraanvulling in  $\text{m}^3/\text{sec}$

Het totale waterverbruik voor de landbouw in de verzorgingsgebieden van Neder-Rijn, Lek, Waal en Maas, alsmede het verbruik in het deltagebied, vindt men nog eens afzonderlijk opgenomen in de hierna volgende tabel 13.3.1, welke verder voor zichzelf moge spreken. Slechts zij opgemerkt, dat de berekende waterbehoefte voor augustus 1947 wat hoog lijkt, aangezien tal van gewassen in deze laatste fase van het groeiseizoen het veld reeds zullen hebben verlaten.

Tabel 13.3.1

Overzicht van de wateraanvulling bij algehele voorziening in de behoefte voor agrarische doeleinden in zuidelijk en westelijk Nederland voor een periode als van 1946 t/m 1950 en voor een gemiddeld jaar

Maand	Wateraanvulling in $\text{m}^3/\text{sec}$					Gemiddeld jaar
	1946	1947	1948	1949	1950	
April . . . . .	61	24	10	38	—	23
Mei . . . . .	65	106	96	42	21	80
Juni . . . . .	—	178	6	199	170	85
Juli . . . . .	64	180	3	213	5	33
Augustus . . . . .	—	257	4	71	—	1
Gemiddeld . . . . .	38	149	24	113	39	44

#### 14.0 WATERVERBRUIK VOOR HUISHOUDELIJKE, ZAKELIJKE EN INDUSTRIËLE DOEL-EINDEN

De watervoorziening voor de bevolking en de industrie in Nederland is reeds sinds tal van jaren het onderwerp van intensief onderzoek. Voor het westelijk gedeelte van ons land hebben de studies onder meer vorm gekregen in het rapport van de Commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands [3], hetwelk in 1940 werd uitgebracht. In dat zelfde jaar verscheen ook een gedetailleerd rapport betreffende de drinkwatervoorziening van Amsterdam, samengesteld door BIEMOND [2]. Beide rapporten vormden een grondslag voor de waterhuishoudingspolitiek van de overheid.

Sinds de Tweede Wereldoorlog zijn de grondslagen van onze nationale welvaart en de daarmee samenhangende toekomstverwachtingen zodanig veranderd, dat rekening moet worden gehouden met een sterkere bevolkingstoename, een groter hoofdelijk waterverbruik, de stichting van veel waterverbruikende industriële bedrijven, de behoefte aan kwaliteitswater voor grote industrieën en middelgrote toeleveringsbedrijven, verspreid over het gehele land [17]. Daarbij komt nog, dat de waterstaatkundige toestand in het westen des lands door de deltawerken en de aanleg van nieuwe havens sterk wordt gewijzigd. Met het oog hierop werd in 1958 door de Minister van Sociale Zaken en Volksgezondheid opdracht verstrekt aan de Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening om het rapport van de Commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands te herzien.

De meest recente gegevens, die in afwachting van het onderzoek van de Centrale Commissie beschikbaar zijn, vindt men in een in 1956 verschenen publikatie van BIEMOND [1].

BIEMOND verdeelt Nederland in twee gebieden, het westen des lands met een geschat toekomstig aantal inwoners van 6 miljoen, en het overige deel van het land met 7 miljoen inwoners.

Het gebied van de benedenrivieren en zeearmen, waaraan het westen des lands zijn oppervlaktewater voor het overgrote deel zal onttrekken, valt niet geheel samen met de geografische begrenzing, die BIEMOND naar analogie van het rapport van de Commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands aan dit westen heeft gegeven. Enerzijds zal bijv. het gebied van Noord-Holland benoorden het Noordzeekanaal niet vanuit het deltagebied van water worden voorzien, terwijl anderzijds Goeree-Overflakkee, de Zeeuwse eilanden en westelijk Noord-Brabant in bovenbedoeld rapport buiten de begrenzing van het westen des lands vallen. Aangezien beide invloeden elkaar voor een deel zullen compenseren en in schattingen voor de verre toekomst in het algemeen grote onzekerheden schuilen, zou men dezelfde beschouwingen, die BIEMOND geeft voor het westen des lands, bij eerste benadering ook op de waterhuishouding van het deltagebied van toepassing kunnen brengen. Men komt dan tot een indeling als die in tabel 14.0.1.

Tabel 14.0.1

Overzicht van het waterverbruik in het westen des lands voor huishoudelijke, zakelijke en industriële doeleinden, in miljoenen m<sup>3</sup> per jaar, geschat voor het jaar 2000

Aard van het verbruik	Waterverbruik in miljoenen m <sup>3</sup> per jaar		
	Openbare voorziening	Eigen voorziening	Totaal
Huishoudelijk . . . . .	325	—	325
Zakelijk . . . . .	130	—	130
Industrieel . . . . .	195	175	370
Totaal . . . . .	650	175	825
waarvan:			
Grondwater . . . . .	100	40	140
Oppervlaktewater . . . . .	550	135	685
Totaal . . . . .	650	175	825

Met betrekking tot de in de tabel gegeven verbruikscijfers zij er op gewezen, dat hier eigenlijk geen sprake is van *verbruik*, doch hoofdzakelijk van *gebruik*. In Nederland wordt er echter de voorkeur aan gegeven desondanks van *verbruik* te spreken, en wel omdat het gebruikte water, dat via de riolen of



anderszins naar de oppervlaktewateren terugvloeit, zijn essentiële kwaliteiten heeft verloren. Anders beschouwt men dit, wanneer het water wordt gebruikt als koelwater. Daarbij is het namelijk mogelijk om dit water door regenerering meer dan éénmaal te gebruiken, in de bodem terug te persen en weer winbaar te maken of met een toelaatbare temperatuurverhoging op de rivier of het kanaal terug te voeren. Dit watergebruik is niet in de tabel opgenomen.

Bij de opstelling van waterbalansen voor de grote rivieren en het Zeeuwse Meer ligt het onderscheid tussen *gebruik* en *verbruik* essentieel anders dan in het bovenstaande werd gesteld. Hier is het van belang of het water weer terugvloeit naar de rivier of het bekken waaraan het werd ontleend. Dit blijkt meestal het geval te zijn, zodat in deze zin niet op enig waterverbruik van betekenis behoeft te worden gerekend. Een uitzondering vormt het gebied ten noorden van de Rotterdamse Waterweg, dat, afgezien van de steden in de onmiddellijke nabijheid van deze rivier, zijn afvalwater in hoofdzaak buiten het betrokken verzorgingsgebied loost. Dit verbruik betreft voornamelijk de wateronttrekking voor 's-Gravenhage bij Bergambacht en die voor Amsterdam en het Provinciaal Waterleidingbedrijf van Noord-Holland (P.W.N.) bij Jutphaas. Voor deze onttrekkingen werd op grond van de maximum-capaciteit der leidingen in de waterbalans voor Neder-Rijn en Lek in totaal ongeveer  $5 \text{ m}^3$  per seconde in rekening gebracht. Voor het Zeeuwse Meer werd eveneens op een verbruik van omstreeks  $5 \text{ m}^3/\text{sec}$  gerekend.

Het waterverbruik voor huishoudelijke, zakelijke en industriële doeleinden is in vergelijking met het waterverbruik voor de landbouw uiterst gering. Niettemin zal de watervoorziening voor de bevolking en de industrie een zeer belangrijk onderdeel uitmaken van elk waterstaatkundig plan, dat men voor de waterhuishouding in Nederland opstelt. De voornaamste oorzaak hiervan is, dat de kwaliteit van het water aan hoge eisen dient te voldoen en dat men, als gevolg van het toenemende verbruik en de beperkte mogelijkheden tot onttrekking van grondwater, steeds meer op oppervlaktewater zal zijn aangewezen.

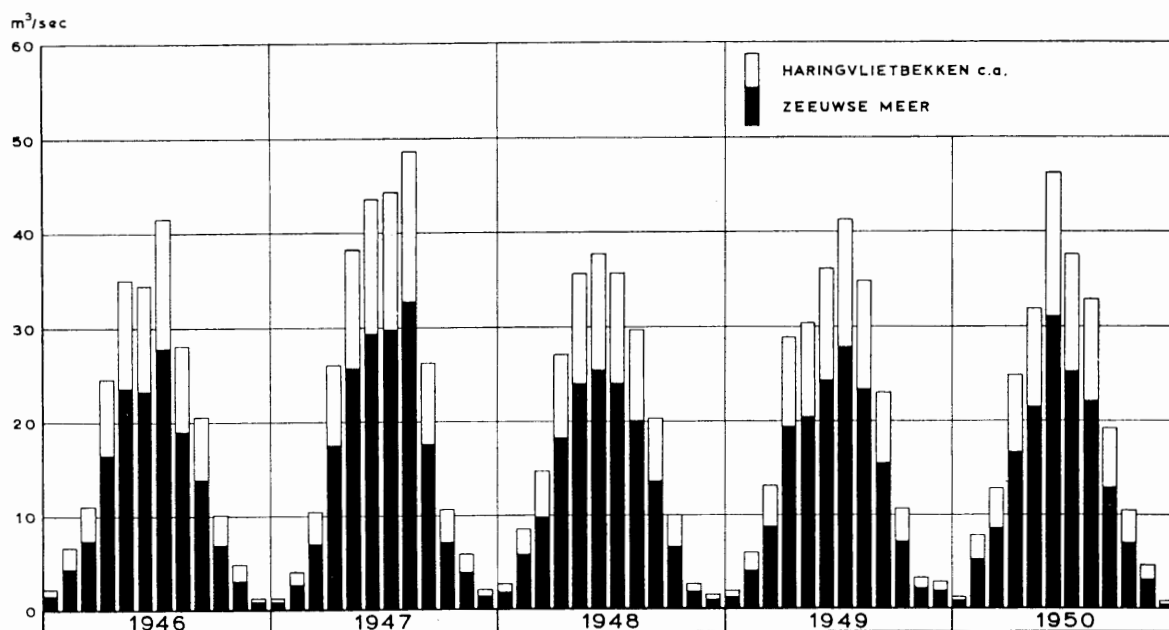
De zorg voor een goede kwaliteit van het oppervlaktewater vereist niet alleen tal van maatregelen en voorzieningen met betrekking tot de lozing van afvalwater [17], doch tevens, zoals reeds in 9.0 tot en met 12.0 ter sprake kwam, grote hoeveelheden rivierwater om het zout in de kustgebieden te bestrijden. Het zijn voornamelijk deze hoeveelheden en niet het eigenlijke kwantitatieve verbruik, die bepalend zijn voor de opzet van plannen voor de waterhuishouding in het deltagebied en de mogelijkheden, die zij voor de bevolking en de industrie zullen bieden. In de kustgebieden is het in dit verband van meer belang te weten *waar* het oppervlaktewater moet worden onttrokken en *welke* kwaliteit dit water ter plaatse dient te hebben, dan te beschikken over nauwkeurige gegevens omtrent de hoeveelheid water, die verbruikt zal worden. De eisen betreffende plaats en kwaliteit zullen grote invloed kunnen uitoefenen op de verdeling van het opperwater over de Rotterdamse Waterweg, het Haringvlietbekken en het Zeeuwse Meer. Aangezien men in dit opzicht aan grenzen is gebonden, zal men anderzijds de plaats van onttrekking, de eisen betreffende de kwaliteit, de vestiging van industrieën, enz. afhankelijk moeten stellen van de mogelijkheden, die het Deltaplan biedt. Het ware aan te bevelen, dat de Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening ook aan deze punten bijzondere aandacht besteedt.

## 15.0 WATERVERBRUIK DOOR VERDAMPING VAN OPEN WATEREN

De verdamping van het open water betreft in hoofdzaak het Haringvlietbekken en de direct daarop aansluitende wateren, met een oppervlakte van ongeveer 25 000 ha, en het Zeeuwse Meer, waarvoor met een oppervlakte werd gerekend van bijna 52 000 ha bij een waterstand van N.A.P.

De maandcijfers voor de verdamping werden ontleend aan de desbetreffende gegevens van het K.N.M.I. voor de waarnemingsstations Naaldwijk, Oudenbos en Vlissingen [16]. Het hieruit berekende waterverlies vindt men voor een periode met meteorologische omstandigheden als van 1946 t/m 1950 weergegeven in figuur 15.0.1. Daarbij werd geen rekening gehouden met de invloed van de warmte-uitwisseling tussen de oppervlakte en dieper gelegen lagen.

In een gemiddeld zomerhalfjaar van april t/m september zal de verdamping op het Zeeuwse Meer circa  $21 \text{ m}^3/\text{sec}$  bedragen. In een zeer droog zomerhalfjaar als van 1947 verdampt er blijkens figuur 15.0.1 gemiddeld circa  $25 \text{ m}^3/\text{sec}$ .



Figuur 15.0.1. Overzicht van het waterverlies door verdamping op Haringvlietbekken en Zeeuwse Meer in een periode als van 1946 t/m 1950; verdamping in m<sup>3</sup>/sec

Het maximum-maandgemiddelde in een gemiddeld jaar valt in juni en bedraagt 26 m<sup>3</sup>/sec. Het maximum over de periode van 1946 t/m 1950 viel in augustus 1947 met een verdamping van bijna 33 m<sup>3</sup>/sec.

In het winterhalfjaar wordt door verdamping gemiddeld nog geen 4 m<sup>3</sup>/sec aan het Zeeuwse Meer onttrokken. De waarden voor het Haringvliet bedragen ongeveer de helft van de bovengenoemde cijfers voor het Zeeuwse Meer.

Wenst men de verdamping uitgedrukt te zien in millimeters in plaats van in m<sup>3</sup>/sec, dan kan worden gesteld, dat 1 m<sup>3</sup>/sec voor het Zeeuwse Meer overeenkomt met circa 5 mm per maand van 30 dagen. Uit de cijfers voor het zeer droge zomerhalfjaar van 1947 volgt dan, dat in die periode een waterschijf van circa 750 mm uit het Zeeuwse Meer zou verdampen. Blijkens 5.0 kan hiertegenover op een aanvoer van polders en hoge gronden en op een aanvoer door neerslag op het bekken worden gerekend van slechts 230 mm. Door meteorologische omstandigheden alléén zou het meerpeil in de bovengenoemde periode dus ongeveer 520 mm dalen. In een gemiddeld jaar bedraagt deze waarde voor de maanden april t/m september omstreeks 220 mm.

## 16.0 VERDELING VAN HET OPPERWATER OVER DE BENEDENRIVIEREN EN HET ZEEUWSE MEER

### 16.1 Mogelijk verdelingsprogramma

De verdeling van het beschikbare oppervlaktewater over de benedenrivieren en de afgesloten zeearmen heeft men grotendeels in de hand, doordat men de afvoer door de uitwateringssluizen in het Haringvliet en de stroomsluizen in de Volkerakdam kan regelen.

Bij het regelen van deze afvoer zal men niet alleen rekening moeten houden met de geografische indeling van de waterbehoefte voor de landbouw en de wenselijkheid tot voorraadvorming, doch vooral ook met de zoutbestrijding, die ter verkrijging van een goede kwaliteit van het water noodzakelijk is. Uiteraard dient men daarbij steeds de waterloopkundige mogelijkheden in het oog te houden.

Onderscheid dient te worden gemaakt tussen de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, die vooral bij een hoog chloridegehalte van de Rijn zeer veel water behoeft (zie 9.4), en de zoutbestrijding in het Haringvlietbekken c.a. en het Zeeuwse Meer, welke, nadat deze bekkens eenmaal zijn verzoet,

naar verhouding belangrijk minder water zal vragen (zie 10.2 en 11.5). Ook ten opzichte van de totale waterbehoefte van de landbouw voor doorspoeling van polder- en boezemwateren (zie 12.0) en wateraanvulling (zie 13.3) is de hoeveelheid zoet water, die benodigd is voor het terugdringen van het zee-water op de Rotterdamse Waterweg, zeer groot.

Gelet op het bovenstaande ligt het voor de hand om bij het uitwerken van waterbalansen voor de verschillende verzorgingsgebieden in de delta uit te gaan van een zodanige verdeling van het beschikbare opperwater, dat in de eerste plaats wordt voldaan aan de waterbehoefte voor agrarische, huishoudelijke, zakelijke en industriële doeleinden, evenals aan de primaire noodzaak om zout lek- en schutwater op het Haringvlietbekken en het Zeeuwse Meer te bestrijden.

Het overige rivierwater, en dat is het grootste deel, kan men gebruiken om de kwaliteit van het water in het deltagebied zo hoog mogelijk op te voeren. Uitgaande van een evenwichtige verdeling van deze kwaliteit en gebaseerd op de verschillende veronderstellingen, waarvan in deze bijdrage is uitgegaan, vallen met betrekking tot de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, de doorspoeling van het Haringvliet en de doorspoeling van het Zeeuwse Meer, afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid opperwater, verschillende fasen te onderscheiden.

#### *Fase I*

Men zal er in eerste aanleg naar streven om het in de Rotterdamse Waterweg binnendringende zee-water op bevredigende wijze te bestrijden, waartoe een chloridegehalte van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering in de rivier nabij de Parkhaven als graadmeter kan dienen. Gedurende de overige fasen van het getij zal het gehalte ter plaatse dan lager zijn, evenals verder stroomopwaarts. Om deze situatie bij kleine tot zeer kleine opperwaterafvoeren zo lang mogelijk te handhaven, zal men zo veel mogelijk water van Waal en Maas langs de Rotterdamse Waterweg tot afvloeiing brengen.

In dergelijke gevallen dient dus, indien maar enigszins mogelijk, geen water via de stroomsluizen in het Volkerak naar het Zeeuwse Meer te worden afgelaten. Het waterverbruik uit dit meer komt dan ten laste van de in het meer gevormde watervoorraad. Ook met betrekking tot het chloridegehalte zal de waterinhoud van het meer als buffer dienst doen. De stijging van dit gehalte door het ontbreken van doorspoeling wordt hierdoor zodanig vertraagd, dat de concentratie normaliter niet boven 300 mg Cl/l zal stijgen.

Langs het Haringvliet zal men een geringe hoeveelheid doorspoelingswater tot afvloeiing brengen. Dit is voldoende om het chloridegehalte in dit bekken in overeenstemming te brengen met dat op de Rotterdamse Waterweg en het Zeeuwse Meer. Het lijkt daarbij aannemelijk om voor het Haringvlietbekken uiteindelijk te streven naar een gehalte van 250 mg Cl/l bij de sluizen.

#### *Fase II*

Zodra aan de bovengestelde voorwaarden is voldaan, kan men, indien meer opperwater beschikbaar is, dit gebruiken voor de peilbeheersing op het Zeeuwse Meer en de doorspoeling van dit meer ter verdrijving van het zoute uitslagwater der polders. Te dien einde kan men via de stroomsluizen in het Volkerak water uit het Haringvlietbekken naar het Zeeuwse Meer afleiden. Daarbij moet men er voor zorgen, dat de kwaliteit van het water op de Rotterdamse Waterweg en het Haringvlietbekken dezelfde blijft als die welke men aan het eind van fase I heeft bereikt.

#### *Fase III*

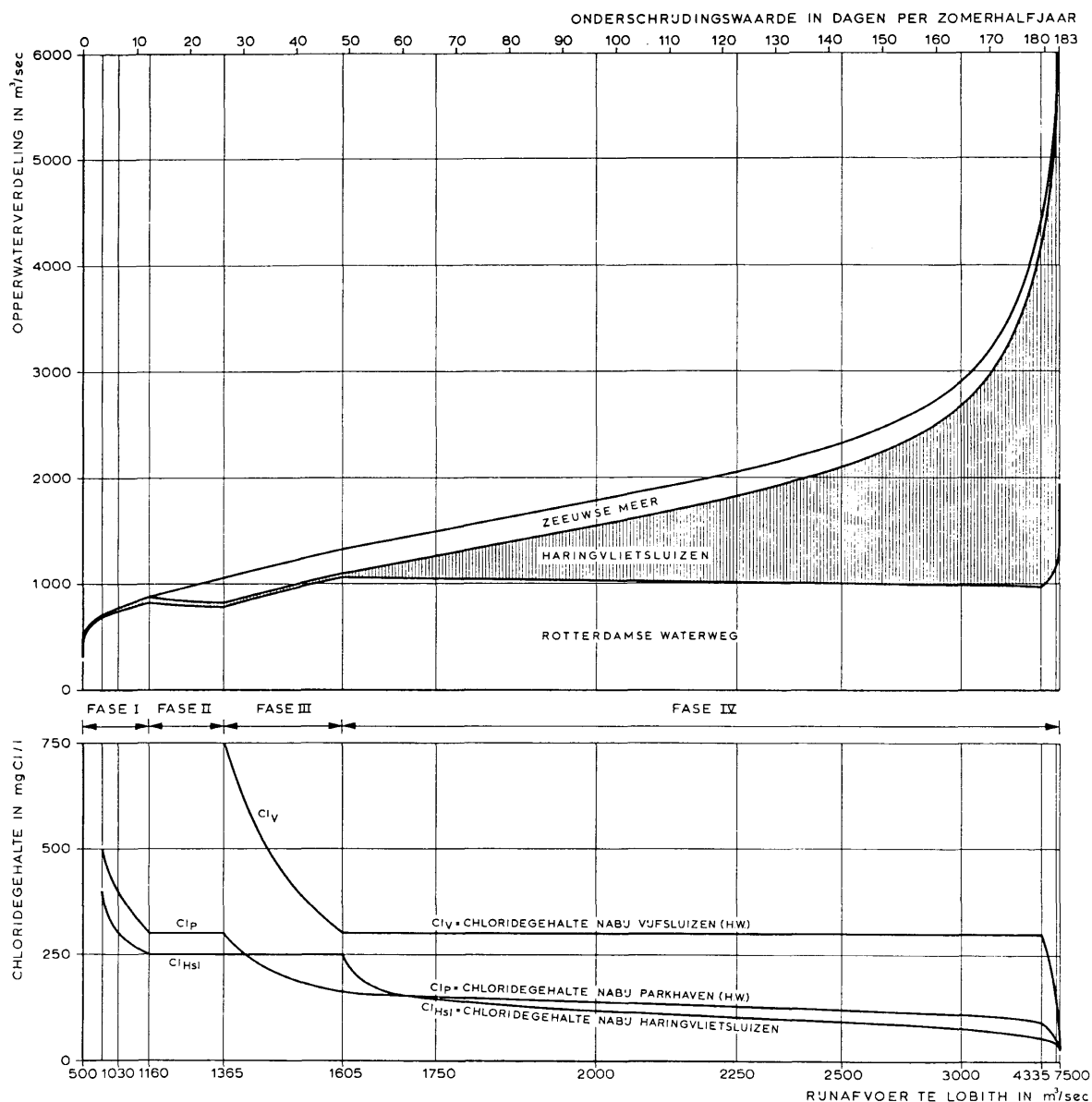
Wanneer men aan het eind van fase II op het Zeeuwse Meer een chloridegehalte van gemiddeld omstreeks 250 mg Cl/l heeft verkregen, zal men eventueel verder nog beschikbaar opperwater kunnen aanwenden om de zoutgrens op de Rotterdamse Waterweg terug te dringen tot bijvoorbeeld Vijfsluizen.

#### *Fase IV*

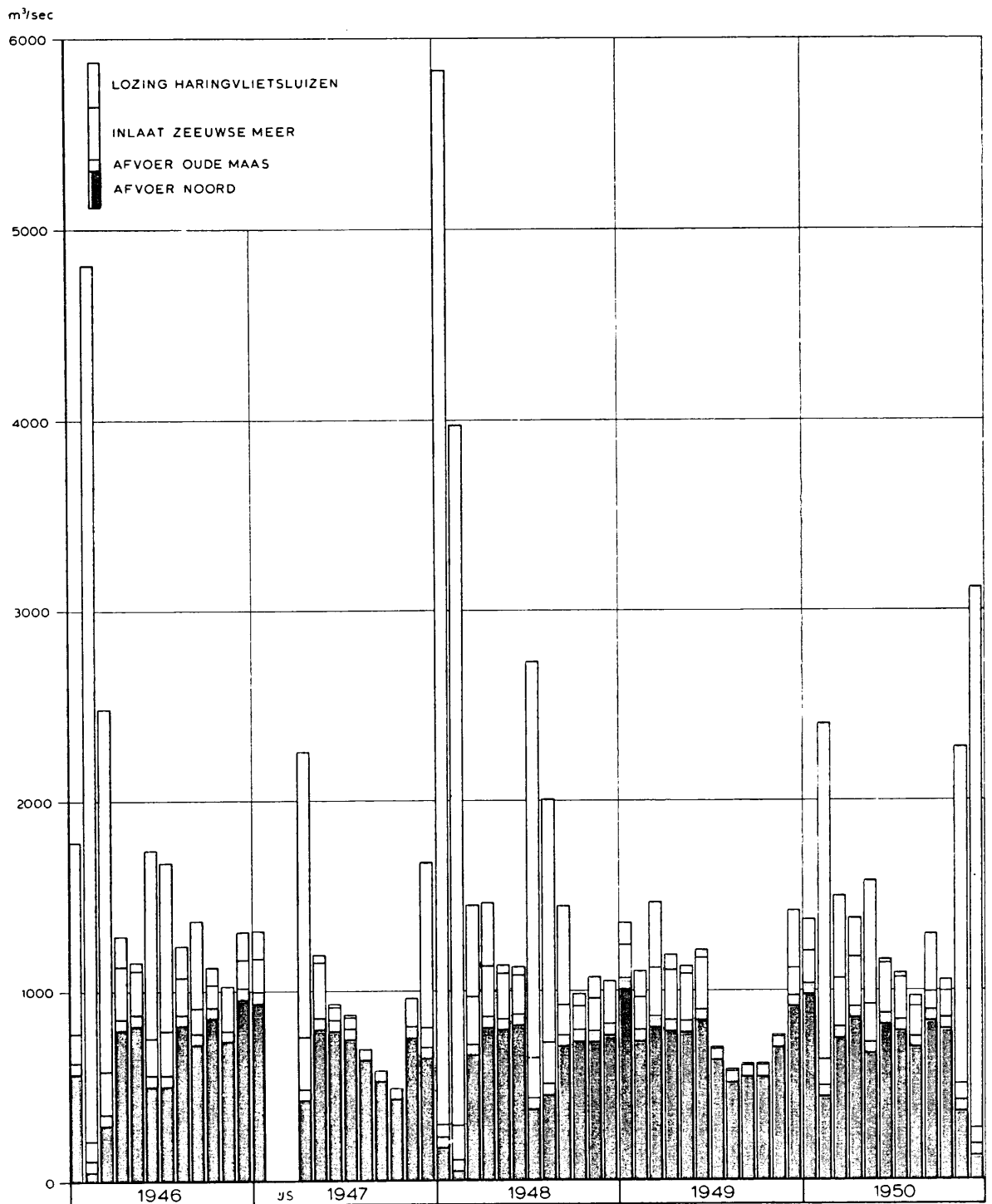
Indien daarna nog opperwater over is, zal men dit als overtollig water door de Haringvlietssluzen kunnen lozen. Daarbij zal men er voor moeten zorg dragen, dat, ook al zou het debiet van de Lek ruimschoots voldoende zijn om het zout op de Rotterdamse Waterweg te bestrijden, de opperwaterafvoer door de Noord en de Oude Maas met het oog op de doorspoeling van deze rivieren niet beneden omstreeks 50 m<sup>3</sup>/sec daalt. Op grond hiervan zal men slechts bij zeer grote opperwaterafvoeren, die gemiddeld ten hoogste enkele dagen per jaar voorkomen, de Haringvlietssluzen bij eb geheel kunnen

openen. Nemen de afvoeren nog verder toe, dan heeft men de oppervlaktverdeling over de benedenrivieren niet meer in de hand. Mede met het oog op de afvoer van drijfsijs zijn de afmetingen van de Haringvlietsluizen met een effectief doorstromingsprofiel van omstreeks  $6000 \text{ m}^3$  beneden N.A.P. echter zodanig ruim gekozen, dat niet dit doorstromingsprofiel de oorzaak is van de bovengenoemde situatie, doch veeleer de afvoercapaciteit van de benedenrivieren zelf.

De geschetste oppervlaktverdeling over de Rotterdamse Waterweg, het Haringvliet en het Zeeuwse Meer is als functie van de Rijnafvoer schematisch weergegeven in figuur 16.1.1. Deze figuur heeft betrekking op de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met afgesloten Oude Maas. Voor de situatie met open Oude Maas is de verdeling in principe dezelfde. Slechts zal men ten behoeve van de zoutbestrijding meer water langs de Rotterdamse Waterweg moeten afvoeren (zie 9.4). De grenzen tussen de verschillende fasen vallen daardoor bij grotere Rijnafvoeren, die vaker worden overschreden. Hierop wordt in 16.2 bij de bespreking der grensbalansen nog nader ingegaan.

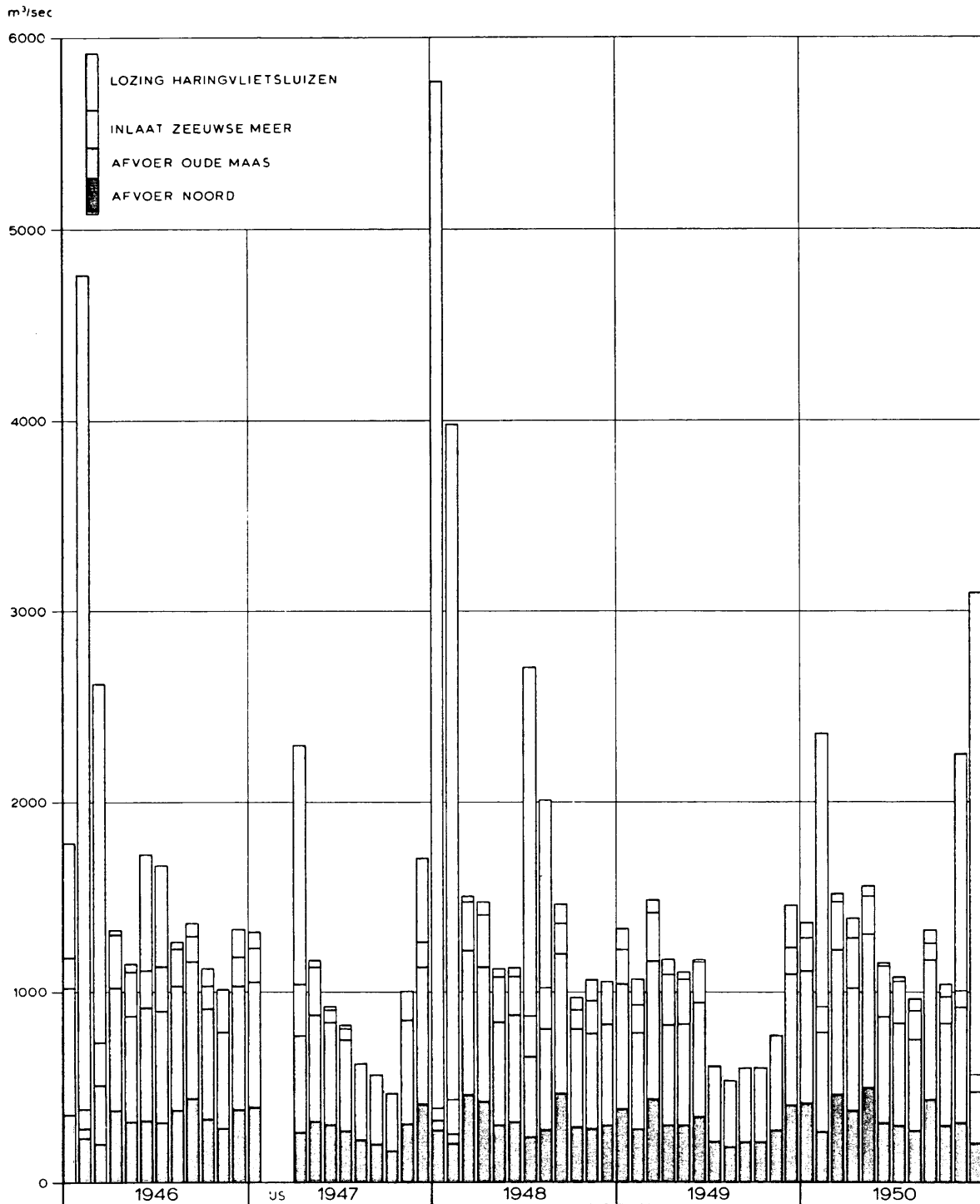


Figuur 16.1.1. Schematisch overzicht van de oppervlaktverdeling over de Rotterdamse Waterweg, het Haringvliet en het Zeeuwse Meer als functie van de Rijnafvoer en zijn frequentie voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met afgesloten Oude Maas (gemiddeld zomerhalfjaar)



Figuur 16.1.2. Overzicht van de oppervlaktewaterverdeling over de benedenrivieren en het Zeeuwse Meer over een periode als van 1946 t/m 1950, geschat voor de toestand na uitvoering van de deltawerken met afgesloten Oude Maas; afvoeren in m³/sec

Bij de oppervlaktewaterverdeling als functie van de Rijnaanvoer volgens figuur 16.1.1 werd de aanvoer van oppervlaktewater uit de Maas impliciet in rekening gebracht volgens een gemiddeld verband met het debiet van de Rijn, terwijl met betrekking tot de zijdelingse aanvoer van water en de onttrekking voor agrarische en andere doeleinden werd uitgegaan van gemiddelde meteorologische omstandigheden. In werkelijkheid zal het verband tussen Rijn en Maas, evenals de zijdelingse aanvoer en onttrekking



Figuur 16.1.3. Overzicht van de oppervlaktewaterverdeling over de benedenrivieren en het Zeeuwse Meer over een periode als van 1946 t/m 1950, geschat voor de toestand na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas; afvoeren in m³/sec

voor elke periode van het jaar, anders zijn en bovendien van jaar tot jaar verschillen. Daarom is in de figuren 16.1.2 en 16.1.3 een overzicht gegeven van de oppervlaktewaterverdeling over de benedenrivieren, zoals deze volgens het hiervoor behandelde mogelijke verdelingsprogramma zou worden voor een periode als van 1946 t/m 1950. Figuur 16.1.2 heeft betrekking op de toestand na uitvoering der deltawerken met afgesloten Oude Maas, figuur 16.1.3 op de situatie, waarbij deze rivier open zou blijven.

Voor de invloed, die de in de figuren 16.1.2 en 16.1.3 aangegeven oppervlakterverdelingen hebben op de chloridegehalten langs de Nieuwe Maas, op die nabij de Haringvlietsluizen en op het Zeeuwse Meer, alsmede op het verbruik van de watervoorraad in dit meer, wordt verwezen naar resp. de figuren 9.4.3, 10.2.2, 11.5.1 en 17.2.1. Voor een vergelijking tussen de toestanden met open en met afgesloten Oude Maas zullen alleen verschillen worden aangetroffen in de chloridegehalten langs de Nieuwe Maas, voor zover van een tekort aan oppervlakter sprake is, en in de chloridegehalten nabij de Haringvlietsluizen, voor zover men met een overschot heeft te doen.

## 16.2 Grensbalansen en frequenties

Het is van belang om na te gaan met welke frequentie de verschillende fasen van het hiervóór behandelde mogelijke verdelingsprogramma zullen voorkomen en om welke oppervlakterafvoeren het dan gaat. Voor de bepaling van deze frequentie bleek die van de Rijn maatgevend te zijn. De variaties in het debiet van deze rivier zijn namelijk veel groter dan de variaties, die kunnen optreden in de zijdelingse aanvoer naar de rivier door lozing van polders enz. en in de zijdelingse afvoer door wateronttrekking, kwel en verdamping. Aangezien de zijdelingse aan- en afvoer niet of slechts bij uitzondering gecorreleerd is met de Rijnafoer of met de waterhoeveelheden, die voor zoutbestrijding nodig zijn, dient men – ten einde een eenvoudige frequentiebeschouwing mogelijk te maken – de beide eerstgenoemde posten te baseren op gemiddelde meteorologische omstandigheden. Hiervoor geldt tabel 16.2.1.

Tabel 16.2.1

Zijdelingse aan- en afvoer naar en uit de bovenrivieren, de benedenrivieren en de afgesloten zeearmen bij gemiddelde meteorologische omstandigheden voor zomer en winter

Zijdelingse aan- en afvoer in m <sup>3</sup> /sec	Zomer (april t/m juli)	Winter (oktober t/m januari)
<i>Waterverbruik drinkwater enz., incl. enige reserve in het Zeeuwse Meer.</i> . . . . .	10	10
<i>Gemiddeld waterverbruik landbouw van:</i>		
verzorgingsgebied Neder-Rijn en Lek. . . . .	8	0
„  Waal. . . . .	3	0
„  Maas . . . . .	26	0
„  Rotterdamse Waterweg c.a. . . . .	7	0
„  Haringvlietbekken c.a. . . . .	2	0
„  Zeeuwse Meer . . . . .	10	0
<i>Gemiddeld waterverbruik voor doorspoeling van polder- en boezemwateren met lozing buiten deltagebied van:</i>		
verzorgingsgebied Lek . . . . .	17	16
„  Rotterdamse Waterweg c.a. . . . .	20	8
„  Zeeuwse Meer . . . . .	5	0
<i>Gemiddelde afwatering van polders en hoge gronden en neerslag op buitenwater van:</i>		
afwateringsgebied Neder-Rijn en Lek incl. ondergrondse afvoer	- 4	3
„  Waal. . . . .	4	25
„  Maas beneden Lith . . . . .	0	72
„  Rotterdamse Waterweg c.a. . . . .	0	21
„  Haringvlietbekken c.a. . . . .	5	24
„  Zeeuwse Meer . . . . .	11	57
<i>Gemiddelde verdamping van:</i>		
Haringvlietbekken c.a. . . . .	11	1
Zeeuwse Meer . . . . .	22	3
<i>Gemiddelde lozing van Zeeuwse Meer, indien voldoende water voor doorspoeling uit het Haringvliet kan worden aangevoerd</i> . . .	200	200

Bij de wateronttrekking voor de landbouw, die in deze tabel voorkomt, werd een extra-aanvulling – nodig om de ondergrondse afstroming van water uit hoge zandgronden in droge perioden van het groeiseizoen te compenseren – niet begrepen, aangezien deze afstroming blijkens 5.0 ook niet bij de zijdelingse aanvoer naar de rivier werd medegeteld. Beide posten heffen elkaar bij benadering op, zodat in feite wel met een compensatie van de ondergrondse afstroming werd rekening gehouden, zij het langs indirecte weg.

Ten slotte dient nog te worden opgemerkt, dat de zijdelingse aan- en afvoeren in tabel 16.2.1 niet werden gemiddeld over het volledige zomerhalfjaar en winterhalfjaar, doch over die maanden van de genoemde tijdvakken, die voor deze perioden kenmerkend zijn.

De grenzen tussen de verschillende fasen van het mogelijke verdelingsprogramma werden nagegaan in een aantal waterbalansen, hier verder „grensbalansen” genoemd, waarvan de belangrijkste gegevens in de tabellen 16.2.3 t/m 16.2.5 zijn opgenomen. De zijdelingse aan- en afvoer werd in deze tabellen niet nogmaals vermeld. Met uitzondering van enige afwijking voor de Maas is zij voor alle grensbalansen dezelfde en gelijk aan de opgave volgens tabel 16.2.1.

De Maasafvoer, die op de grensbalansen voorkomt, werd gekozen op basis van dezelfde overschrijdingswaarde als die van de Rijn, waarbij onderscheid werd gemaakt tussen het zomer- en het winterhalfjaar.

Ten einde de benedenloop van de Maas en de Amer voldoende rein te houden, werd ingevolge 7.3 er op gerekend, dat ten minste 50 m<sup>3</sup>/sec langs deze weg tot afvloeiing moet komen. Bij kleine Maasafvoeren kan hierdoor geen of niet voldoende water aan de rivier worden onttrokken om in de waterbehoefte van het verzorgingsgebied van de Maas te voorzien. Voor de grensbalansen werd verondersteld, dat de landbouwtekorten onder dergelijke omstandigheden geheel of gedeeltelijk zullen worden aangevuld uit grondwaterreservoirs of uit het Zeeuwse Meer en niet uit de Waal of het Haringvlietbekken. Bij de aangehouden gemiddelde meteorologische omstandigheden is dit overigens van weinig betekenis, zodat hierop bij de behandeling der grensbalansen niet nader zal worden teruggekomen.

Ingevolge 7.2 werd bij kleine Rijnafvoeren gerekend op een wateraanvulling uit de Waal via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal naar de Lek tot een afvoer van 25 m<sup>3</sup>/sec voor doorspoeling van de benedenloop van laatstgenoemde rivier. De waterbehoefte van het verzorgingsgebied van Neder-Rijn en Lek werd daarbij volledig verdisconteerd.

De berekening van de chloridegehalten van het opperwater geschiedde op basis van een chlorideafvoer van de Rijn van 225 kg Cl/sec.; zoals reeds is vermeld, is de tegenwoordige chlorideafvoer groter. Overeenkomstig 8.2 werd het chloridegehalte van het Maaswater eenvoudigheidshalve aan dat van de Rijn gelijk gesteld.

Bij de verschillende balansen en tabellen valt het volgende aan te tekenen:

Tabel 16.2.2 geeft een stadium aan, waarbij de doelstellingen, die men in fase I nastreeft, door gebrek aan opperwater van voldoende kwaliteit niet kunnen worden bereikt. De tabel, die dus eigenlijk geen grensbalans voorstelt, beschrijft de omstandigheden, waarbij een kritieke chloridegrens van 400 mg Cl/l nabij de Parkhaven dreigt te worden overschreden. Uit mededelingen die voorkomen in de jaarverslagen van het Hoogheemraadschap Delfland over de jaren 1946, 1947 en 1949, kon worden afgeleid, dat hierbij de waterinlaat bij de Parkhaven zeer onbetrouwbaar begint te worden. Uit tabel 16.2.2 valt voor de toestand na uitvoering der deltawerken af te lezen, dat bij de gekozen uitgangspunten en een dergelijke kritieke situatie geen water zal worden afgevoerd naar het Zeeuwse Meer (afvoer Volkerak = 0), terwijl de afvoer langs het Haringvliet beperkt blijft tot het handhaven van een chloridegehalte van 300 à 400 mg Cl/l bij de sluizen.

De frequentie van de bovengenoemde onbevredigende toestand vindt men in het onderste deel van tabel 16.2.2 aangegeven voor zowel het gemiddeld aantal dagen als het gemiddeld aantal groepen van achtereenvolgende dagen per winter- en zomerhalfjaar.

Hieronder zal, om het aflezen van deze en de nog volgende tabellen te vergemakkelijken, nog een korte aanvullende beschouwing volgen.

In de bestaande situatie zal men in een zomerhalfjaar gemiddeld 73 dagen aantreffen, waarbij het kritieke chloridegehalte bij de Parkhaven zal worden overschreden, waarin de Rijnafvoer kleiner zal zijn dan 1815 m<sup>3</sup>/sec en waarin ook de andere opperwaterafvoeren kleiner zullen zijn dan aangegeven. Beschouwt men het aantal groepen van bijvoorbeeld 30 of meer achtereenvolgende dagen, waarbij de



vorengenoemde omstandigheden zich zullen voordoen, dan valt in tabel 16.2.2 af te lezen, dat dit aantal gemiddeld 0,64 per zomerhalfjaar of 64 per 100 zomerhalfjaren bedraagt.

In het winterhalfjaar zullen bij de bestaande toestand gemiddeld 79 dagen voorkomen, waarin het kritieke chloridegehalte bij de Parkhaven zal worden overschreden, waarin de Rijnafvoer kleiner zal zijn dan 1720 m<sup>3</sup>/sec alsook de andere opperwaterafvoeren kleiner zullen zijn dan aangegeven, terwijl het aantal groepen van 30 of meer achtereenvolgende dagen gemiddeld 0,75 zal bedragen.

Voor zomer- en winterhalfjaar te zamen bedraagt het gemiddeld aantal dagen totaal 152, verdeeld in 1,39 groepen van 30 of meer achtereenvolgende dagen, 2,63 groepen van 14 of meer achtereenvolgende dagen enz. Uiteraard zijn bij de groepen van bijv. 14 of meer achtereenvolgende dagen ook de groepen van 30 of meer dagen meegeteld. Men kan dus ook uitrekenen, dat er 1,24 groepen per jaar zullen voorkomen, die korter duren dan een maand, doch langer dan twee weken.

Na uitvoering van de deltawerken met open Oude Maas loopt de frequentie blijkens tabel 16.2.2 terug tot bijv. 0,54 groepen van 30 of meer achtereenvolgende dagen per jaar. De gemiddelde kans per jaar bedraagt dus 54%. Dit wil zeggen, dat gemiddeld bijna om het jaar een dergelijke groep mag worden verwacht.

Wordt ook de Oude Maas afgesloten, dan loopt de kans blijkens tabel 16.2.2 nog verder terug tot 13% per jaar. De Rijnafvoer, waarbij het kritieke chloridegehalte bij de Parkhaven zal worden bereikt,

Tabel 16.2.2

Opperwaterafvoeren en hun frequenties bij een chloridegehalte op de Nieuwe Maas van 400 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, zonder watervoorziening van het Zeeuwse Meer

Opperwaterafvoeren, chloridegehalten en hun frequenties	Bestaande toestand		Deltaplan Oude Maas open		Deltaplan Oude Maas afgesloten	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter	Zomer	Winter
<i>Afvoeren in m<sup>3</sup>/sec</i>						
<b>Rijn, Lobith</b> . . . . .	<b>1 815</b>	<b>1 720</b>	<b>1 400</b>	<b>1 175</b>	<b>1 030</b>	<b>875</b>
IJssel, Westervoort . . . . .	218	202	300	265	230	194
Lek, Krimpen . . . . .	322	313	54	31	25	31
Waal, Gorinchem . . . . .	1 275	1 233	1 012	885	741	656
Maas, Dongemond . . . . .	136	384	62	210	50	134
Volkerak . . . . .	—	—	0	0	0	0
Haringvliet, sluizen . . . . .	927	1 180	25	65	43	90
Noord . . . . .	256	248	384	386	680	663
Nieuwe Maas . . . . .	578	582	411	430	678	707
Oude Maas . . . . .	222	212	657	667	60	60
Scheur . . . . .	800	794	1 068	1 097	738	767
<i>Chloridegehalten in mg Cl/l</i>						
Rijn, Lobith . . . . .	125	130	160	190	220	250
Haringvliet, sluizen . . . . .	—	—	300	400	300	400
Nieuwe Maas, Parkhaven . . . . .	400	400	400	400	400	400
Nieuwe Maas, Vijfsluizen . . . . .	1 025	1 020	760	730	950	885
<i>Frequenties per zomer- en winterhalfjaar</i>						
Gemiddeld aantal dagen, dat de Rijnafvoer lager is dan aangegeven . . . . .	73	79	29	28	7	5
Idem, gemiddeld aantal groepen van:						
1 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	2,29	2,91	1,28	1,34	0,36	0,32
7 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	1,62	2,04	0,90	0,88	0,24	0,17
14 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	1,20	1,43	0,62	0,56	0,14	0,11
30 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	0,64	0,75	0,30	0,24	0,07	0,06

bedraagt in dat geval nog maar slechts 875 à 1030 m<sup>3</sup>/sec. Het chloridegehalte van dit Rijnwater is bij de aangenomen chloride-afvoer van 225 kg Cl/sec zeer hoog (250 à 220 mg Cl/l).

Ten einde een chloridegehalte van 400 mg Cl/l nabij de Parkhaven niet te doen overschrijden, dient men dus over voldoende opperwater te beschikken om het aandeel in het chloridegehalte vanuit zee terug te dringen tot 150 à 180 mg Cl/l. Wanneer dit opperwater niet in voldoende mate aanwezig is, komt men, zoals reeds in voorgaande paragrafen werd opgemerkt, voor de keuze te staan het chloridegehalte op de Nieuwe Maas hoog te laten oplopen, dan wel het nuttige waterverbruik elders in de delta te verminderen en/of het stuwprogramma van de Rijnkanalisatie ten nadele van de IJssel te wijzigen.

Het is duidelijk, dat deze toestand, waarin distributie van het opperwater noodzakelijk zal zijn, nadelig is voor de daarbij betrokken belangen, die tegen elkaar zullen moeten worden afgewogen.

Tabel 16.2.3 geeft een overzicht van de situatie aan het einde van fase I en het begin van fase II. Het chloridegehalte nabij de Parkhaven is verminderd tot 300 mg Cl/l bij hoogwaterkentering en dat bij de Haringvlietssluisen tot 250 mg Cl/l. Volgens veronderstellingen van het hier behandelde verdelingsprogramma is echter nog steeds onvoldoende opperwater beschikbaar om het Zeeuwse Meer te voeden. Hiermede begint men in fase II. De frequenties van de grensbalans I-II in tabel 16.2.3 geven dus aan, gedurende welke tijd de waterbehoefte van dat verzorgingsgebied, de bestrijding van zout lek- en schutwater, alsmede de verdamping van het Zeeuwse Meer geheel en al ten laste moeten worden ge-

Tabel 16.2.3

Grensbalans I-II. Opperwaterafvoeren en hun frequenties bij een chloridegehalte op de Nieuwe Maas van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, zonder watervoorziening van het Zeeuwse Meer

Opperwaterafvoeren, chloridegehalten en hun frequenties	Bestaande toestand		Deltaplan Oude Maas open		Deltaplan Oude Maas afgesloten	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter	Zomer	Winter
<i>Afvoeren in m<sup>3</sup>/sec</i>						
Rijn, Lobith . . . . .	1 995	1 915	1 495	1 360	1 160	1 120
IJssel, Westervoort . . . . .	241	233	300	300	261	252
Lek, Krimpen . . . . .	359	350	105	49	25	31
Waal, Gorinchem . . . . .	1 395	1 360	1 056	1 017	840	843
Maas, Dongemond . . . . .	164	437	73	271	50	192
Volkerak . . . . .	—	—	0	0	0	0
Haringvliet, sluisen . . . . .	1 040	1 325	35	159	63	276
Noord . . . . .	271	263	400	420	759	722
Nieuwe Maas . . . . .	630	634	478	482	757	766
Oude Maas . . . . .	242	232	686	732	60	60
Scheur . . . . .	872	866	1 164	1 214	817	826
<i>Chloridegehalten in mg Cl/l</i>						
Rijn, Lobith . . . . .	115	120	150	165	195	200
Haringvliet, sluisen . . . . .	—	—	250	250	250	250
Nieuwe Maas, Parkhaven . . . . .	300	300	300	300	300	300
Nieuwe Maas, Vijfsluisen . . . . .	795	790	570	540	695	680
<i>Frequenties per zomer- en winterhalfjaar</i>						
Gemiddeld aantal dagen, dat de Rijn-afvoer lager is dan aangegeven . . . . .	96	93	38	47	12	23
Idem, gemiddeld aantal groepen van:						
1 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	2,63	3,21	1,51	2,01	0,67	1,13
7 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	1,94	2,31	1,07	1,36	0,47	0,73
14 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	1,42	1,63	0,75	0,92	0,28	0,45
30 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	0,79	0,88	0,38	0,43	0,12	0,19

bracht van de watervoorraad, die daar door peilverlaging kan worden verkregen. In die periode zal men dus de Volkeraksluizen gesloten dienen te houden. Van enige doorspoeling van het meer ter bestrijding van het zoute uitslagwater der polders zal in die tijd nog geen sprake zijn. Het chloridegehalte van het meerwater zal daardoor stijgen. In het volgende hoofdstuk wordt op een en ander nader teruggekomen.

Bij de situatie na uitvoering van de deltawerken aan het einde van fase II en het begin van fase III is volgens de grensbalans II-III op tabel 16.2.4 aan de gemiddelde waterbehoefte van het gehele delta-gebied en verder bovenstrooms voldaan. Met betrekking tot het Zeeuwse Meer gaven de onderschrijdingswaarden onderaan de grensbalans I-II op tabel 16.2.3 een indruk van de frequentie, waarmee dit meer bij het hier behandelde verdelingsprogramma geheel op de eigen watervoorraad is aangewezen. In de grensbalans II-III op tabel 16.2.4 nu, vindt men deze waarden voor het geval aldaar ook nog ten dele uit de eigen voorraad zal moeten worden geput. Eerst bij afvoeren gelijk aan die, welke in de grensbalans II-III op tabel 16.2.4 zijn aangegeven, kan het Zeeuwse Meer volledig uit het Haringvliet van water worden voorzien. Bij grotere afvoeren, d.w.z. in fase III, staat men voor de keuze om het meerdere opperwater af te voeren via het Scheur tot bijv. een chloridegehalte van 300 mg Cl/l bij Vijfsluizen is bereikt (tabel 16.2.5), dan wel het meerdere af te voeren via het Haringvliet. Zoals reeds eerder werd opgemerkt, bestaat er in dergelijke gevallen ook een mogelijkheid om, indien de Oude Maas met

Tabel 16.2.4

Grensbalans II-III. Opperwaterafvoeren en hun frequenties bij een chloridegehalte op de Nieuwe Maas van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij de Parkhaven, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, bij volledige watervoorziening van het Zeeuwse Meer

Opperwaterafvoeren, chloridegehalten en hun frequenties	Bestaande toestand		Deltaplan Oude Maas open		Deltaplan Oude Maas afgesloten	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter	Zomer	Winter
<i>Afvoeren in m<sup>3</sup>/sec</i>						
<b>Rijn, Lobith</b> . . . . .	<b>1 995</b>	<b>1 915</b>	<b>1 635</b>	<b>1 430</b>	<b>1 365</b>	<b>1 190</b>
IJssel, Westervoort . . . . .	241	233	300	300	300	268
Lek, Krimpen . . . . .	359	350	177	87	36	31
Waal, Gorinchem . . . . .	1 395	1 360	1 124	1 049	995	897
Maas, Dongemond . . . . .	164	437	88	294	59	213
Volkerak . . . . .	—	—	230	150	230	150
Haringvliet, sluizen . . . . .	1 040	1 325	31	145	41	221
Noord . . . . .	271	263	341	387	715	702
Nieuwe Maas . . . . .	630	634	491	487	724	746
Oude Maas . . . . .	242	232	602	684	60	60
Scheur . . . . .	872	866	1 093	1 171	784	806
<i>Chloridegehalten in mg Cl/l</i>						
Rijn, Lobith . . . . .	115	120	140	155	165	190
Haringvliet, sluizen . . . . .	—	—	250	250	250	250
Nieuwe Maas, Parkhaven . . . . .	300	300	300	300	300	300
Nieuwe Maas, Vijfsluizen . . . . .	795	790	610	560	755	715
<i>Frequenties per zomer- en winterhalfjaar</i>						
Gemiddeld aantal dagen, dat de Rijn-afvoer lager is dan aangegeven. . . . .	96	93	52	54	27	30
Idem, gemiddeld aantal groepen van:						
1 of meer achtereenvolgende dagen . .	2,63	3,21	1,86	2,23	1,19	1,40
7 of meer achtereenvolgende dagen . .	1,94	2,31	1,32	1,52	0,84	0,93
14 of meer achtereenvolgende dagen . .	1,42	1,63	0,95	1,03	0,57	0,59
30 of meer achtereenvolgende dagen . .	0,79	0,88	0,50	0,50	0,27	0,25

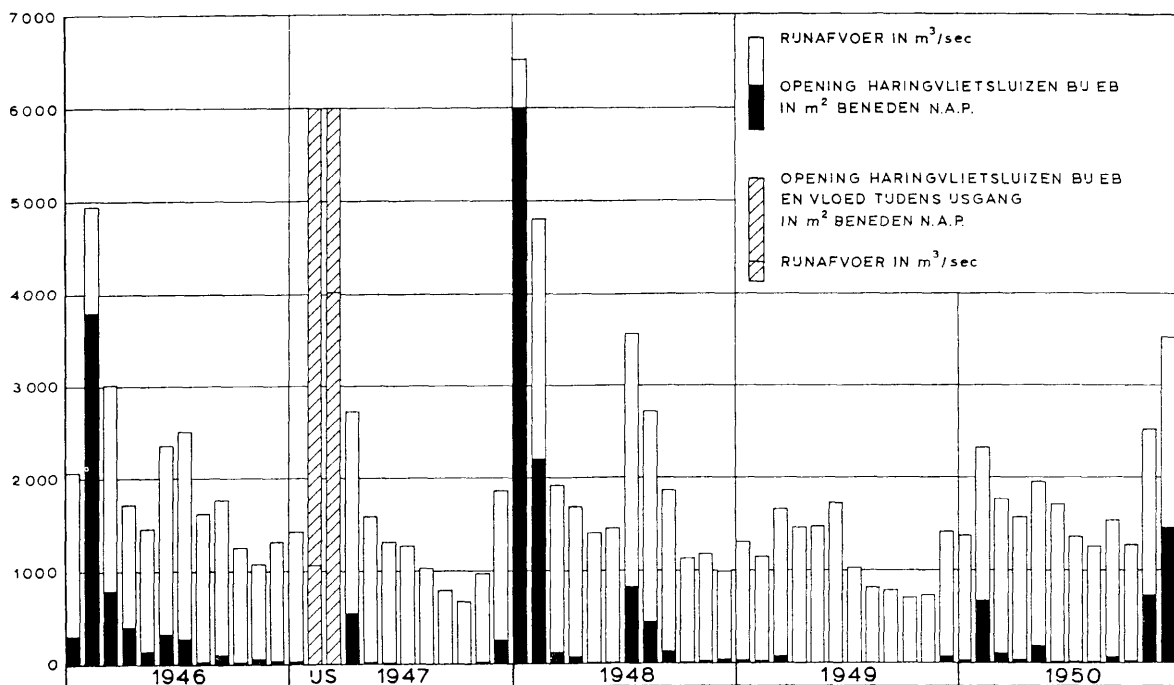
een beweegbare kering zou zijn afgesloten, deze kering te openen. De onderschrijdingswaarden, weergegeven in de tabellen 16.2.4 en 16.2.5 onder het hoofd „Deltaplan Oude Maas open”, geven een indruk van het tijdsbestek, waarbij een dergelijke handelwijze uit een oogpunt van zoetwaterhuishouding geen of weinig aanbeveling verdient.

Tabel 16.2.5 geeft de grensbalans III-IV weer, waarbij de zoutgrens bij hoogwaterkentering juist tot Vijfsluizen zal zijn teruggedrongen. Grotere opperwaterafvoeren mogen bepaaldelijk als overtollig worden aangemerkt en kunnen langs het Haringvliet worden afgevoerd (fase IV). Rekent men de betrekkelijk kleine doorspoelstroom, die volgens deze en voorgaande tabellen voor zoutbestrijding door de Haringvlietsluizen wordt geloosd, niet mede, dan kan gezegd worden, dat eerst bij Rijnafoeren groter dan 1380 à 1605 m<sup>3</sup>/sec (Oude Maas afgesloten) of groter dan 1615 à 1870 m<sup>3</sup>/sec (Oude Maas open), met de eigenlijke lozing door de Haringvlietsluizen wordt begonnen. De frequentie van deze situatie valt in tabel 16.2.5 af te lezen. Zij heeft betrekking op een gemiddeld aantal dagen of groepen van achtereenvolgende dagen per halfjaar of jaar, waarbij de uitwateringssluizen in het Haringvliet geheel of nagenoeg geheel gesloten zullen zijn. Zoals blijkt uit figuur 16.2.2 zal dit aantal dagen van jaar tot jaar verschillen. In droge jaren – als 1947 en 1949 – zal gedurende vele maanden achtereen niet of nauwelijks worden geloosd. In natte jaren zal het daarentegen kunnen voorkomen, dat de Haringvlietsluizen in het geheel niet gesloten behoeven te worden. Hetzelfde geldt voor het open of gesloten houden van een beweegbare kering in de Oude Maas.

Tabel 16.2.5

Grensbalans III-IV. Opperwaterafvoeren en hun frequenties bij een chloridegehalte op de Nieuwe Maas van 300 mg Cl/l tijdens hoogwaterkentering nabij Vijfsluizen, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas, bij volledige watervoorziening van het Zeeuwse Meer

Opperwaterafvoeren, chloridegehalten en hun frequenties	Bestaande toestand		Deltaplan Oude Maas open		Deltaplan Oude Maas afgesloten	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter	Zomer	Winter
<i>Afvoeren in m<sup>3</sup>/sec</i>						
<b>Rijn, Lobith</b> . . . . .	<b>2 780</b>	<b>2 700</b>	<b>1 870</b>	<b>1 615</b>	<b>1 605</b>	<b>1 380</b>
IJssel, Westervoort . . . . .	343	336	300	300	300	300
Lek, Krimpen . . . . .	519	506	290	183	161	59
Waal, Gorinchem . . . . .	1 918	1 886	1 246	1 138	1 110	1 027
Maas, Dongemond . . . . .	344	668	117	352	86	278
Volkerak . . . . .	—	—	230	150	230	150
Haringvliet, Sluizen . . . . .	1 607	1 942	27	122	32	155
Noord . . . . .	329	323	398	450	866	963
Nieuwe Maas . . . . .	848	850	661	646	1 000	1 035
Oude Maas . . . . .	320	312	700	791	60	60
Scheur . . . . .	1 168	1 162	1 361	1 437	1 060	1 095
<i>Chloridegehalten in mg Cl/l</i>						
Rijn, Lobith . . . . .	80	80	120	140	140	165
Haringvliet, sluizen . . . . .	—	—	250	250	250	250
Nieuwe Maas, Parkhaven . . . . .	120	120	165	180	160	180
Nieuwe Maas, Vijfsluizen . . . . .	300	300	300	300	300	300
<i>Frequenties per zomer- en winterhalfjaar</i>						
Gemiddeld aantal dagen, dat de Rijnafvoer lager is dan aangegeven . . . . .	158	135	80	70	49	49
Idem, gemiddeld aantal groepen van:						
1 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	2,31	3,34	2,41	2,69	1,79	2,08
7 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	1,91	2,60	1,72	1,87	1,26	1,41
14 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	1,55	1,88	1,27	1,30	0,91	0,95
20 of meer achtereenvolgende dagen . . . . .	1,15	1,10	0,69	0,66	0,47	0,45



Figuur 16.2.2. Overzicht van de effectieve doorstromingsopening van de uitwateringssluizen in het Haringvliet als functie van de gemiddelde maandafoer van de Rijn te Lobith over een periode als van 1946 t/m 1950, geschat voor de toestand na uitvoering van de deltawerken met afgesloten Oude Maas; doorstromingsopening in  $m^2$  beneden N.A.P.; Rijnafoeren in  $m^3/sec$

### 16.3 Afwijkingen van het geschetste verdelingsprogramma

Tal van afwijkingen van het geschetste verdelingsprogramma mogen worden verwacht.

In de eerste plaats zullen praktische factoren hiervan de oorzaak kunnen zijn. Als uitgangspunt voor het verdelingsprogramma gelden namelijk de chloridegehalten, waaruit dan de afvoerverdeling volgt. Nu moge dit uitgangspunt op zichzelf zeer juist zijn, doch voor de praktijk zal men vermoedelijk liever uitgaan van de afvoerverdeling, aangezien de chloridegehalten een zeer lastige graadmeter zullen zijn. Zo zullen de gehalten op de Rotterdamse Waterweg door de getijbeweging en allerlei bijkomende oorzaken voortdurend aan variaties onderhevig zijn, terwijl die op het Haringvliet en het Zeeuwse Meer als gevolg van de bufferwerking van deze bekkens slechts zeer vertraagd op de oppervlaktverdeling zullen reageren. De verandering van uitgangspunt behoeft echter niet tot markante verschillen in het uiteindelijke resultaat te leiden.

Wel zullen verschillen ontstaan, indien men de verdeling van de waterkwaliteit over de Rotterdamse Waterweg, het Haringvlietbekken en het Zeeuwse Meer anders zou kiezen dan ten behoeve van het behandelde verdelingsprogramma is geschied, aangezien hierbij dan ook een andere oppervlaktverdeling zou behoren.

Ook waterloopkundige eisen kunnen tot een andere verdeling van het oppervlaktwater leiden. Met betrekking tot de stroomsnelheden in de Noord en die nabij het splitsingspunt te Dordrecht wordt verwezen naar 19.0. Voorts kan het zijn, dat men, hetzij via de Rotterdamse Waterweg, hetzij via het Haringvliet, tijdelijk meer water tot afvloeiing zal willen brengen dan normaal, zulks in verband met het op diepte houden van de vaargeul, resp. de suatiegeul aan de zeezijde van de Haringvlietsluizen.

Belangrijke afwijkingen van het verdelingsprogramma zullen voorts kunnen ontstaan als gevolg van windinvloeden, in het bijzonder door stijgingen en dalingen van het gemiddeld zeeniveau. Wanneer het zeeniveau stijgt, zal deze stijging aanvankelijk niet door het Haringvlietbekken gevolgd worden. Het peilverschil tussen dit bekken en de zee neemt dus af, waardoor de afvoer van oppervlaktwater via de Noord en de Rotterdamse Waterweg sterk zal verminderen. Met het oog op de zoutbestrijding op de Nieuwe Maas zal het dan nodig kunnen blijken, het Haringvlietbekken tijdelijk hoger op te zetten door de

afvoer via de Haringvlietsluizen te beperken. Omgekeerd kan het bij een dalend zeeniveau nodig zijn de afvoer door de Haringvlietsluizen extra te vergroten, ten einde te voorkomen, dat in de Noord te grote stroomsnelheden zouden ontstaan. Hoe kleiner de bufferwerking van het Haringvlietbekken, des te sneller zal aanpassing aan andere zeestanden en andere opperwaterafvoeren mogelijk zijn. In dit verband zij gewezen op het grote belang van de dam door het Volkerak, waardoor vermeden wordt, dat ook de zeer grote buffer van het Zeeuwse Meer een directe rol zou gaan spelen. Een bevredigende regeling van de opperwaterafvoer bij veranderend zeeniveau zou daardoor onmogelijk worden.

Ook bij een naderende stormvloed kan het zijn, dat men een afwijkend lozingsprogramma gaat volgen. Het is denkbaar, dat men in zulke omstandigheden, met terzijdestelling van de belangen der zoetwaterhuishouding, vooraf nog zoveel mogelijk water via de Haringvlietsluizen zal lozen, ten einde dit bekken door peilverlaging een zo groot mogelijke komberging te geven.

Afwijkingen van het verdelingsprogramma kunnen ten slotte ook nog worden verwacht ten tijde van zware ijsgang. Mocht namelijk na voltooiing der afsluitingswerken blijken, dat het ijs van Waal en Maas bij handhaving van het normale lozingsprogramma niet in voldoende mate kan worden losgehouden en langs het Haringvliet afgevoerd, dan zal men blijkens het behandelde in de bijdrage over het ijsbezwaar <sup>1)</sup> genoodzaakt zijn er toe over te gaan de Haringvlietsluizen zowel tijdens eb als bij vloed geheel te openen. De opperwaterverdeling zal dan bij benadering weer dezelfde worden als thans.

## 17.0 INRICHTING EN PEILREGELING VAN HET ZEEUWSE MEER

### 17.1 Algemene beschouwingen

De inrichting en peilregeling van het Zeeuwse Meer zal, naar het zich laat aanzien, voor een belangrijk deel samenhangen met het gebruik van dit meer als waterreservoir ten behoeve van agrarische, huishoudelijke en industriële doeleinden. Ook met het oog op de veiligheid is het raadzaam om over bergingsmogelijkheden voor het water te kunnen beschikken. In beide gevallen is men met een zo groot mogelijke komberging, dat wil zeggen met een zo groot mogelijke wateroppervlakte en een zo groot mogelijke toe te laten peilvariatie het meeste gediend.

Andere belangen, zoals die van de scheepvaart, de recreatie, de landaanwinning, de afwatering en de oesterteelt, vragen om beperking van de komberging, hetzij door een andere bestemming van de oppervlakte, hetzij door verkleining of uitsluiting van peilvariëaties.

Onzekerheden zijn gelegen in de mate, waarin bepaalde eisen gelden, en in de waardering van het belang, dat bij inwilliging van deze eisen wordt gediend of geschaad.

Slechts door nauwgezette studie en tal van proefnemingen zullen de onzekerheden, die aan de vele problemen nog kleven, weggenomen kunnen worden. Eerst daarna is het mogelijk om de verschillende belangen tegen elkaar af te wegen en kan men – rekening houdende met de beperkingen, welke op grond van waterloopkundige factoren moeten worden gesteld – tot een oplossing komen, waarmee het algemeen belang het beste zal zijn gediend [31].

In afwachting van beslissingen omtrent de inrichting van het Zeeuwse Meer kan de hierna vermelde peilregeling slechts onder voorbehoud worden gegeven.

In de delen van het Zeeuwse Meer, die bestemd zullen worden om als waterreservoir te worden gebruikt, zal men, evenals op het IJsselmeer, vermoedelijk twee peilen kunnen onderscheiden: een zomer- en een winterpeil. Deze peilen zullen hierna aan een beknopte beschouwing worden onderworpen, evenals afwijkingen daarvan, die zich onder zeer uitzonderlijke omstandigheden zouden kunnen voordoen.

#### *Zomerpeil*

Ten einde in het Zeeuwse Meer een watervoorraad te vormen, zal men het peil gedurende maart en april geleidelijk opzetten tot omstreeks N.A.P. + 0,5 m. De peilverhoging zal in hoofdzaak plaatsvinden door het inlaten van water uit het Haringvlietbekken via stroomsluizen in de Volkerakdam.

Zolang de bovenrivieren voldoende opperwater leveren, zal men trachten het zomerpeil te handhaven door de verdamping en de onttrekking van water aan het meer via het Haringvlietbekken en de Volkeraksluizen aan te vullen.

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.5.

De hoeveelheid aanvullingswater, die langs deze weg moet worden ingelaten, wordt verre overtroffen door de hoeveelheid water, die nodig zal zijn om het eenmaal ontzilte Zeeuwse Meer zoet te houden. Het meer zal immers nog lange tijd door zout grondwater, dat in de polders omhoog kwelt en op het bekken wordt uitgeslagen, worden bezwaard, zodat een ruime doorspoeling niet kan worden ontbeerd (zie 11.5). Hiertoe dienen geregeld grote hoeveelheden water via de Volkeraksluizen te worden ingelaten en door kunstwerken nabij de afsluitdammen te worden geloosd.

De noodzaak om het Zeeuwse Meer regelmatig door te spoelen, beperkt de mogelijkheden tot het in stand houden van een hoog zomerpeil. Het peil en de inlaatmogelijkheden zijn immers direct afhankelijk van de waterstanden op het Haringvlietbekken. Een regelmatige doorspoeling kan men slechts baseren op de normaal voorkomende waterstanden in dit bekken en niet op enkele uitschieters van korte duur.

Voorlopige onderzoeken hebben uitgewezen, dat de normale hoog- en laagwaterstanden nabij Willemstad na uitvoering van de deltawerken niet hoger zullen oplopen dan ten hoogste omstreeks N.A.P. + 0,5 à 0,75 m (zie 18.2). Een zomerpeil op het Zeeuwse Meer van gemiddeld circa N.A.P. + 0,5 m lijkt dus wel een aannemelijk maximum. Slechts met inbegrip van een weinig frequent voorkomende, zeer grote opwaaiing zal men des zomers tijdelijk en plaatselijk op een stand van ongeveer N.A.P. + 0,7 m behoeven te rekenen.

Blijkens 16.0 zal er bij kleine Rijnafvoeren niet of niet voldoende water ter beschikking zijn om het Zeeuwse Meer op peil te houden en door te spoelen. In dergelijke gevallen moet het inlaten via de Volkeraksluizen, evenals het lozen nabij de kust, worden gestaakt of beperkt en zal men met betrekking tot de watervoorziening van Zeeland en westelijk Noord-Brabant en de bestrijding van schutzout bij Hansweert en Vlissingen of Vere aangewezen zijn op de watervoorraad in het Zeeuwse Meer. Het zomerpeil van het meer zal hierdoor geleidelijk kunnen dalen tot N.A.P. — 0,5 m en lager, afhankelijk van de hoeveelheid water, die aan het meer zal worden onttrokken, en de oppervlakte water, die voor het reservoir beschikbaar is (zie 17.2).

Als zeer laag peil, dat in uitzonderlijk droge jaren als 1947 en 1949 aan het einde van het groei-seizoen gedurende enkele maanden zou kunnen voorkomen, wordt ter oriëntatie veelal N.A.P. — 1,0 m en met inbegrip van afwaaiing N.A.P. — 1,25 m opgegeven. De frequentie hiervan is gering.

#### *Winterpeil*

In het winterseizoen zal men vermoedelijk streven naar een peil op het Zeeuwse Meer van N.A.P. of lager. Om dit te bereiken, zal men het zomerpeil in september (of eerder, indien het seizoen nat is) verlagen door de inlaat via de Volkeraksluizen tijdelijk te beperken en nabij de afsluitdammen zo krachtig mogelijk te lozen. Indien het zomerpeil gedurende het groeiseizoen reeds zeer sterk zou zijn gedaald, is het denkbaar, dat men water aan het meer zou moeten toevoegen om het winterpeil te bereiken.

Een laag winterpeil komt ten goede aan de veiligheid, waarop nog nader zal worden teruggekomen, alsmede aan de ontwatering van polders en hoger gelegen gronden. De kwel onder de afsluitdammen zal door een laag peil toenemen, doch dit valt in het niet bij de vermindering van de zoutbelasting, die door de afname van kwel naar de polders zal ontstaan. Ook in dit verband heeft een laag peil dus een gunstige invloed.

Al te laag zal men in verband met scheepvaartbelangen liever niet gaan. Ook is het nodig enige watervoorraad in reserve te houden voor de bestrijding van het schutzout bij Hansweert en Vlissingen of Vere, indien de inlaat via de Volkeraksluizen bij kleine afvoeren der bovenrivieren of bij ijsgang (Haringvlietluizen getrokken) zou moeten gestaakt.

Gaat men uit van een winterpeil van N.A.P., dan zal, met inbegrip van een zeer ruime reserve met het oog op gestremde lozing van het uitslagwater der polders enz., het peil onder ongunstige omstandigheden niet hoger oplopen dan N.A.P. + 0,5 m (zie 17.3 onder b). Rekent men daarbij nog op een grote opwaaiing van 2 decimeter, dan zal, behoudens de hierna te bespreken afwijkingen, een topstand van ongeveer N.A.P. + 0,7 m ook in de winter niet worden overschreden.

#### *Afwijkende standen*

Bij het bovenstaande werd niet in rekening gebracht, dat men de komberging van het Zeeuwse Meer zou kunnen inschakelen ter verlaging van hoge waterstanden op het Haringvlietbekken. Blijkens

het behandelde in een andere bijdrage <sup>1)</sup> kunnen deze hoge, doch overigens nog niet bijzonder gevaarlijke standen aldaar ontstaan bij zeer grote afvoeren van Waal en Maas in combinatie met hoge zee-standen. Om speciaal bij Dordrecht een verlaging van de waterstand van enige betekenis te verkrijgen, zouden tijdens de stormvloed in betrekkelijk korte tijd enorm grote hoeveelheden water uit het Haringvlietbekken via zeer ruime Volkeraksluizen naar het Zeeuwse Meer moeten worden afgevoerd. Daarbij zou men volgens de bovengenoemde bijdrage de Dordtse Kil aanzienlijk moeten verruimen, aangezien de bestaande afvoercapaciteit van deze rivier te gering is om voldoende water bij Dordrecht weg te trekken.

Door het afdalen van water naar het Zeeuwse Meer zal het peil op dit meer uiteraard stijgen. Uitgaande van een stormvloed als van 1953 in combinatie met een zeer grote Rijnafvoer van circa 10 000 m<sup>3</sup>/sec (overschrijdingskans van de combinatie circa 1% per eeuw) en uitgaande van een stroomsluis in de Volkerakdam met een opening van 1000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P., zal het peil op het Zeeuwse Meer volgens de hiervoor genoemde bijdrage echter niet hoger oplopen dan van N.A.P. (uitgangspeil) tot circa N.A.P. + 1,0 m aan de zuidzijde van de Volkeraksluizen en tot circa N.A.P. + 0,5 m nabij de Galatheese Haven en verder westelijk. Zou men de Volkeraksluizen een zelfde doorstromingsprofiel geven als thans het open Volkerak (10 000 m<sup>2</sup>), hetgeen bepaaldelijk geen aanvaardbare oplossing zal zijn, en zou men deze sluisen reeds vóór de aanvang van de stormvloed hebben geopend, zodat de grootst mogelijke tijd voor vol lopen van het Zeeuwse Meer in rekening wordt gebracht, dan zal het peil aan de zuidzijde van de Volkeraksluizen blijkens modelproeven tot omstreeks N.A.P. + 2 m kunnen oplopen. Het peil op het overgrote deel van het Zeeuwse Meer zal omstreeks een halve meter lager blijven.

Na afloop van de stormvloed en het staken van de afdaal naar het Zeeuwse Meer zal zich op het meer een gemiddeld peil gaan instellen, waardoor de standen nabij de Volkeraksluizen reeds aanstonds met omstreeks 0,5 m worden verlaagd. Door lozing zal een verdere verlaging tot een normaal winterpeil snel kunnen worden gerealiseerd, omdat men niet alleen de normale lozingsmiddelen ter beschikking heeft, doch ook water via de stroomsluisen in het Volkerak zal kunnen terugvoeren naar het Haringvliet.

Voorshands lijkt het nog onzeker of men het Zeeuwse Meer ter verlaging van waterstanden op het Haringvlietbekken en de aansluitende wateren zal willen inschakelen. Het lijkt echter verstandig om hiermee bij de inrichting van het Zeeuwse Meer toch ter dege rekening te houden en een ruime komberging te reserveren. De hoeveelheid water, die in noodgevallen naar het Zeeuwse Meer zou moeten worden afgevoerd, de kombergingsoppervlakte en de hoogte tot waar het peil op het Zeeuwse Meer zal kunnen of mogen stijgen, hangen onverbrekkelijk met elkaar samen en verdienen nog nader onderzoek. Zeker is echter wel, dat de behoefte tot het afdalen van zeer grote hoeveelheden water uit het Haringvlietbekken naar het Zeeuwse Meer zich slechts zelden zal doen gevoelen. In dit verband moet gedacht worden aan een frequentie van 1 tot 10% per eeuw. Mede omdat de vorenbedoelde hoge waterstanden op het Zeeuwse Meer, zo zij al zullen voorkomen, toch in ieder geval van zeer korte duur zullen zijn, behoeven zij onder meer voor de afwatering van polders geen maatstaf te vormen.

Met nog aanzienlijk minder kans dan hiervóór vermeld, zullen op het Zeeuwse Meer hoge standen kunnen optreden, namelijk in geval van doorbraak van één der hoofdafdammingen ten tijde van een uitzonderlijk hoge stormvloed. Hoewel men mag aannemen, dat deze omstandigheid door de betrouwbaarheid der te ontwerpen dammen nagenoeg tot de onmogelijkheden zal behoren, dient men er bij de inrichting van het meer toch voor zorg te dragen, dat een zodanig ruime komberging als buffer beschikbaar blijft, dat de huidige hoofdwaterkeringen in een dergelijk geval voldoende veiligheid zullen bieden. Het onderzoek naar de hiervoor benodigde komberging zal men uiteraard koppelen aan de eerstgenoemde studies met betrekking tot het afdalen van water uit het Haringvliet.

## 17.2 Waterverbruik uit de voorraad van het Zeeuwse Meer

Aan het Zeeuwse Meer zal water worden onttrokken om te voldoen aan de behoefte van de landbouw, alsmede aan die voor de verversing van polder- en boezemwateren. Een gedeelte van het meerwater zal door verdamping worden afgevoerd, terwijl ten slotte blijkens 11.1 voor de bestrijding van zout schutwater in ieder geval een hoeveelheid van ten minste 20 m<sup>3</sup>/sec zal moeten worden geloosd.

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.3.



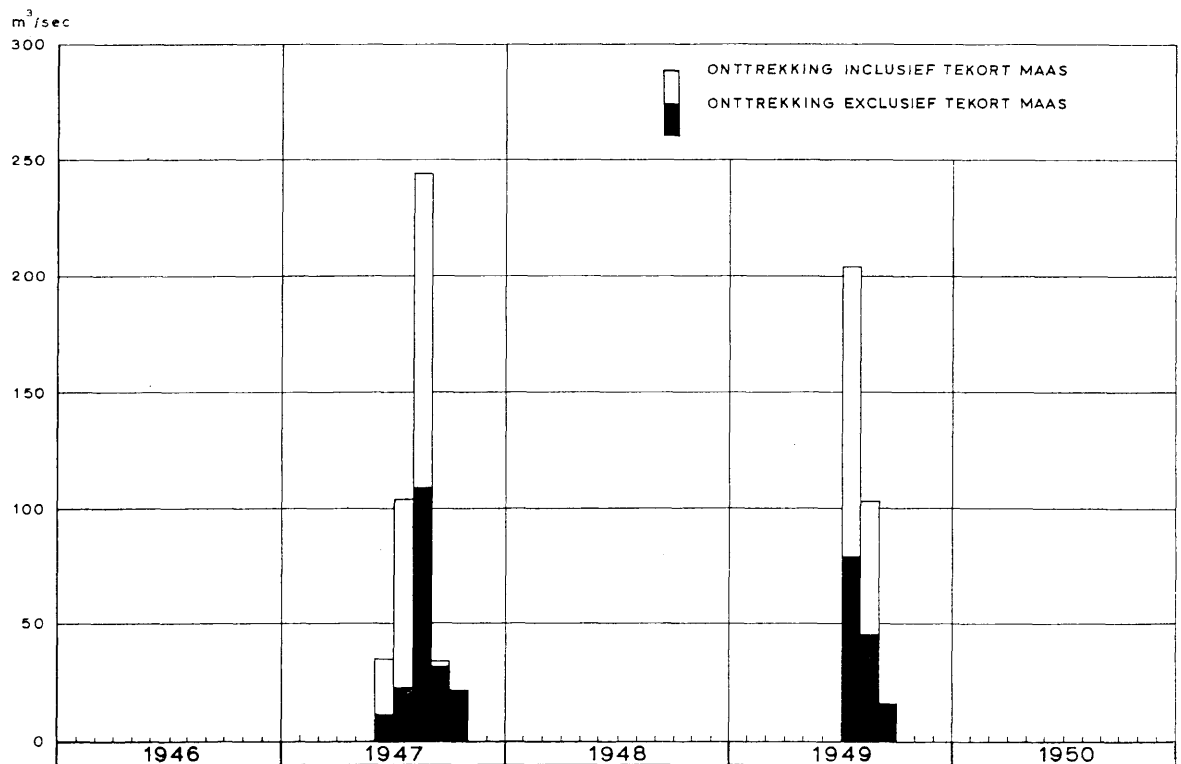
In perioden met kleine oppervlatafvoeren, wanneer ingevolge het in 16.0 behandelde mogelijke verdelingsprogramma geen of niet voldoende water uit het Haringvliet zal kunnen worden aangevoerd, zal men ten aanzien van de bovenstaande onttrekkingen geheel of gedeeltelijk op de eigen watervoorraad van het Zeeuwse Meer zijn aangewezen. De frequentie, waarmede deze situatie zich zal voordoen, is weergegeven in tabel 17.2.1. Daarbij bleef het in 17.1 genoemde verbruik uit eigen voorraad in tijden van zware ijsgang buiten beschouwing. Hieromtrent kan bij benadering gesteld worden, dat de aanvoer van zoet water uit het Haringvliet omstreeks éénmaal per 5 jaar gedurende ongeveer een maand kan zijn gestremd.

Tabel 17.2.1

Gemiddeld aantal groepen van achtereenvolgende dagen per jaar, waarbij de wateronttrekking aan het Zeeuwse Meer ten gevolge van te kleine afvoeren geheel of ten dele ten laste zal komen van de eigen watervoorraad in dit meer

Groepenfrequentie (overgenomen uit tabel 16.2.4)	Deltaplan Oude Maas open		Deltaplan Oude Maas afgesloten	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter
Groepen van:				
1 of meer achtereenvolgende dagen . . . .	1,86	2,23	1,19	1,40
7 of meer achtereenvolgende dagen . . . .	1,32	1,52	0,84	0,93
14 of meer achtereenvolgende dagen . . . .	0,95	1,03	0,57	0,59
30 of meer achtereenvolgende dagen . . . .	0,50	0,50	0,27	0,25

Van de hoeveelheden water, die in de bovenbedoelde gevallen ten laste zullen komen van de watervoorraad in het Zeeuwse Meer, en van de frequentie, die daaraan weer gebonden zou zijn, werd nog geen volledige studie gemaakt. Wel kan worden aangegeven, welke hoeveelheden water in een periode als van 1946 t/m 1950 aan de komberging zouden moeten worden ontleend. Hiervan geeft figuur 17.2.1 een overzicht.



Figuur 17.2.1. Overzicht van de hoeveelheden water, die aan de komberging van het Zeeuwse Meer zouden moeten worden onttrokken met en zonder de watertekorten van het verzorgingsgebied van de Maas, in een periode als van 1946 t/m 1950; waterverbruik in m³/sec

Uit figuur 17.2.1 blijkt, dat, wanneer wij het meergenoemde verbruik van water in tijden van zware ijsgang buiten beschouwing laten, de watervoorraad in het Zeeuwse Meer alleen gedurende droge zomerperioden als van 1947 en 1949 zal behoeven te worden aangesproken. De onttrekkingen zijn dan zeer groot. Zo zou in 1947 circa  $510 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  aan het Zeeuwse Meer worden onttrokken, in 1949 circa  $365 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Omtrent de peilverlaging, waartoe dergelijke onttrekkingen aanleiding geven, kan men zich oriënteren met behulp van bijlage IV.4-17.2.1. Op deze bijlage zijn de oppervlakten water en droogvallend land in het gebied van het Zeeuwse Meer, alsmede in onderdelen daarvan, weergegeven als functie van het meerpeil. Ter oriëntatie zij hier vermeld, dat bijvoorbeeld tussen de peilen N.A.P. + 0,5 m en N.A.P. — 0,5 m een watervoorraad ligt besloten van omstreeks  $510 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , wanneer men althans de volledige komberging van het gehele Zeeuwse Meer, met inbegrip dus van het Grevelingenbekken en de Zandkreekboezem, in rekening brengt.

Indien men, teruggrijpend op 7.3, ook de tekorten van het verzorgingsgebied van de Maas ten laste zou brengen van de watervoorraad in het Zeeuwse Meer, zou de totale onttrekking aan dit meer in een zomerhalfjaar als van 1947 volgens de berekeningen  $1130 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  hebben bedragen. Voor de zomer van 1949 zou deze hoeveelheid op omstreeks  $830 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  kunnen worden gesteld. Dergelijke waterhoeveelheden liggen blijkens bijlage IV.4-17.2.1 besloten tussen peilen van N.A.P. + 0,5 m en N.A.P. — 1,5 m en lager, wederom aannemend, dat het gehele Zeeuwse Meer ter beschikking zou staan. Het meer zou dan in een niet onbelangrijke mate worden overbelast.

### 17.3 Capaciteit van inlaat- en lozingsmiddelen

#### a. Inlaatmiddelen

Het voornaamste, zo niet het enige inlaatmiddel, waarover het Zeeuwse Meer zal beschikken, wordt gevormd door de stroomsluizen in de Volkerakdam. Beschouwd uit het oogpunt van de zoetwaterhuishouding, zal de hoeveelheid water, die door deze sluizen uit het Haringvliet naar het Zeeuwse Meer moet kunnen worden gevoerd, in sterke mate afhankelijk zijn van de mate, waarin men het Zeeuwse Meer zal willen doorspoelen, of met andere woorden, van de capaciteit, die aan de lozingsmiddelen wordt gegeven. Rekent men hiervoor ingevolge 11.5 op een capaciteit van gemiddeld  $200 \text{ m}^3/\text{sec}$ , dan zal de inlaatcapaciteit van de stroomsluizen in het Volkerak circa  $275 \text{ m}^3/\text{sec}$  dienen te bedragen. Daarbij is gerekend, dat men op basis van circa  $50 \text{ m}^3/\text{sec}$  het peil van het Zeeuwse Meer in één maand circa 0,25 m moet kunnen verhogen, terwijl gemiddeld in het zomerhalfjaar voor watervoorziening en door verdamping circa  $25 \text{ m}^3/\text{sec}$  meer zal worden onttrokken dan door de neerslag en de afwatering van polders en hoge gronden aan het Zeeuwse Meer zal worden toegevoegd. Wanneer men in de Volkeraksluizen een verval toelaat van circa 5 cm en wanneer men er voorts op rekent, dat niet steeds gedurende het gehele getij zal kunnen worden ingelaten, lijkt een maximum-capaciteit van  $500 \text{ m}^3/\text{sec}$  bij een effectief doorstromingsprofiel van circa  $500 \text{ m}^2$  voor de zoetwaterhuishouding wel voldoende.

Behalve voor de zoetwaterhuishouding zullen de stroomsluizen in de Volkerakdam o.m. ook een functie kunnen krijgen, als het er om gaat bij hoge standen op het Haringvlietbekken water af te laten naar het Zeeuwse Meer. Bij het dimensioneren van de Volkeraksluizen zal men hierop bedacht dienen te zijn.

#### b. Lozingsmiddelen

Op de functie van de lozingsmiddelen in verband met de doorspoeling van het Zeeuwse Meer ten behoeve van de zoutbestrijding werd in 11.5 reeds nader ingegaan. In afwachting van verder onderzoek werd hiervoor een gemiddelde capaciteit van ten minste  $200 \text{ m}^3/\text{sec}$  gesteld.

De vraag doet zich thans voor of de bovengenoemde capaciteit ook voldoende zal zijn om in tijden van groot neerslagoverschot het uitslagwater van polders en hoge gronden af te voeren naar zee.

Bij de navolgende beschouwing betreffende de afwatering werd uitgegaan van de neerslaggegevens van Oudenbos, welke vanaf 1888 door het K.N.M.I. bewerkt zijn [14]. Deze plaats ligt in het centrum van het afwateringsgebied van het Zeeuwse Meer.

Met betrekking tot de lozingscapaciteit van het meer zou men als minimum-eis kunnen stellen, dat bij gemiddelde meteorologische omstandigheden in een bepaalde periode geloosd moet kunnen worden wat er in die periode aan neerslag op het meer valt en daarop afwatert. Wanneer men voor het

winterhalfjaar de geringe verdamping eenvoudigheidshalve niet mederekent, blijkt de 30-daagse periode van half oktober tot half november maatgevend te zijn. De gemiddelde neerslag in deze periode bedraagt 71 mm. Neemt men aan, dat deze neerslag valt op het gehele afwateringsgebied van het Zeeuwse Meer (221 000 ha), alsmede op het Zeeuwse Meer zelf (52 000 ha), dan moet per maand bijna  $194 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  kunnen worden geloosd. Dit houdt in, dat de gemiddelde lozingscapaciteit ten minste ongeveer  $75 \text{ m}^3/\text{sec}$  moet bedragen.

Als verdere eis zou gesteld kunnen worden, dat de maximaal waargenomen neerslag in het winterhalfjaar in diezelfde periode geloosd zou moeten kunnen worden. Maatgevend blijkt dan te zijn het winterhalfjaar van 1930—1931. Over deze periode bedroeg de neerslag 502 mm. Dit houdt in, dat de gemiddelde lozingscapaciteit ten minste circa  $90 \text{ m}^3/\text{sec}$  moet bedragen.

Als derde eis zou men bijv. kunnen stellen, dat peilvariaties door neerslagoverschot op het meer, groter dan 50 cm, niet kunnen worden toegestaan. Neemt men aan, dat binnen deze variatie een komberging in het gehele Zeeuwse Meer aanwezig is van circa  $250 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , dan blijkt een lozingscapaciteit van bijna  $100 \text{ m}^3/\text{sec}$  nodig te zijn om in een periode van 60 dagen (vanaf 1 oktober 1930: 279 mm) aan de gestelde eis te kunnen voldoen. Voor een periode van 15 achtereenvolgende dagen (vanaf 1 november 1940: 153 mm) zou een gemiddelde lozingscapaciteit van  $125 \text{ m}^3/\text{sec}$  nodig zijn geweest. Het maximum blijkt te liggen op omstreeks  $150 \text{ m}^3/\text{sec}$  voor een periode van 10 dagen (vanaf 1 oktober 1929: 139 mm).

Bij de derde veronderstelling werd er van uitgegaan, dat over de volledige komberging van het Zeeuwse Meer – dus met inbegrip van de Zandkreekboezem en het Grevelingenbekken – kan worden beschikt. Wanneer de komberging, om welke redenen dan ook, wordt verkleind, zal men de lozingscapaciteit overeenkomstig moeten vergroten. Hiertegenover staat de mogelijkheid, dat men in zeer natte perioden ook via het Volkerak water uit het Zeeuwse Meer zal kunnen aflaten. Hierdoor zal de vereiste capaciteit van de directe lozing naar zee of naar de Westerschelde tot op zekere hoogte beperkt kunnen blijven.

De hiervoor genoemde hoeveelheden neerslag en uitslagwater hebben betrekking op maxima, die in Oudenbos sinds 1888 zijn waargenomen. Zij werden slechts ter oriëntatie verstrekt. Voor het definitieve ontwerp van de lozingsmiddelen zal men de hoeveelheden uiteraard dienen te baseren op frequentiebeschouwingen en niet op de waargenomen hoogste waarden, die in wezen een toevallig karakter hebben. Het zal dan afhangen van de kans, waarmee men de overschrijding van bepaalde criteria aanvaardt, of de hoeveelheden groter dan wel kleiner zullen zijn dan hiervoor werd aangegeven.

Bij de afstroming van neerslag van een groot afwateringsgebied als dat van het Zeeuwse Meer kan een aantal factoren worden aangewezen, waardoor, speciaal wanneer pieken over een betrekkelijk korte periode in beschouwing worden genomen, enige demping van deze afstroming mag worden verwacht. In dit verband kunnen o.m. worden genoemd: de spreiding van de neerslag, verschillen in looptijd van het water, alsmede de bufferwerking van de grond.

Anderzijds zal men er rekening mede moeten houden, dat de lozing van het Zeeuwse Meer als gevolg van hoge zeestanden tijdelijk kan zijn gestremd. Speciaal voor korte perioden met hevige neerslag zal dit van relatief grote betekenis zijn. Nadere studie is mede in dit verband nog noodzakelijk.

## 18.0 WATERSTANDEN C.A. IN DE BENEDENRIVIEREN BIJ NORMALE ZEESTANDEN

### 18.1 Algemene beschouwingen

De waterstanden in de benedenrivieren hangen af van het getij op zee, van de afvoer der bovenrivieren en van de verdeling van dit opperwater over de benedenrivieren. Bij de bestaande toestand overweegt de invloed uit zee zeer sterk. Zo is bijv. het hoogwater te Willemstad gemiddeld op bijna N.A.P. + 1,3 m gelegen, het laagwater op N.A.P. — 0,8 m. Het tijverschil bedraagt dus meer dan twee meter, terwijl het maar enkele centimeters verschilt of de Rijn 10 000 dan wel  $1000 \text{ m}^3$  per seconde afvoert.

Dit alles zal door de uitvoering van de deltawerken aanzienlijk veranderen. Bij kleine opperwaterafvoeren, wanneer de Haringvlietsluizen gesloten zullen zijn, kan de getijbeweging alleen nog via de Rotterdamse Waterweg tot het Haringvlietbekken doordringen. Op de Rotterdamse Waterweg ondergaan de waterstanden hierdoor slechts weinig verandering, doch verder bovenstrooms, in de richting van het bekken, wordt de getijbeweging geleidelijk aan zó sterk gedempt, dat het tijverschil op het

Haringvliet nog maar één tot twee decimeter zal bedragen. Bij open Oude Maas zal het tijverschil ongeveer  $1\frac{1}{2}$  dm groter zijn dan wanneer de Oude Maas is afgesloten. In het laatste geval blijft er immers nog slechts één open verbinding tussen de Rotterdamse Waterweg en het Haringvliet bestaan, namelijk die via de Noord.

Bij grotere rivierafvoeren dan bovenbedoeld, wanneer bij eb het overtollig water door de Haringvlietsluizen wordt afgelaten, zal door het intermitterend lozen een soort schijngetij op het achterliggende bekken ontstaan. Het tijverschil op het bekken neemt dan toe naarmate de Haringvlietsluizen bij groter wordende opperwaterafvoeren steeds wijder worden geopend. Uiteindelijk, bij grote tot zeer grote afvoeren, die slechts weinig voorkomen, zal het tijverschil aan de binnenzijde van de Haringvlietsluizen 8 à 9 dm bedragen. Dit is minder dan de helft van het overeenkomstige tijverschil onder de huidige omstandigheden. In bovenstroomse richting neemt het verschil als gevolg van de hydraulische weerstanden af. Op de wijde stromen als het Haringvliet en het Hollands Diep zal men hiervan slechts weinig merken. Op de Nieuwe Merwede wordt echter zoveel weerstand ondervonden, dat er bijv. bij Werkendam, evenals thans bij grote rivierafvoeren het geval is, van de getijbeweging nog maar 4 à 5 dm overblijft.

Behalve de hiervóór besproken veranderingen in het tijverschil, zijn ook de wijzigingen in de halftijstanden kenmerkend voor de invloed, die de deltawerken op de hoog- en laagwaterstanden in het gebied der benedenrivieren zullen uitoefenen.

Op de Rotterdamse Waterweg zijn de veranderingen van weinig betekenis. Bij toenemende afvoeren worden de halftijstanden wel hoger, doch dit geschiedt in nagenoeg dezelfde mate als thans.

Geheel anders is de situatie op het Haringvlietbekken en de direct daarop aansluitende wateren. Hier hangen de halftijstanden in overwegende mate samen met de opperwaterverdeling over Haringvliet en Rotterdamse Waterweg, die men door het al of niet beperken van de afvoer via de Haringvlietsluizen voor een groot deel in de hand heeft. Hoe meer water men op deze wijze in de richting van de Rotterdamse Waterweg stuurt, des te hoger zullen de halftijstanden op het Haringvliet als gevolg van de betrekkelijk geringe doorstroomcapaciteit der tussenliggende rivieren stijgen. Deze stijging is kleiner, wanneer de Oude Maas open is, dan wanneer deze rivier is afgesloten en dezelfde hoeveelheid water alleen via de Noord tot afstroming moet komen. Om dezelfde reden is het ook begrijpelijk, dat de halftijstanden zullen dalen, wanneer bijv. de Noord zou worden verruimd.

In het zomerhalfjaar zal het wenselijk zijn om bij normale en kleine rivierafvoeren een zo hoog mogelijke halftijstand op het Haringvlietbekken na te streven. Dit komt de mogelijkheden tot het op peil brengen en houden van het Zeeuwse Meer, dat via de Volkeraksluizen uit het Haringvliet van water moet worden voorzien, ten goede. Zoals uit figuur 18.2.1 blijkt, betekent de afsluiting van de Oude Maas in dit verband een verhoging van de halftijstand van verscheidene decimeters.

Wanneer de opperwaterafvoeren zo groot zijn, dat ook de afvoer van de Lek in grote mate bijdraagt tot de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, kan men de afvoer langs de Noord, en bij de toestand met open Oude Maas ook de afvoer langs deze rivier, verminderen door bij de Haringvlietsluizen meer van het overtollige water te lozen. Hierdoor zullen de middenstanden op het Haringvlietbekken dalen.

Bij zeer grote afvoeren ten slotte, gaan de hydraulische weerstanden in het Haringvliet, het Hollands Diep, enz. een belangrijke invloed op de waterbeweging uitoefenen. Hierdoor zullen de middenstanden opnieuw gaan stijgen. De waterstanden bij Werkendam en Mond der Donge zullen dan maar weinig, en verder stroomopwaarts in het geheel niet meer verschillen van de overeenkomstige standen bij de bestaande situatie.

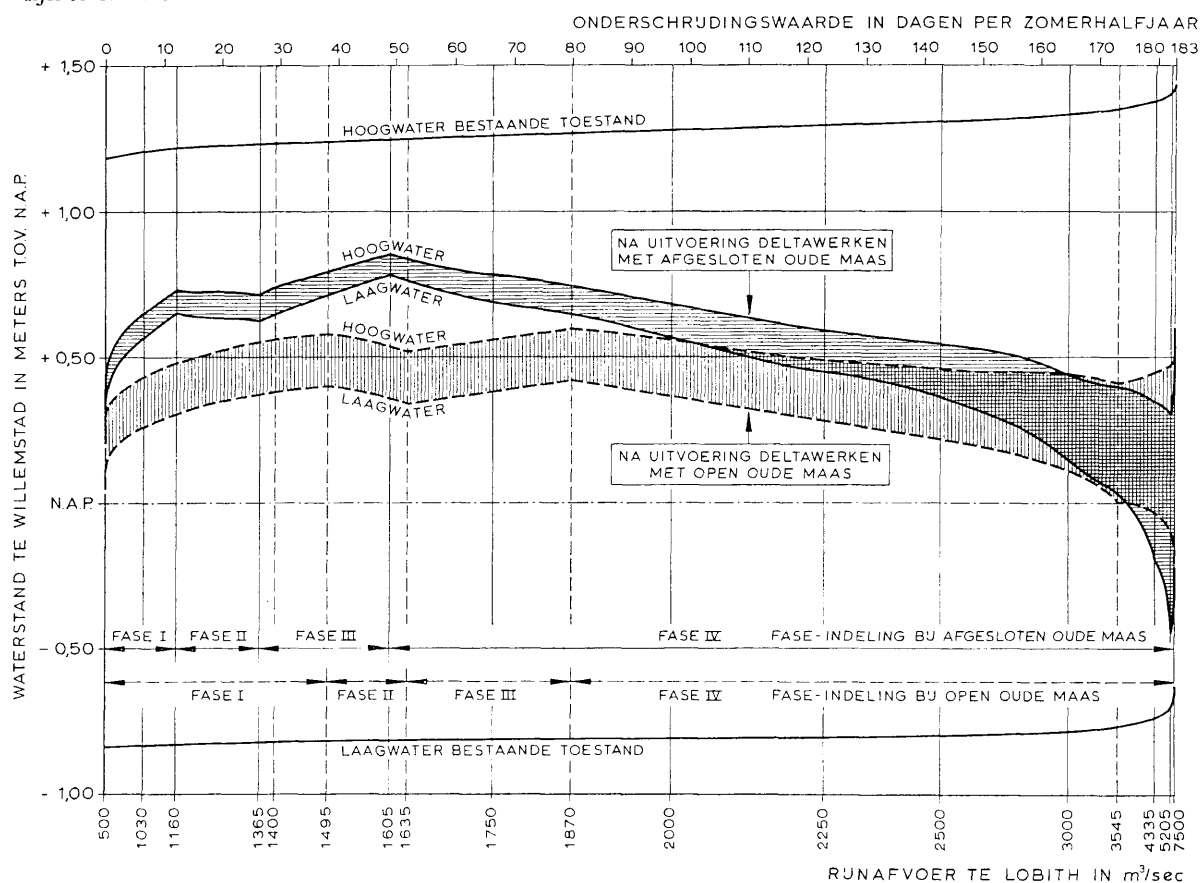
Wanneer de Haringvlietsluizen gedurende perioden van zware ijsgang zowel bij eb als bij vloed geheel geopend zouden blijven zou de getijbeweging op het Haringvlietbekken en de aansluitende wateren wederom de tegenwoordige gaan benaderen. Een vermindering van het tijverschil zal niettemin blijven bestaan, voornamelijk omdat via het Volkerak geen getij meer tot het Haringvliet en het Hollands Diep zal kunnen doordringen.

## 18.2 Waterstanden na uitvoering van de deltawerken

Betreffende de waterstanden, die na uitvoering van de deltawerken in de benedenrivieren zullen ontstaan, zijn in opdracht van de Rijkswaterstaat tal van proeven in het Waterloopkundig Laboratorium

ondernomen, terwijl de Deltadienst een aantal vergelijkende berekeningen en elektrische modelonderzoekingen heeft uitgevoerd. De studies hebben plaats gevonden voor de toestand na uitvoering der deltawerken met open zowel als met afgesloten Oude Maas. Met behulp van de resultaten van dit onderzoek werd voor de situatie na uitvoering van de deltawerken met afgesloten Oude Maas alsmede voor de bestaande toestand, een overzicht van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden samengesteld voor een periode als van 1946 t/m 1950. Dit overzicht, dat men aantreft in bijlage IV.4-18.2.1, moge – in aansluiting op het gestelde in 18.1 – voor zichzelf spreken.

Daar de waterstanden in het gebied der benedenrivieren na uitvoering van de deltawerken sterk zullen afhangen van de oppervlaktewerking en deze op haar beurt weer nauw samenhangt met het debiet van de Rijn, kan men de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden bij benadering ook voorstellen als functie van de Rijnafvoer. Naar analogie van figuur 16.1.1, welke betrekking heeft op de oppervlaktewerking, vindt men voor de waterstanden het overeenkomstige verband weergegeven in figuur 18.2.1. De figuur heeft betrekking op de waterstanden te Willemstad, die voor het Haringvlietbekken representatief zijn. De verschillende in 16.1 behandelde fasen van de oppervlaktewerking vallen duidelijk te onderscheiden.



Figuur 18.2.1. Schematisch overzicht van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden te Willemstad als functie van de Rijnafvoer en zijn frequentie voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de Rijnkanalisatie en de deltawerken met afgesloten en met open Oude Maas bij een gemiddelde getijbeweging op zee en voor een gemiddeld zomerhalfjaar

Er dient de aandacht op gevestigd te worden, dat de gegeven waterstanden voor de toestand na uitvoering der deltawerken slechts ter globale oriëntatie zijn bedoeld. Zij houden nog vele mogelijkheden tot variatie in zich, al zijn deze waarschijnlijk niet van wezenlijk belang. Behalve de onzekerheden, die nog schuilen in het in 16.0 behandelde mogelijke programma voor de verdeling van het oppervlaktewater over de benedenrivieren, kunnen ook in de betrekking tussen deze oppervlaktewerking

en de waterstanden nog wijzigingen worden verwacht. Zo kunnen veranderingen ontstaan als gevolg van rivierverbeteringen, waarmede bij het meergenoemde modelonderzoek nog geen rekening werd gehouden. In dit verband kan onder meer worden genoemd een normalisatie van Haringvliet en Hollands Diep ten behoeve van de ijsafvoer, een eventuele verruiming van de Noord ten behoeve van de scheepvaart, alsmede een eventuele verruiming van de Nieuwe Merwede ter ontlasting van de stromen in de Beneden-Merwede, de Noord, de Oude Maas bij Dordrecht en de Dordtse Kil ten tijde van zeer grote rivierafvoeren. Ook dient te worden vermeld, dat het voorlopige modelonderzoek en de berekeningen betrekking hadden op een gemiddelde getijbeweging op zee. Afwijkende zeestanden zullen hun invloed op de verticale waterbeweging in het gebied der benedenrivieren, zij het in gedempte vorm, eveneens doen gelden. Behoudens voor de toestand tijdens stormvloed, welke in de desbetreffende bijdrage beschreven wordt <sup>1)</sup>, werd hieromtrent nog geen diepgaande studie verricht.

### 18.3 Aanpassingswerken, nodig als gevolg van de verandering der waterstanden na uitvoering van de deltawerken

Blijkens 18.1 en bijlage IV.4-18.2.1 zullen de normale waterstanden op de Rotterdamse Waterweg en de direct aansluitende wateren als gevolg van de deltawerken geen veranderingen ondergaan, die voor de langs deze rivieren gelegen havens, haveninstallaties, scheepshellingen etc. van betekenis zijn. De verlaging van het gemiddelde hoogwater en de verhoging van het gemiddelde laagwater zullen namelijk minder dan een decimeter bedragen en zijn gering in vergelijking met de natuurlijke variaties als gevolg van afwijkende getijden. Niettemin zal de tendens tot verhoging der laagwaterstanden, hoe gering ook, niet nalaten enige invloed uit te oefenen op de afwatering van bijv. Delfland. Het lage boezempeil van N.A.P. — 0,40 m van dit hoogheemraadschap laat ook thans reeds weinig ruimte voor een natuurlijke lozing. Speciaal wanneer de Oude Maas in het kader der deltawerken open blijft, zal de mogelijkheid tot natuurlijke lozing blijkens verricht onderzoek afnemen. De capaciteit der gemalen is voldoende om dit op te vangen, doch de bemalingskosten zullen hoger worden.

Op het Haringvlietbekken c.a. zullen de laagwaterstanden als gevolg van de deltawerken belangrijk stijgen. Ook de halftijstand of middenstand zal op een hoger peil komen te liggen dan thans. Vooral voor de afwatering der polders worden hierdoor voorzieningen nodig.

Op het Zeeuwse Meer zal de verticale waterbeweging, die door het intermitterend inlaten en lozen zal ontstaan, nog belangrijk kleiner zijn dan die op het Haringvlietbekken. Het weinig wisselende waterpeil opent de mogelijkheid verschillende havens beter bruikbaar te maken. Ook hier zal evenwel de afwatering tal van voorzieningen behoeven.

De aanpassingswerken, nodig voor de lozing, lopen van polder tot polder zeer sterk uiteen. Zij zullen dan ook voor elk gebied afzonderlijk moeten worden bezien. Daarbij kan het combineren van afwateringsgebieden en het aanpassen aan te ontwerpen systemen voor inlaat, doorspoeling en lozing aanbeveling verdienen. De onderzoekingen hieromtrent zijn nog niet zover gevorderd, dat aangaande de benodigde voorzieningen gedetailleerde mededelingen kunnen worden verstrekt. In deze bijdrage moet dan ook worden volstaan met het geven van een algemeen overzicht, dat beperkt zal blijven tot de afwatering op het toekomstige Haringvlietbekken c.a. en het Zeeuwse Meer. Van de bestaande situatie geeft tabel 18.3.1 een hoofdindeling in bemalen gebieden, gronden, die natuurlijk lozen, en tussengelegen gevallen. Op bijlage IV.4-18.3.1 vindt men deze indeling in kaart gebracht.

#### a. Kunstmatige lozing

De aanwezige bemaling zal in de meeste gevallen slechts weinig voorzieningen behoeven. De hoge buitenwaterstanden, waarbij nog water moet kunnen worden uitgeslagen, zullen blijkens onderzoekingen <sup>1)</sup> na uitvoering van de deltawerken lager worden dan thans. De gemiddelde opvoerhoogte neemt echter toe. Uitgaande van de veronderstelling, dat de bemaling gedurende het gehele getij plaats vindt, bedraagt deze toeneming op het Haringvlietbekken (Willemstad) in het winterhalfjaar gemiddeld 3 à 4 decimeter. Op het Zeeuwse Meer is de verandering afhankelijk van de peilregeling, die aldaar zal worden aangehouden. Zoals reeds werd opgemerkt, kunnen hierover nog geen definitieve mededelingen worden verstrekt.

---

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.3.

Tabel 18.3.1

Bestaand systeem van afwatering op het Haringvliet c.a. en de Zeeuwse stromen, uitgezonderd de Westerschelde

Bestaand systeem van afwatering	Oppervlakte in ha			
	Haringvliet c.a.		Zeeuwse stromen	
	Polders	Hoge gronden	Polders	Hoge gronden
<i>a.</i> Kunstmatige lozing . . . . .	57 400	—	44 500	1 100
<i>b.</i> Kunstmatige lozing op natuurlijk lozende boezem . . . . .	16 500	—	21 600	6 500
<i>c.</i> Gedeeltelijk kunstmatige lozing . . . . .	—	—	7 100	—
<i>d.</i> Natuurlijke lozing . . . . .	11 600	—	29 100	110 600
Totaal . . . . .	85 500	—	102 300	118 200

Door de toeneming van de gemiddelde opvoerhoogte zal de capaciteit van de meeste gemalen enigszins teruglopen, terwijl de bemalingskosten zullen stijgen. Ook hebben van de in tabel 18.3.1 onder *a* opgenomen bemalen gebieden, enige polders op Goeree-Overflakkee, Schouwen-Duiveland en Walcheren (met een totale oppervlakte van ca. 6700 ha), thans nog een goede mogelijkheid om het water tevens langs natuurlijke weg te lozen. Aangezien de lage laagwaterstanden, die voor een dergelijke lozing nodig zijn, als gevolg van de deltawerken komen te vervallen, zal men in de toekomst alleen op de bemaling aangewezen zijn. Aangenomen werd, dat de aanwezige bemalingscapaciteit hiervoor voldoende is. Voor zover dit duidelijk niet het geval is, zijn de gebieden gerangschikt onder *c*.

*b. Kunstmatige lozing op natuurlijk lozende boezem*

Voor zover het peil van een natuurlijk lozende boezem zonder bezwaar in overeenstemming gebracht kan worden met de stand van het buitenwater, geldt hetzelfde als onder *a* werd gesteld. Moeilijkheden ontstaan, indien de verhoging van het boezempeil min of meer ingrijpende maatregelen zou vergen. Met betrekking tot de Mark en de Dintel, de Rode Vaart, en de Rosendaalse en Steenbergse Vliet is onderzoek reeds geruime tijd gaande. Voor het overige verdienen speciaal de voorboezems, gevormd door de haven van Dirksland en die van Middelharnis en Sommelsdijk, de aandacht.

De behoefte tot het treffen van voorzieningen voor de afwatering van westelijk Noord-Brabant bestond reeds, toen er van een Deltaplan nog geen sprake was. Zo stamt het eerste uitgebreide verslag inzake de verbetering van de Mark en de Dintel en de verbinding van de Mark met de Rosendaalse en Steenbergse Vliet al uit 1936. Wel is het natuurlijk zo, dat thans de te kiezen oplossing aan de deltawerken zal moeten worden aangepast. Voor Mark en Dintel blijkt dit geen moeilijkheden te geven, indien een waterstand nabij de mond van de Dintel van N.A.P. + 0,70 m in tijden van zeer groot neerslagoverschot maar niet gedurende lange tijd wordt overschreden. Blijkens 17.1 kan hieraan zeer wel worden voldaan.

*c. Gedeeltelijk kunstmatige lozing*

Tot deze categorie moet in hoofdzaak gerekend worden het gebied van het Waterschap De Brede Watering Bewesten Ierseke, en wel een gedeelte van het ongeveer 8400 ha metende gebied ten westen van het Kanaal door Zuid-Beveland. Dit gedeelte loost voornamelijk langs natuurlijke weg. Een aanvullende bemaling is aanwezig, doch deze heeft slechts een geringe capaciteit. Aangezien de natuurlijke afwatering op de Oosterschelde na uitvoering van de deltawerken komt te vervallen en de thans aanwezige bemaling onvoldoende is om dit op te vangen, zal uitbreiding van de bemalingscapaciteit dan wel uitbreiding van de natuurlijke lozing op de Westerschelde noodzakelijk zijn.

*d. Natuurlijke lozing*

De gebieden, die thans natuurlijk lozen, zullen – voor zover het geen hoge gronden betreft – van een bemaling moeten worden voorzien. In verband met de afsluiting van Veerse Gat en Zandkreek zijn tot dit doel reeds plannen ontworpen voor de bemaling van ongeveer 11 000 ha op Noord-Beveland, Zuid-Beveland en Walcheren. Ook ten aanzien van de Biesbos zijn er plannen in voorbereiding.

## 19.0 STROOMSNELHEDEN C.A. IN DE BENEDENRIVIEREN BIJ NORMALE ZEESTANDEN

Gelijktijdig met het in 18.2 genoemde onderzoek naar de waterstanden in het deltagebied, werden ook de stroomsnelheden aan een onderzoek onderworpen. Evenals de waterstanden hebben ook de snelheden betrekking op de bestaande vormgeving der rivieren, alsmede op de situatie bij een gemiddeld getij op zee. Voor veranderingen door rivierverbeteringen, afwijkende verdelingsprogramma's van het opperwater en afwijkende getijvormen op zee zijn de stroomsnelheden echter nog veel gevoeliger dan de waterstanden. Het hieronder gegeven beknopte overzicht kan daarom slechts dienen als een eerste globale oriëntatie. Nadere onderzoekingen zijn gaande.

### 19.1 Rotterdamse Waterweg (benedenloop)

In de Rotterdamse Waterweg benedenstrooms van het splitsingspunt met de Oude Maas zal het getijvolume als gevolg van de uitvoering der deltawerken met ongeveer 30 à 40% afnemen. Het eerstgenoemde percentage geldt voor de toestand, waarbij de Oude Maas open zou blijven, het tweede voor de situatie, waarbij deze rivier is afgesloten. Verwacht mag worden, dat de eb- en vloednelheden, gemiddeld over het dwarsprofiel, met ongeveer een zelfde percentage zullen verminderen. Voor zover na uitvoering van de deltawerken meer opperwater door de Rotterdamse Waterweg tot afvloeiing wordt gebracht dan thans, zal dit uiteraard zijn secundaire invloed op de veranderingen in de stroomsnelheden bij eb en bij vloed doen gelden. Welke wijzigingen een en ander met zich zal brengen voor de snelheidsverdeling in de verticaal, is voorshands nog onzeker.

De vermindering van de stroomsnelheden in de benedenloop van de Rotterdamse Waterweg betekent een belangrijke verbetering voor het scheepvaartverkeer. Daarentegen is het niet uitgesloten, dat in de mond meer onderhoudsbaggerwerk zal moeten plaatsvinden dan thans. Nadere studie hieromtrent is nodig.

### 19.2 Rotterdamse Waterweg (bovenloop)

In de bovenloop van de Rotterdamse Waterweg, in de Nieuwe Maas en de Lek, zullen de stroomsnelheden zich niet zodanig wijzigen, dat de scheepvaart hiervan voordeel of hinder heeft.

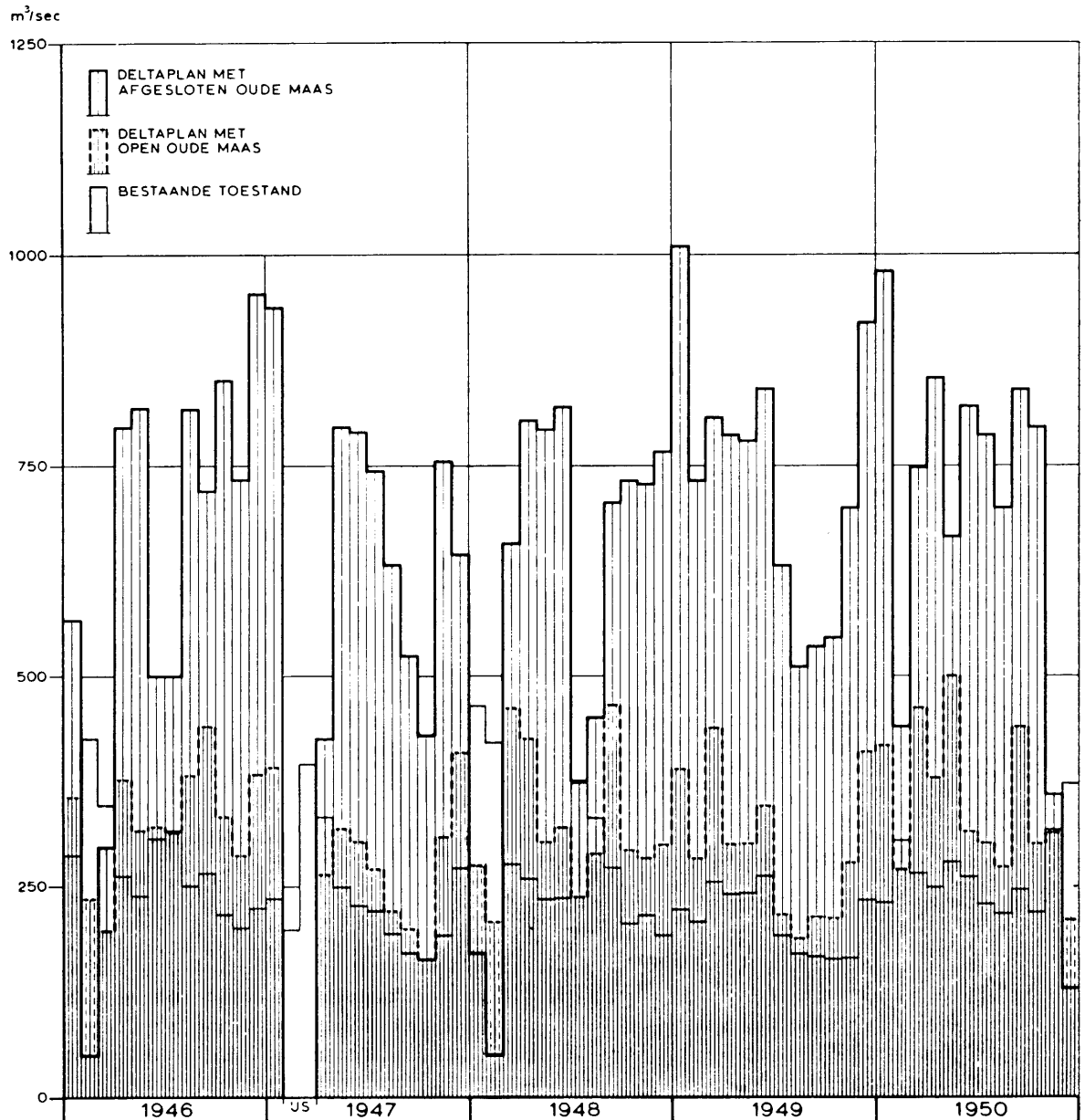
### 19.3 Noord

Aan de Noord zal in de toekomst veel aandacht moeten worden besteed. Zoals blijkt uit de in 16.0 vermelde studies, zal de rivier na uitvoering der deltawerken een grote hoeveelheid opperwater te verwerken krijgen. Hiervan geeft figuur 19.3.1 een overzicht. De gemiddelde afvoer van de Noord over een periode als van 1946 t/m 1950 bedraagt bij de bestaande natuurlijke verdeling van het opperwater circa 260 m<sup>3</sup>/sec. Na uitvoering der deltawerken zal deze hoeveelheid oplopen tot 320 m<sup>3</sup>/sec, indien de Oude Maas open blijft, en tot gemiddeld 660 m<sup>3</sup>/sec, wanneer de Oude Maas afgesloten zou zijn. In het laatste geval kunnen blijkens figuur 19.3.1 zelfs toppen voorkomen van 800 à 1000 m<sup>3</sup>/sec.

Het spreekt welhaast vanzelf, dat de ebstroomsnelheden in de Noord als gevolg van de grotere hoeveelheid af te voeren opperwater zullen worden vergroot. Aangezien de getijvulling en -lediging van het Haringvlietbekken na de uitvoering der deltawerken voor een niet onbelangrijk deel via de Noord zal moeten plaatsvinden, nemen ook de vloednelheden toe, terwijl de ebsnelheden er nog verder door zullen worden versterkt. Een overzicht van beide verschijnselen vindt men in de figuren 19.3.2. en 19.3.3 voor de toestand met afgesloten, resp. met open Oude Maas. Ter vergelijking is ook de bestaande situatie in de figuren ingetekend.

Uit de figuren 19.3.2 en 19.3.3 blijkt, dat de bestaande vloednelheden in de Noord, afhankelijk van de opperwaterafvoer, variëren tussen omstreeks 0 en 0,4 m/sec in zuidelijke of noordelijke richting, terwijl de naar het noorden gerichte ebsnelheden 0,6 à 0,7 m/sec bedragen. Na uitvoering van het Deltaplan met open Oude Maas kunnen de vloednelheden oplopen tot omstreeks 0,7 à 0,8 m/sec en de ebsnelheden tot 0,9 à 1,0 m/sec. Sluit men de Oude Maas af, dan nemen de stroomsnelheden nog belangrijk verder toe, namelijk tot maximaal bijna 1,1 m/sec bij vloed en tot circa 1,4 m/sec bij eb. Vermeldenswaard is, dat deze grote stroomsnelheden in de Noord niet optreden tijdens de weinig voorkomende zeer grote afvoeren van de bovenrivieren, doch vooral bij de meer frequente kleine afvoeren. Het is

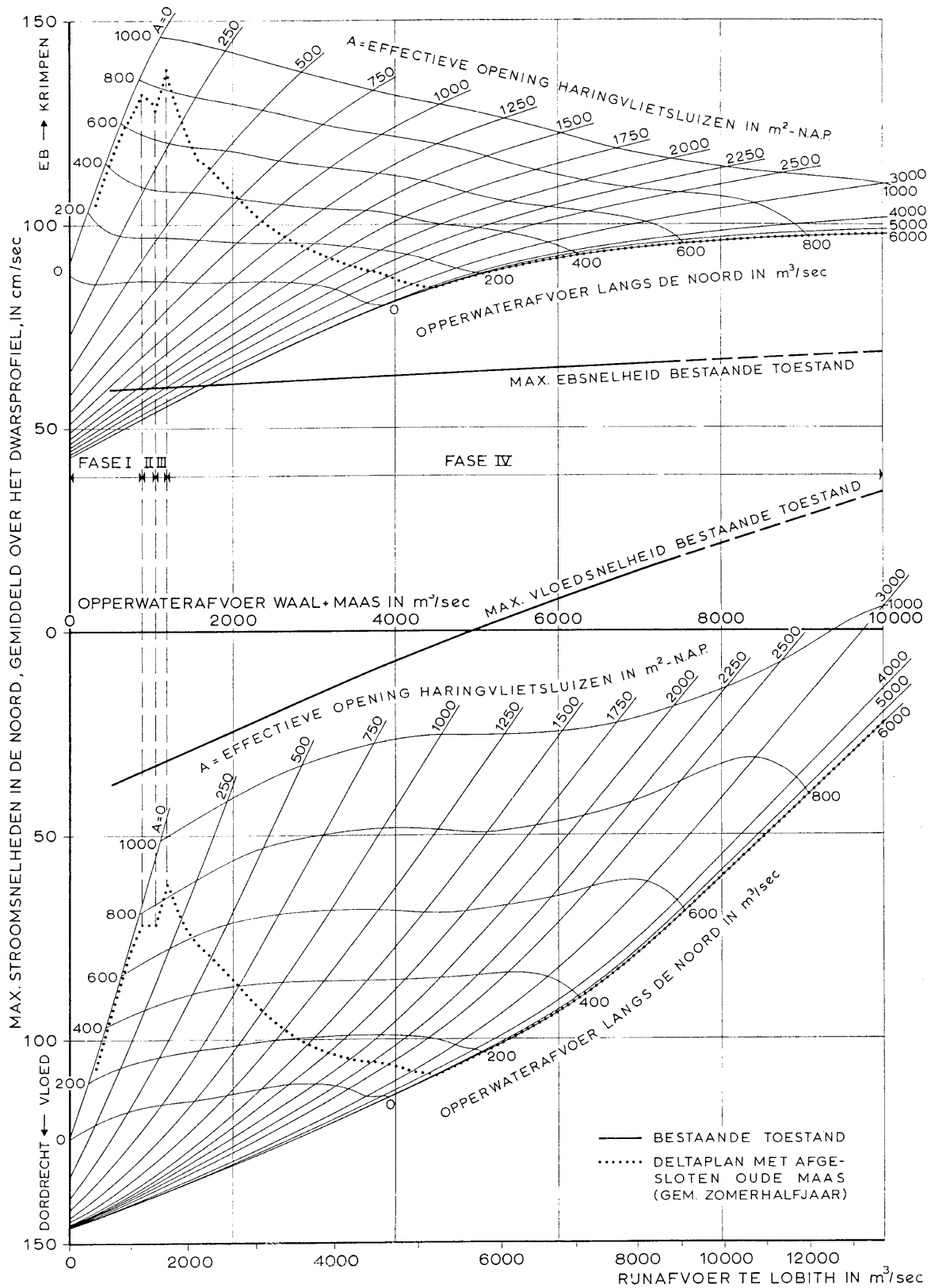




Figuur 19.3.1. Overzicht van de gemiddelde oppervlaktewaterafvoer langs de Noord over een periode als van 1946 t/m 1950, geschat voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering van de deltawerken met open en met afgesloten Oude Maas; afvoer in m<sup>3</sup>/sec

dan, zoals reeds in 16.0 is aangetoond, noodzakelijk om veel water uit het Haringvlietbekken via de Noord naar de Rotterdamse Waterweg te sturen, ten einde aldaar het zout te bestrijden. Daar het onmogelijk is om de afvoer van de Noord belangrijk te verminderen zonder de kwaliteit van het water op de Nieuwe Maas ernstig te schaden, zal men niet kunnen ontkomen aan een verhoging van de vloed- en ebstroomsnelheden op de Noord.

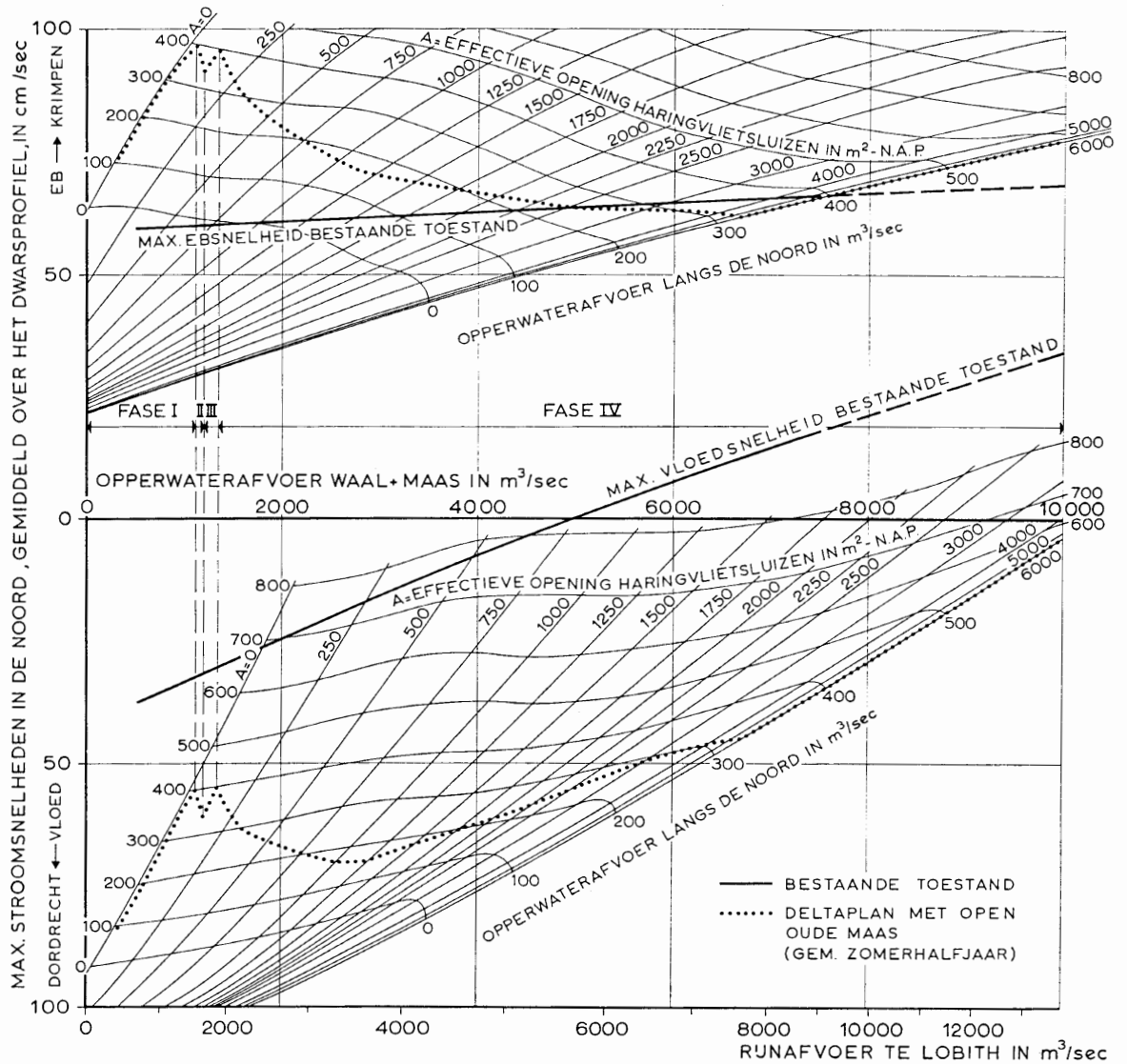
De toename van de stroomsnelheden maken het waarschijnlijk, dat de Noord zal gaan uitschuren, speciaal wanneer de Oude Maas in het kader der deltawerken wordt afgesloten. Een verruiming van de Noord zal dit euvel nauwelijks verhelpen. Zij heeft namelijk tot gevolg, dat de getijbeweging gemakkelijker tot het Haringvlietbekken kan doordringen, terwijl de middenstanden zullen dalen. De vermindering van de snelheden door een ruimer profiel wordt daardoor grotendeels teniet gedaan. Aangezien dus door een verruiming van de Noord uitschuring niet of nauwelijks tot staan zal worden gebracht,



Figuur 19.3.2. Maximale eb- en vloedsnelheden, gemiddeld over het bestaande dwarsprofiel, van de Noord nabij Alblasterdam als functie van de Rijnaflower en de afvoer van de Noord voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering der deltawerken met afgesloten Oude Maas bij een gemiddelde getijbeweging op zee en voor een gemiddeld zomerhalfjaar. De snelheden in de as van de rivier nabij de oppervlakte zijn alle circa 30% groter dan aangegeven.

verdient het aanbrengen van een bodembescherming overweging. Nader onderzoek is in dit verband noodzakelijk.

Voor de zoetwaterhuishouding is een verruiming van de Noord evenmin aantrekkelijk. De lagere middenstanden beperken namelijk de mogelijkheden tot het vormen van een waterreserve in het Zeeuwse Meer.



Figuur 19.3.3. Maximale eb- en vloodsnelheden, gemiddeld over het bestaande dwarsprofiel, van de Noord nabij Alblasterdam als functie van de Rijnaflower en de afvoer van de Noord voor de bestaande situatie, alsmede voor de toestand na uitvoering der deltawerken met open Oude Maas bij een gemiddelde getijbeweging op zee en voor een gemiddeld zomerhalfjaar. De snelheden in de as van de rivier nabij de oppervlakte zijn alle circa 30% groter dan aangegeven.

Een verruiming valt dan ook alleen te overwegen, indien dit met het oog op de veiligheid bij stormvloeden of zeer grote rivierafvoeren dan wel voor de scheepvaart noodzakelijk mocht zijn. De zeer drukke vaart op de Noord, de Dordtse Kil en de Beneden-Merwede vraagt ook voor de splitsingspunten bij Dordrecht bijzondere aandacht.

#### 19.4 Dordtse Kil

In de Dordtse Kil zal de situatie gunstiger zijn dan in de Noord. De snelheden worden in het algemeen niet groot, althans niet wanneer de Oude Maas is afgesloten. Laat men de Oude Maas open, dan zal het getij, dat door de Dordtse Kil naar het Haringvlietbekken trekt, versterkt worden. In de bovenloop van de Dordtse Kil zullen daardoor betrekkelijk grote stroomsnelheden ontstaan, die frequent voorkomen.

Bij het Deltaplan met afgesloten Oude Maas zal de Dordtse Kil zich bij grote afvoeren der bovenrivieren als een bovenrivier gaan gedragen. Een vrijwel continue stroom zal dan gedurende het gehele getij van de Beneden-Merwede door de Oude Maas bij Dordrecht en de Dordtse Kil naar het Haringvlietbekken lopen. De maximale snelheden, gemiddeld over het dwarsprofiel van de Dordtse Kil, lopen in dat geval op tot 1,0 à 1,25 m/sec en meer. Deze situatie komt echter slechts weinig voor. Zij zou te verbeteren zijn door water af te voeren via een beweegbare kering in de Oude Maas. In mindere mate zou een verruiming van de Nieuwe Merwede, waardoor het water van de Waal meer direct naar het Haringvliet zou worden afgevoerd, verbetering kunnen brengen. De laatstgenoemde maatregel heeft echter enige bezwaren in verband met de vaardiepte in de benedenloop van de Waal, wanneer de Haringvlietssluisen ten tijde van zware ijsgang geheel zouden worden geopend.

Als gevolg van de veranderingen in de stroomsnelheden op de Dordtse Kil zal deze rivier in haar bovenloop gaan uitschuren. Het is mogelijk, dat een bodembescherming nodig zal blijken.

In aansluiting op het bovenstaande dient te worden opgemerkt, dat de stroomsnelheden in de Dordtse Kil verder zullen toenemen, indien de Noord zou worden verruimd. Men kan beide rivieren dus niet onafhankelijk van elkaar in beschouwing nemen, evenmin als het mogelijk is het probleem los te maken van het al dan niet afsluiten van de Oude Maas. Men kan met recht zeggen, dat de situatie in de rivieren, gelegen tussen de Rotterdamse Waterweg en het Haringvlietbekken, de „bottle neck” vormt van het Deltaplan. Tal van onderzoeken zijn gaande om hiervoor de meest bevredigende oplossing te vinden.

#### 19.5 Oude Maas

Wanneer de Oude Maas in het kader van de deltawerken open blijft, zullen de stroomsnelheden in deze rivier niet in belangrijke mate groter worden dan thans. Wordt de Oude Maas afgesloten, dan zijn de stroomsnelheden uiteraard nog maar zeer gering. Het op diepte houden van de Oude Maas ten behoeve van de scheepvaart zal dan geen probleem meer vormen.

#### 19.6 Overige rivieren

Doordat de getijbeweging op het Haringvliet, het Hollands Diep en de Merweden, alsmede op de benedenloop van de daarop aansluitende bovenrivieren door de deltawerken nagenoeg buitengesloten wordt, zal het karakter van deze rivieren zich sterk wijzigen. Zij zullen door het ontbreken van vloedstroom gelijkenis gaan vertonen met de bovenrivieren, terwijl de stroomsnelheden in het algemeen sterk zullen verminderen. Met betrekking tot het onderhoud van de rivieren kan dit zowel gunstige als ongunstige consequenties hebben.

Aangezien speciaal het Haringvliet gedurende lange perioden uiterst kleine, alsook zeer grote oppervlaktewaterafvoeren te verwerken zal krijgen, terwijl de situatie bij ijsgang – wanneer de Haringvlietssluisen geheel geopend zijn – weer geheel anders is <sup>1)</sup>, valt uiterst moeilijk te beoordelen of een normalisatie van het Haringvliet al dan niet wenselijk zal zijn. De kans is groot, dat men verstandig zal doen om aanvankelijk geen uitgebreide normalisatiewerken te gaan uitvoeren, doch af te wachten hoe de rivier zich zal ontwikkelen. Aan de hand hiervan kan men zich in een later stadium een beter oordeel vormen of en, zo ja, welke voorzieningen zullen moeten worden uitgevoerd. Nader onderzoek is gaande en kan de bovengestelde voorlopige conclusie nog veranderen.

In de bovenmond van het Spui, nabij Oud-Beijerland, lijkt een verbetering van de instroming gewenst. Voor de toestand met gesloten Oude Maas geldt dit alleen bij hoge stormvloeden, wanneer men via de Oude Maas vloedwater uit de Rotterdamse Waterweg wil wegtrekken ter verlaging van de top-

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.5.

standen op laatstgenoemde rivier. Een sterke stroom zal dan om de hoek van de Berenplaat door het Spui naar het Haringvliet trekken. Wanneer de Oude Maas in het kader der deltawerken open blijft, zal een verbetering aan de bovenmond van het Spui ook nodig zijn in verband met de dagelijkse getijstromen, die zowel bij vloed als bij eb om de hoek van de Berenplaat heen zullen trekken.

## 20.0 SAMENVATTING VAN DE BETEKENIS DER DELTAWERKEN VOOR DE WATERHUISHOUDING

In het voorgaande werd de waterhuishouding in het zuidwesten des lands voor de toestand na uitvoering der deltawerken in beschouwing genomen, waarbij – behoudens een enkele uitzondering – de aandacht speciaal viel op de functie dezer werken in hun geheel. Een overzicht hiervan geeft 2.3. Uiteraard is het zo, dat geen der werken onafhankelijk van het andere kan worden gezien. Niettemin valt er, ook uit een oogpunt van waterhuishouding, tussen de functies der verschillende werken wel degelijk een onderscheid te maken. In de hierna volgende zeer beknopte samenvatting wordt daarom getracht de diverse aspecten van de waterhuishouding zoveel mogelijk te koppelen aan een bepaald werk of aan een groep van werken. Onderscheid zal daarbij gemaakt worden tussen enerzijds de groep van de hoofdafdammingen door het Haringvliet en die door het Brouwershavense Gat, de Oosterschelde en het Veerse Gat, en anderzijds de bijkomende werken in de Zandkreek en de Grevelingen, alsmede die in het Volkerak en de Oude Maas.

### 20.1 Hoofdafdamming door het Haringvliet met uitwateringssluizen

Het Haringvliet vormt de voornaamste afvoerweg van het opperwater en het ijs, afkomstig van Waal en Maas. Na uitvoering van de deltawerken zal het deze belangrijke functie in versterkte mate behouden. Onder de bestaande omstandigheden wordt namelijk bij grote afvoeren ook door het Volkerak opperwater afgevoerd, terwijl in strenge vorstperioden met de dan heersende wind uit noordoostelijke richtingen veel ijs door het Volkerak naar het zuiden wordt afgevoerd. Na afsluiting van het Volkerak zal het Haringvliet deze taak moeten overnemen.

Het effectieve doorstromingsprofiel van de uitwateringssluizen werd, mede met het oog op de afvoer van ijs, ontworpen op omstreeks 6000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. Voor het lozen van zeer grote opperwaterafvoeren zal deze opening gemiddeld slechts enkele dagen per jaar worden gebruikt (zie 16.1).

Doordat de uitwateringssluizen normaliter bij vloed steeds gesloten zullen zijn, komen de getijstromen op het Haringvlietbekken nagenoeg geheel te vervallen. Slechts als gevolg van de lozing van overtollig opperwater zullen stroomsnelheden van betekenis kunnen ontstaan. In het algemeen zullen de snelheden op het bekken en de aansluitende rivieren belangrijk kleiner worden dan thans, hetgeen voor het onderhoud zowel gunstige als ongunstige consequenties kan hebben. Of in verband hiermee een normalisatie van het Hollands Diep en Haringvliet wenselijk zal zijn, zal nader moeten blijken (zie 19.6). Voor een eventuele normalisatie ten behoeve van een goede afvoer van ijs wordt verwezen naar de bijdrage over het ijsbezwaar <sup>1)</sup>.

Voor de zoetwaterhuishouding zijn de Haringvlietssluisen van groot belang, omdat men daarmee de afvoer langs het Haringvliet kan beperken. Hierdoor komt meer rivierwater ter beschikking voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg en het Zeeuwse Meer. De gemiddelde opening van de sluisen zal vermoedelijk slechts 300 à 400 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. bedragen, terwijl het kunstwerk in perioden van grote waterschaarste – zoals in 1947 en 1949 – gedurende tal van maanden geheel of nagenoeg geheel gesloten zal zijn (zie 16.1 en 16.2).

Ten einde het zoutbezwaar op het Haringvlietbekken zoveel mogelijk te beperken, dienen de beweegbare keringen in de Haringvlietssluisen van een goede dichting te worden voorzien, terwijl men er bij de constructie tevens naar zal streven om golfoverslag, althans bij niet te zware zomerstormen, te vermijden (zie 10.2).

Het verdient aanbeveling om in het kunstwerk één of meer riolen te construeren, waardoor het zeewater, dat ondanks de bovengestelde voorzorgen toch nog tot het bekken zal doordringen, uit de

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.5.

diepe lagen, die het meeste zout zullen bevatten, kan worden weggetrokken. Hierdoor wordt bereikt, dat de bestrijding van lek- en schutzout in tijden van waterschaarste slechts zeer weinig opperwater behoeft te kosten (zie 10.1).

## 20.2 Hoofdafdammingen door het Brouwershavense Gat, de Oosterschelde en het Veerse Gat

Evenals de afsluiting van het Haringvliet hebben ook de hoofdafdammingen door het Brouwershavense Gat, de Oosterschelde en het Veerse Gat voor de zoetwaterhuishouding grote betekenis omdat zij het zeewater buitensluiten. Hierdoor wordt het mogelijk de achtergelegen wateren te ontzilten en voor de watervoorziening ten behoeve van agrarische, huishoudelijke en industriële doeleinden in te schakelen.

Voor de ontzilting van de afgesloten zeearmen en ook om deze nadien zoet te houden, is doorspoeling met rivierwater noodzakelijk. Hiertoe dient water via het Volkerak te worden ingelaten en nabij de hoofdafdammingen te worden geloosd (zie 11.4 en 11.5). Ten einde de hoeveelheid doorspoelingswater zoveel mogelijk te beperken, verdient het aanbeveling om de lozingswerken zodanig te construeren, dat zij het water onder uit de diepe geulen zullen onttrekken (zie 11.4). De totale capaciteit der lozingsmiddelen dient met het oog op de doorspoeling minstens 200 m<sup>3</sup>/sec te bedragen (zie 11.5). Voor de lozing van grote neerslagoverschotten is deze capaciteit meer dan voldoende (zie 17.3). Het vraagstuk hangt overigens samen met de inrichting en peilregeling van het meer, waarover – in afwachting van nadere studie – slechts voorlopige gegevens kunnen worden verstrekt (zie 17.1).

Aangezien de natuurlijke zoutbelasting van het Zeeuwse Meer als gevolg van het zoute grondwater, dat in de diepgelegen polders omhoog kwelt en op het meer wordt uitgeslagen, aanvankelijk zeer hoog zal zijn en aan een goed waterbeheer zware eisen stelt, dienen andere zoutbronnen zoveel mogelijk te worden geweerd. Uit een oogpunt van zoetwaterhuishouding moet het daarom worden ontraden schutsluizen in de dammen door het Brouwershavense Gat, de Oosterschelde en het Veerse Gat aan te leggen. Hierdoor zou namelijk veel extra zout op het meer worden gebracht, dat daaruit moeilijk is te verwijderen. Speciale voorzieningen zullen voorts getroffen moeten worden om het schutzout bij Vlissingen of Vere en bij Hansweert te bestrijden (zie 11.1).

Door de afsluiting der zeegaten zullen de hoogwaterstanden in de achtergelegen wateren lager zijn dan thans. De laagwaterstanden zullen evenwel belangrijk stijgen. Op het Zeeuwse Meer zal de getijbeweging zelfs geheel komen te vervallen. Aanpassingswerken dienen te worden uitgevoerd, onder meer om een goede afwatering van polders en hoge gronden te verzekeren (zie 18.3).

## 20.3 Dammen door de Grevelingen en de Zandkreek

Na voltooiing der deltawerken hebben de dammen door de Grevelingen en de Zandkreek voor de waterhuishouding betekenis, voor zover een afzonderlijke peilregeling voor deze bekkens voordeel zou kunnen bieden. Doorlaatmiddelen dienen in de dammen aanwezig te zijn om de beide zeearmen te kunnen doorspoelen.

## 20.4 Dam door het Volkerak

Zodra de werken in Haringvliet en Volkerak zijn voltooid, kunnen de benedenrivieren worden ontzilt, kan de zoutgrens op de Rotterdamse Waterweg worden teruggedrongen en kan de kanalisatie van Neder-Rijn en Lek volledig in werking worden gesteld.

In het voltooide Deltaplan zijn de werken in het Volkerak van groot belang ter verkrijging van het afsluitbare Zeeuwse Meer. Dit meer kan grote verschillen in aangevoerde en daaraan te onttrekken waterhoeveelheden opvangen. In tijden van waterschaarste kan aan het meer water worden ontleend, zonder dat dit ten koste van het waterverbruik voor zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg of elders in het deltagebied behoeft te gaan (zie 16.1).

Aangezien men bij de voorziening van oppervlakte-water in Nederland in sterk overwegende mate is aangewezen op buitenlandse bronnen, i.c. op de Rijn en de Maas, gaat de betekenis van het scheppen van watervoorraden (en daarmee ook van de aanleg van de Volkerakdam) uit boven het hiervoor beschreven normale gebruik van een dergelijke voorraad in tijden van waterschaarste (zie 2.2 en 2.3).

De afsluiting van het Volkerak voorkomt, dat het eenmaal ontzilte Zeeuwse Meer met zout zou worden bezwaard, wanneer de Haringvlietssluisen in perioden van zware ijsgang zowel bij eb als bij

vloed geheel geopend zouden moeten worden. Een watervoorraad in het Zeeuwse Meer is dan gewenst om zout lek- en schutwater bij de toegangen tot dit meer te kunnen blijven bestrijden, alsmede om bij het invallen van de dooi in het Volkerak opgewaaid ijs door de sluisen in de Volkerakdam naar het Haringvliet te kunnen spuien (zie 17.1).

De afsluiting van het Volkerak komt in ijsperioden tevens ten goede aan de afvoer van drijfijis op het Haringvliet <sup>1)</sup>.

Ten slotte bevordert de afsluiting van het Volkerak de mogelijkheden tot een goede regeling van de oppervlaktverdeling over de benedenrivieren. Zolang namelijk het Zeeuwse Meer in open verbinding staat met het Haringvlietbekken en de daarop aansluitende rivieren, zal een grote naijling ontstaan bij het verhogen en verlagen der middenstanden op het Haringvliet, telkens als men de oppervlaktafvoer naar de Rotterdamse Waterweg wil vermeerderen of verminderen of deze bij een wisselend zeeniveau constant wil houden (zie 16.3).

In de Volkerakdam dienen stroomsluisen te worden geprojecteerd, ten einde het Zeeuwse Meer met water uit het Haringvlietbekken te kunnen voeden. Een effectief doorstromingsprofiel van circa 500 m<sup>2</sup> lijkt voor de zoetwaterhuishouding wel voldoende (zie 17.3).

Behalve voor de zoetwaterhuishouding zullen de stroomsluisen o.m. ook een functie kunnen krijgen, waar het er om gaat bij hoge standen op het Haringvlietbekken water af te laten naar het Zeeuwse Meer. Bij het dimensioneren van de Volkeraksluisen zal men hierop bedacht dienen te zijn (zie de bijdrage over het ijsbezwaar <sup>1)</sup> en ook 17.1).

## 20.5 Afsluiting van de Oude Maas

Voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg, benedenstrooms van het punt van samenkomen van Oude en Nieuwe Maas, doet het betrekkelijk weinig ter zake uit welke van de beide riviertakken het zoete oppervlakt wordt aangevoerd. Bovenstrooms van dit punt echter, op de Nieuwe Maas, maakt het voor het terugdringen van zeewater wel degelijk verschil of het oppervlakt uit de Oude Maas komt – waardoor het zoutafvoerend vermogen van dit oppervlakt in hoofdzaak beperkt blijft tot de benedenloop van de Rotterdamse Waterweg – of dat het afstroomt door de Nieuwe Maas zelf. In het laatste geval doet de gunstige invloed van het oppervlakt zich immers over de gehele lengte van de rivier gevoelen (zie 9.4).

Gaat men uit van een bepaald chloridegehalte, dat men op de Nieuwe Maas ten behoeve van de landbouw, de drinkwatervoorziening en de industrie wil trachten te handhaven, dan volgt uit het bovenstaande, dat men tegenover het opdringende zeewater in totaal minder oppervlakt behoeft te stellen, wanneer men de Oude Maas afsluit, dan wanneer men de Oude Maas open zou laten. Het geschatte verschil is zo groot, dat men alleen al hieruit in de gemiddelde waterbehoefte voor de landbouw enz. in geheel Zuidwest-Nederland, alsmede in de waterbehoefte voor doorspoeling van dit gebied en in die voor zoutbestrijding op het Haringvlietbekken en het Zeeuwse Meer, zou kunnen voorzien (zie 9.4).

Naarmate het chloridegehalte van het oppervlakt, i.c. van de Rijn, hoger is, wordt het bovenbedoelde verschil tussen de toestand met open en met afgesloten Oude Maas nog markanter (zie 9.4).

Gelet op het bovenstaande, zal het voor de zoetwatervoorziening van Zuidwest-Nederland en in het bijzonder voor die gebieden, die hun water uit de Nieuwe Maas betrekken, van groot voordeel zijn, wanneer de Oude Maas in tijden van waterschaarste, dat wil zeggen bij Rijnafoeren, kleiner dan 1600 à 1900 m<sup>3</sup>/sec, kan worden afgesloten (zie 16.2).

Door een afsluiting van de Oude Maas wordt in het kader der deltawerken tevens bereikt, dat men op het Haringvlietbekken een hoger peil zal kunnen handhaven dan in het geval dat de Oude Maas open zou blijven. Het verschil bedraagt gemiddeld verscheidene decimeters, hetgeen voor het in stand houden van een waterreserve in het Zeeuwse Meer van belang moet worden geacht (zie 18.1 en 17.2).

Een afsluiting van de Oude Maas heeft als nadeel, dat de scheepvaart in deze rivier zal moeten schutten. Daartegenover staat, dat de getijbeweging op de rivier zeer sterk zal afnemen, waardoor o.m. ook het op diepte houden geen moeilijkheden meer zal opleveren (zie 19.5).

Voor de bestrijding van schutzout op de afgesloten Oude Maas dienen speciale voorzieningen te worden getroffen (zie 10.3).

---

<sup>1)</sup> Zie Bijdrage IV.5.

De stroomsnelheden in de Noord zullen als gevolg van een afsluiting van de Oude Maas belangrijk toenemen. Zij vormen één van de problemen, die in het kader van het Deltaplan nog nader worden onderzocht. Ook indien de Oude Maas open blijft, zullen in de Noord waarschijnlijk rivierwerken moeten worden uitgevoerd (zie 19.3).

De normale stroomsnelheden in de Dordtse Kil zullen bij afsluiting van de Oude Maas kleiner zijn dan bij open Oude Maas. Bij grote rivierafvoeren echter verdienen de stroomsnelheden in de Dordtse Kil speciaal voor de toestand met afgesloten Oude Maas de volle aandacht. Rivierwerken zijn wellicht nodig (zie 19.4).

Eventuele werken in Noord, Dordtse Kil en Oude Maas zal men in onderlinge samenhang dienen te bezien (zie 19.4).

#### **20.6 Stormvloedkering in de Hollandse IJssel**

De stormvloedkering nabij de mond van de Hollandse IJssel, die bij normale getijomstandigheden open zal staan, is voor de waterhuishouding van weinig belang.

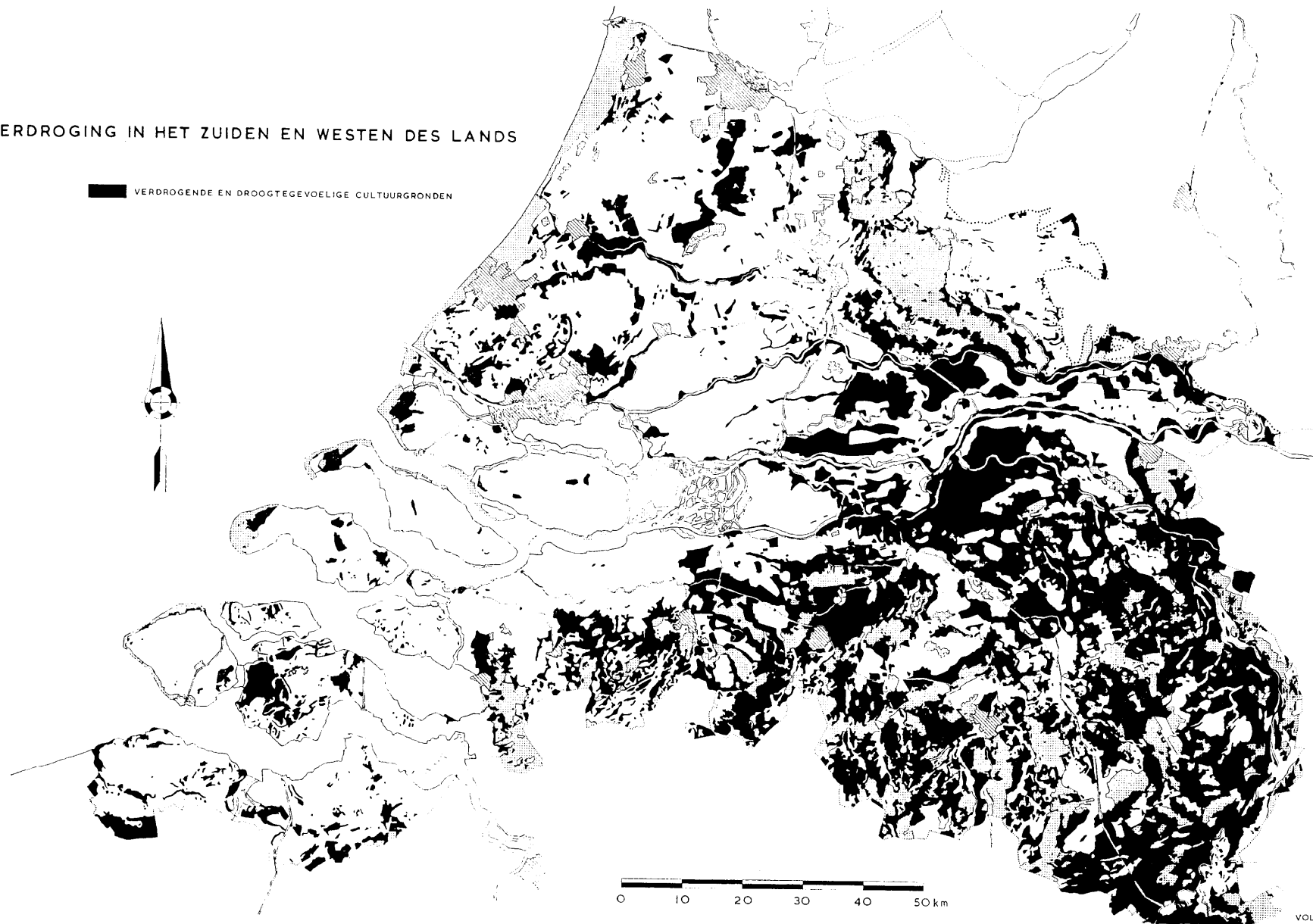
Een uitzondering hierop zou kunnen zijn, wanneer men bij uitzonderlijk kleine oppervlatafvoeren de stormvloedkering telkenmale omstreeks hoogwater zou sluiten om daarmee hoge chloridegehalten te weren (zie 9.4).

Een algehele afsluiting van de Hollandse IJssel zal voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg geen gunstige invloed van betekenis hebben (zie 9.4).



# VERDROGING IN HET ZUIDEN EN WESTEN DES LANDS

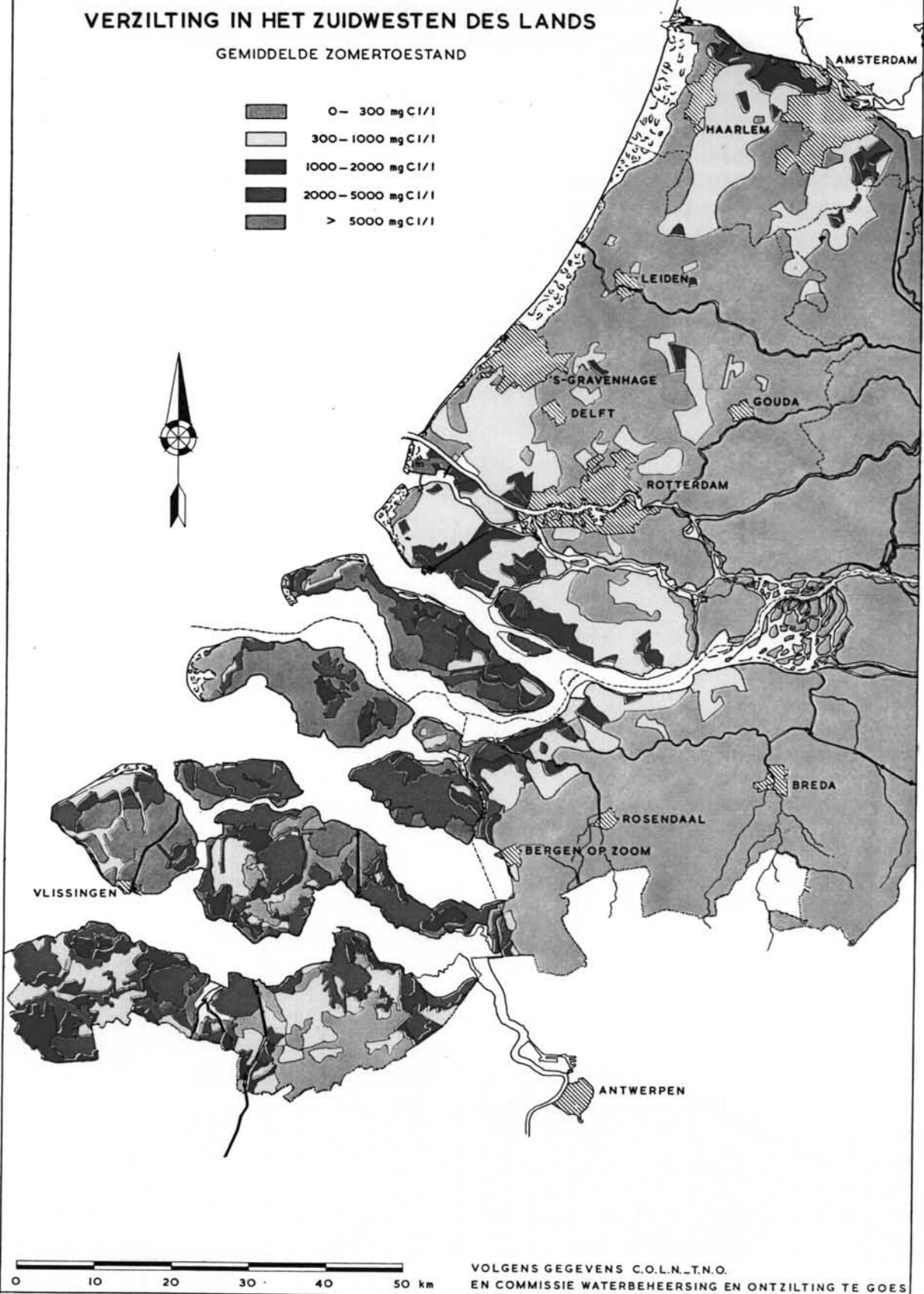
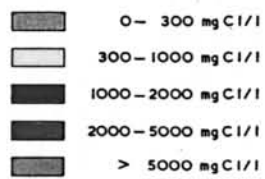
■ VERDROGENDE EN DROOGTEGEVOELIGE CULTUURGRONDEN



VOLGENS GEGEVENS C.O.L.N.

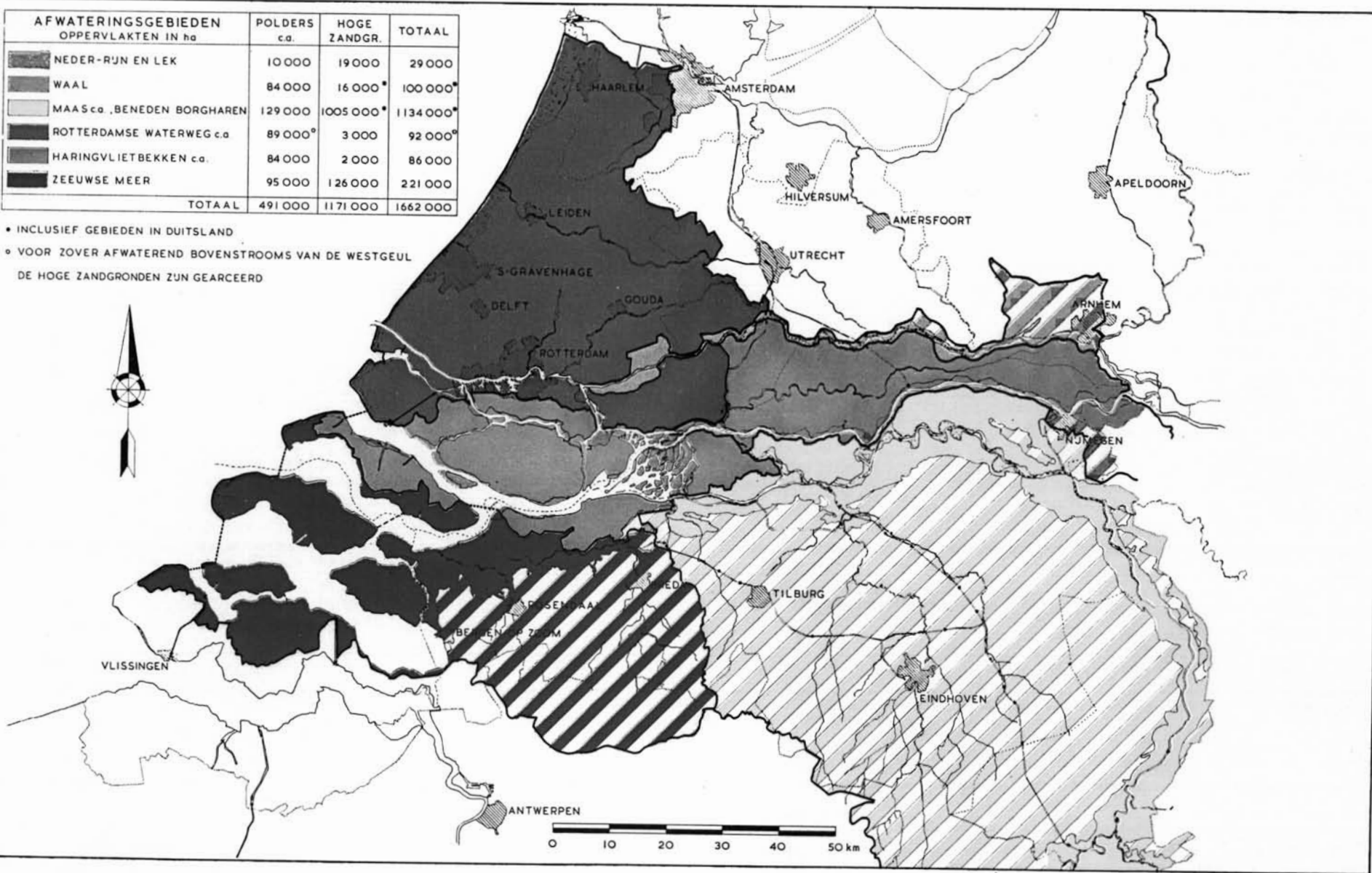
# VERZILTING IN HET ZUIDWESTEN DES LANDS

GEMIDDELTE ZOMERTOESTAND



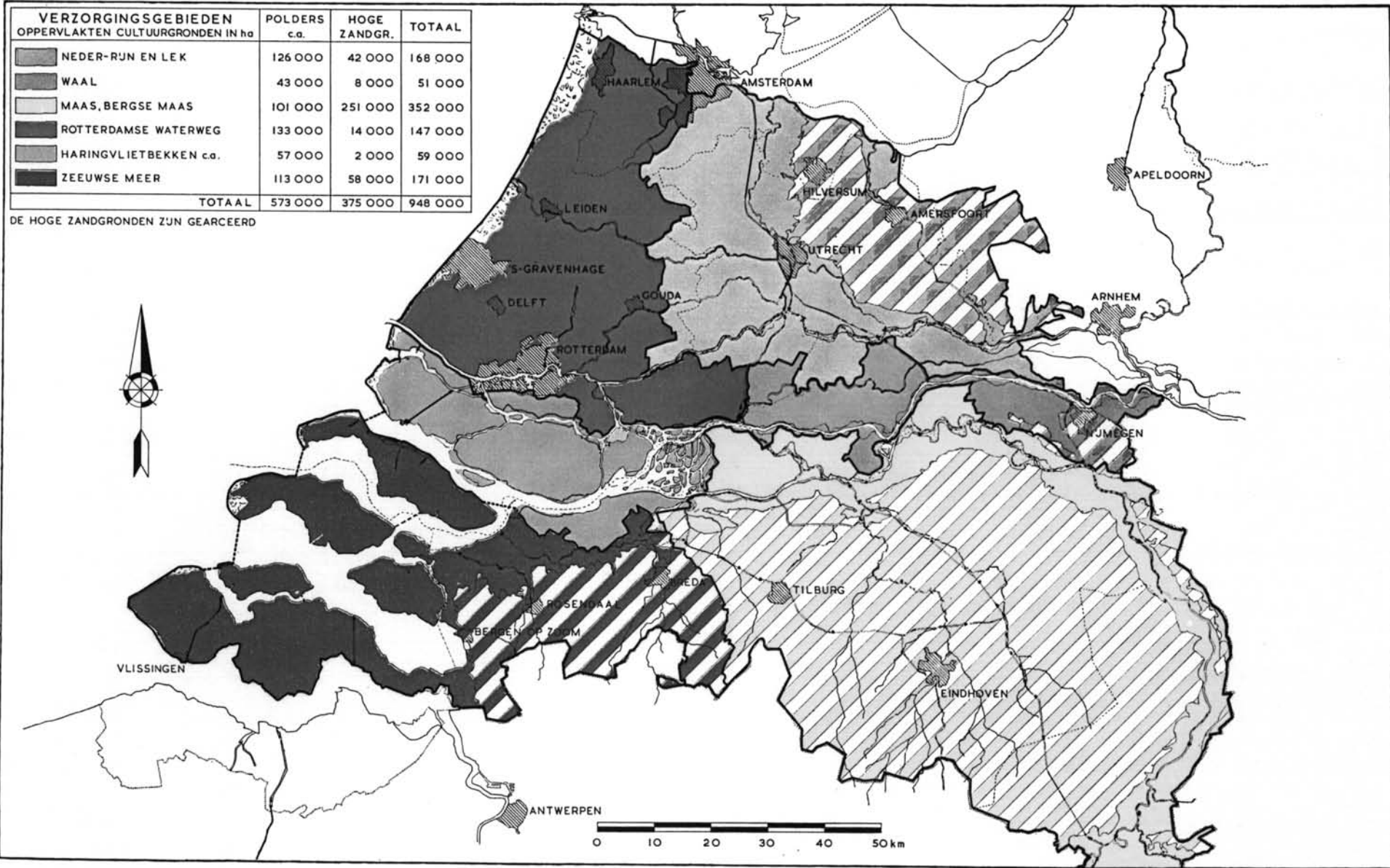
AFWATERINGSGBIEDEN OPPERVLAKTEN IN ha	POLDERS c.a.	HOG ZANDGR.	TOTAAL
NEDER-RIJN EN LEK	10 000	19 000	29 000
WAAL	84 000	16 000*	100 000*
MAAS ca. ,BENEDEN BORGHAREN	129 000	1005 000*	1134 000*
ROTTERDAMSE WATERWEG c.a.	89 000 <sup>o</sup>	3 000	92 000 <sup>o</sup>
HARINGVLIETBEKKEN c.a.	84 000	2 000	86 000
ZEEUWSE MEER	95 000	126 000	221 000
TOTAAL	491 000	1171 000	1662 000

- INCLUSIEF GEBIEDEN IN DUITSLAND
- VOOR ZOVER AFWATEREND BOVENSTROOMS VAN DE WESTGEUL DE HOG  
ZANDGRONDEN ZUN GEARCEERD



VERZORGINGSGBIEDEN OPPERVLAKTEN CULTUURGRONDEN IN ha	POLDERS c.a.	HOGЕ ZANDGR.	TOTAAL
NEDER-RIJN EN LEK	126 000	42 000	168 000
WAAL	43 000	8 000	51 000
MAAS, BERGSE MAAS	101 000	251 000	352 000
ROTTERDAMSE WATERWEG	133 000	14 000	147 000
HARINGVLIETBEKKEN c.a.	57 000	2 000	59 000
ZEEUWSE MEER	113 000	58 000	171 000
<b>TOTAAL</b>	<b>573 000</b>	<b>375 000</b>	<b>948 000</b>









DE HOGЕ ZANDGRONDEN ZIJN GEARCEERD

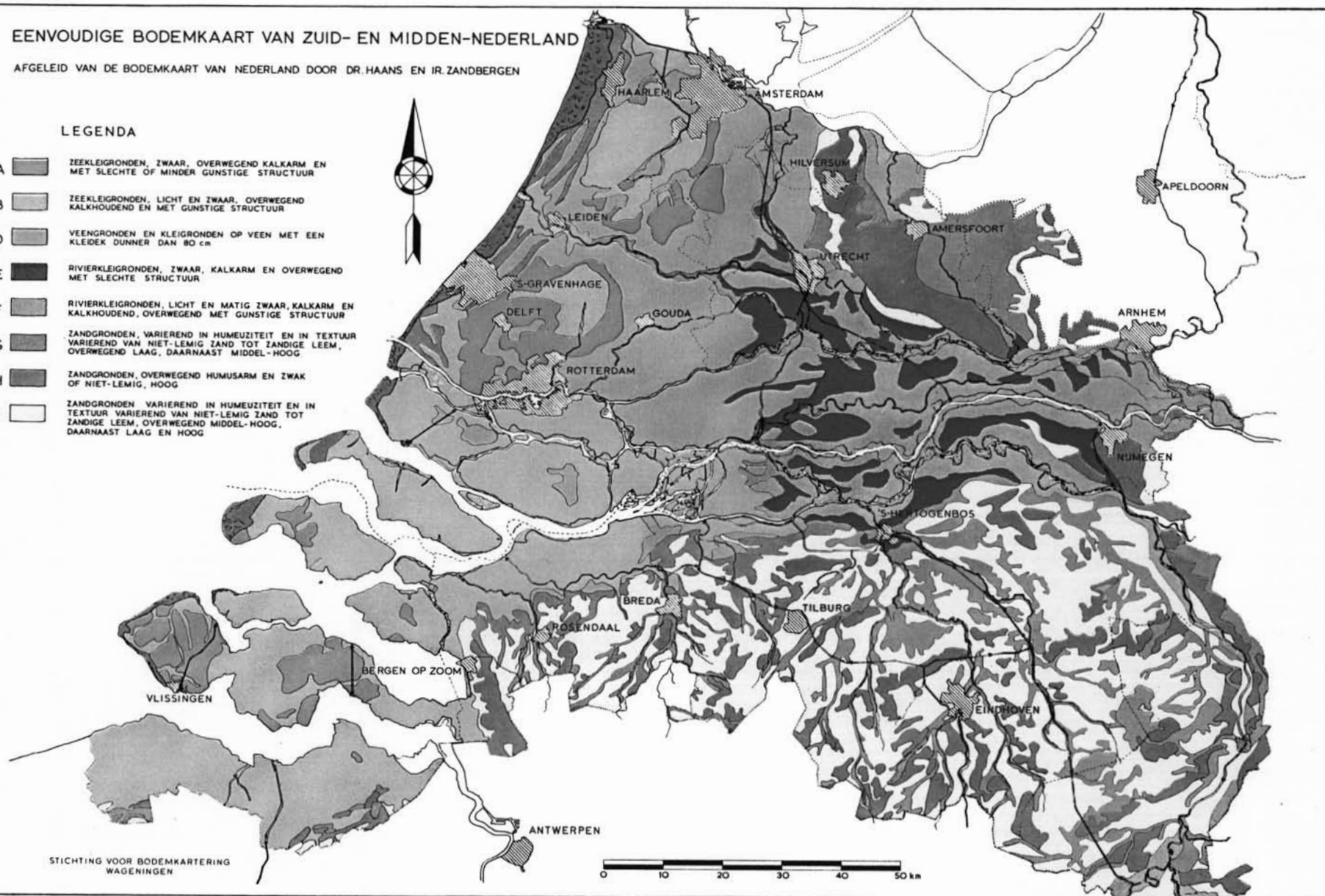


# EENVOUDIGE BODEMKAART VAN ZUID- EN MIDDEN-NEDERLAND

AFGELEID VAN DE BODEMKAART VAN NEDERLAND DOOR DR. HAANS EN IR. ZANDBERGEN

## LEGENDA

- A  ZEEKLEIGRONDEN, ZWAAR, OVERWEGEND KALKARM EN MET SLECHTE OF MINDER GUNSTIGE STRUCTUUR
- B  ZEEKLEIGRONDEN, LICHT EN ZWAAR, OVERWEGEND KALKHOUDEND EN MET GUNSTIGE STRUCTUUR
- D  VEENGRONDEN EN KLEIGRONDEN OP VEEN MET EEN KLEIDEK DUNNER DAN 80 cm
- E  RIVIERKLEIGRONDEN, ZWAAR, KALKARM EN OVERWEGEND MET SLECHTE STRUCTUUR
- F  RIVIERKLEIGRONDEN, LICHT EN MATIG ZWAAR, KALKARM EN KALKHOUDEND, OVERWEGEND MET GUNSTIGE STRUCTUUR
- G  ZANDGRONDEN, VARIEREND IN HUMEUZITEIT EN IN TEXTUUR VARIEREND VAN NIET-LEMIG ZAND TOT ZANDIGE LEEM, OVERWEGEND LAAG, DAARNAAST MIDDEN-HOOG
- H  ZANDGRONDEN, OVERWEGEND HUMUSARM EN ZWAK OF NIET-LEMIG, HOOG
- I  ZANDGRONDEN VARIEREND IN HUMEUZITEIT EN IN TEXTUUR VARIEREND VAN NIET-LEMIG ZAND TOT ZANDIGE LEEM, OVERWEGEND MIDDEN-HOOG, DAARNAAST LAAG EN HOOG

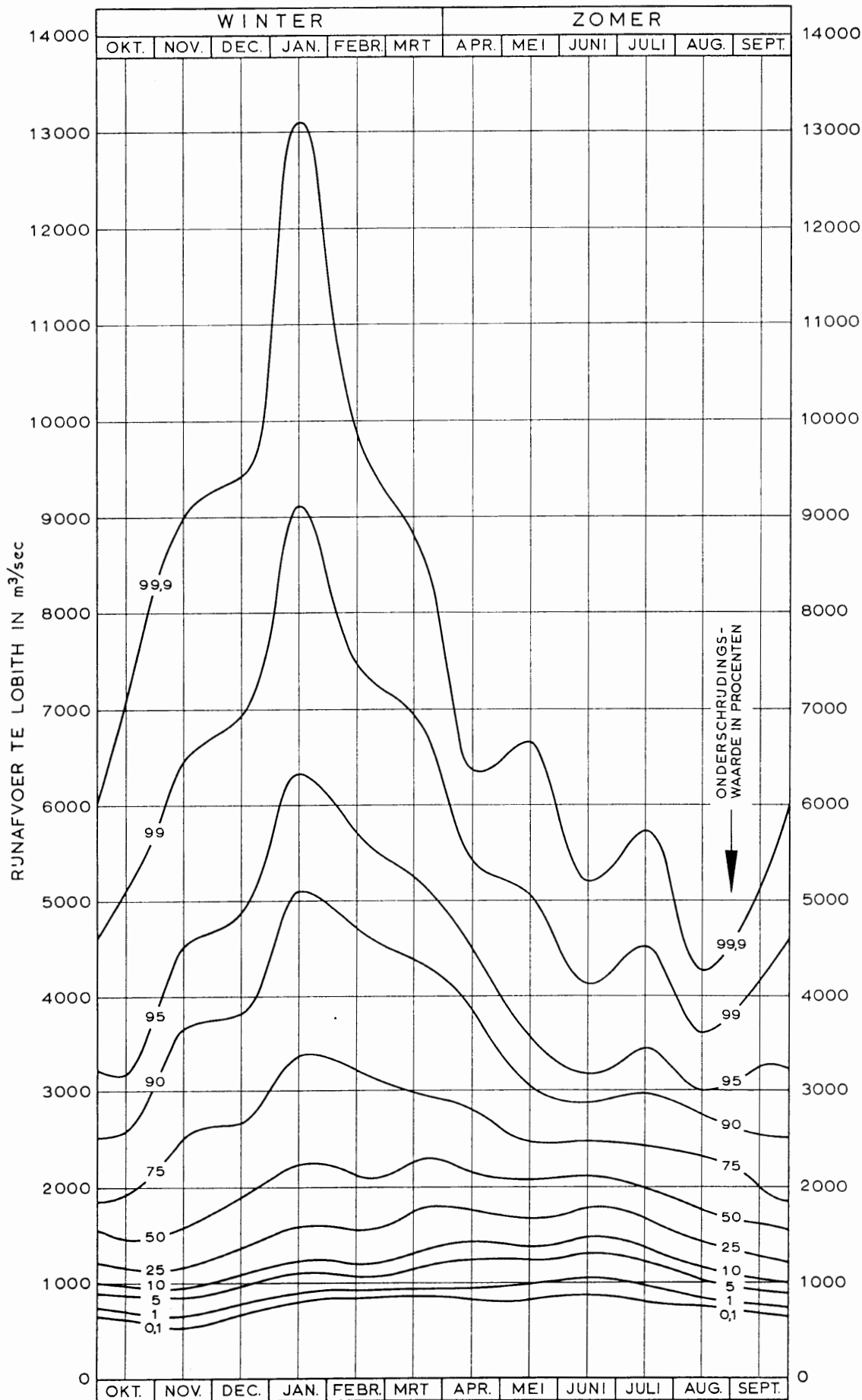


STICHTING VOOR BODEMKARTERING  
WAGeningen



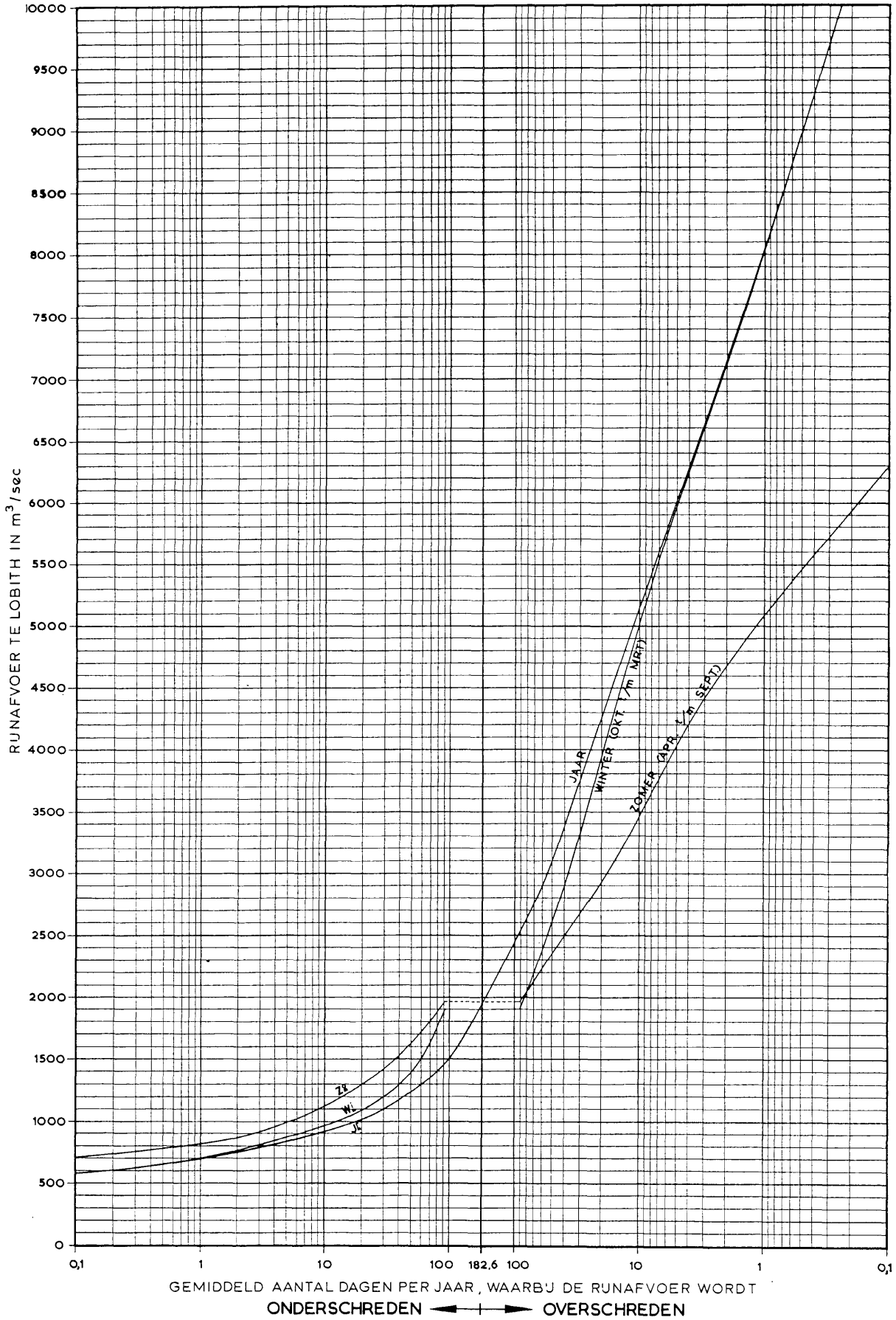
# LUNEN VAN GELIJKE CUMULATIEVE FREQUENTIE VAN DE DAGELIJKSE RIJNAFVOEREN TE LOBITH

BEPAALD UIT DE 8<sup>h</sup>-AFVOEREN OVER DE JAREN 1901-1950



CUMULATIEVE FREQUENTIEKROMMEN VAN DE DAGELIJKE RUNAFVOER  
TE LOBITH VOOR ZOMERHALFJAAR, WINTERHALFJAAR EN JAAR

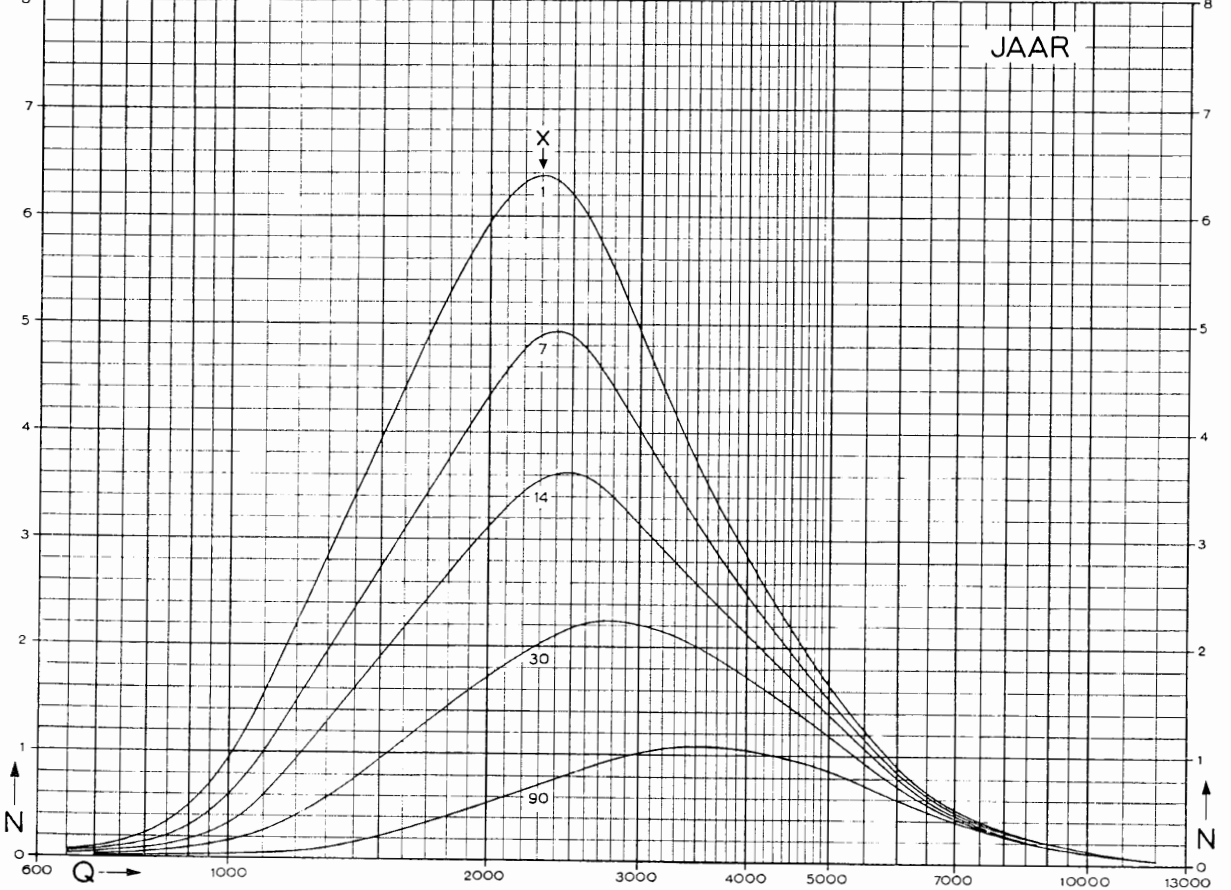
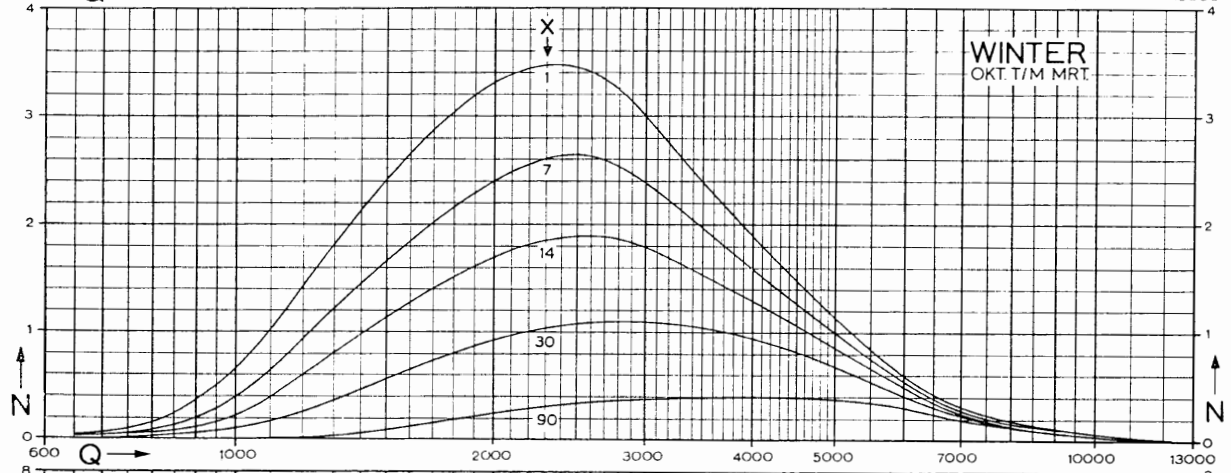
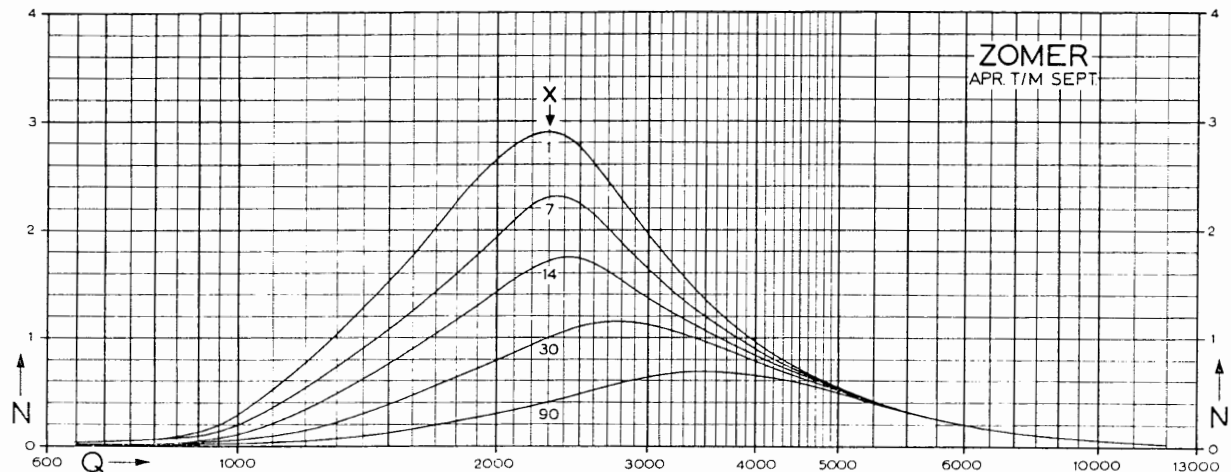
BEPaald UIT DE 8<sup>h</sup>- AFVOEREN OVER DE JAREN 1901-1950



Cumulative frequenties Rijn

Bijlage IV.4 - 6.1.2

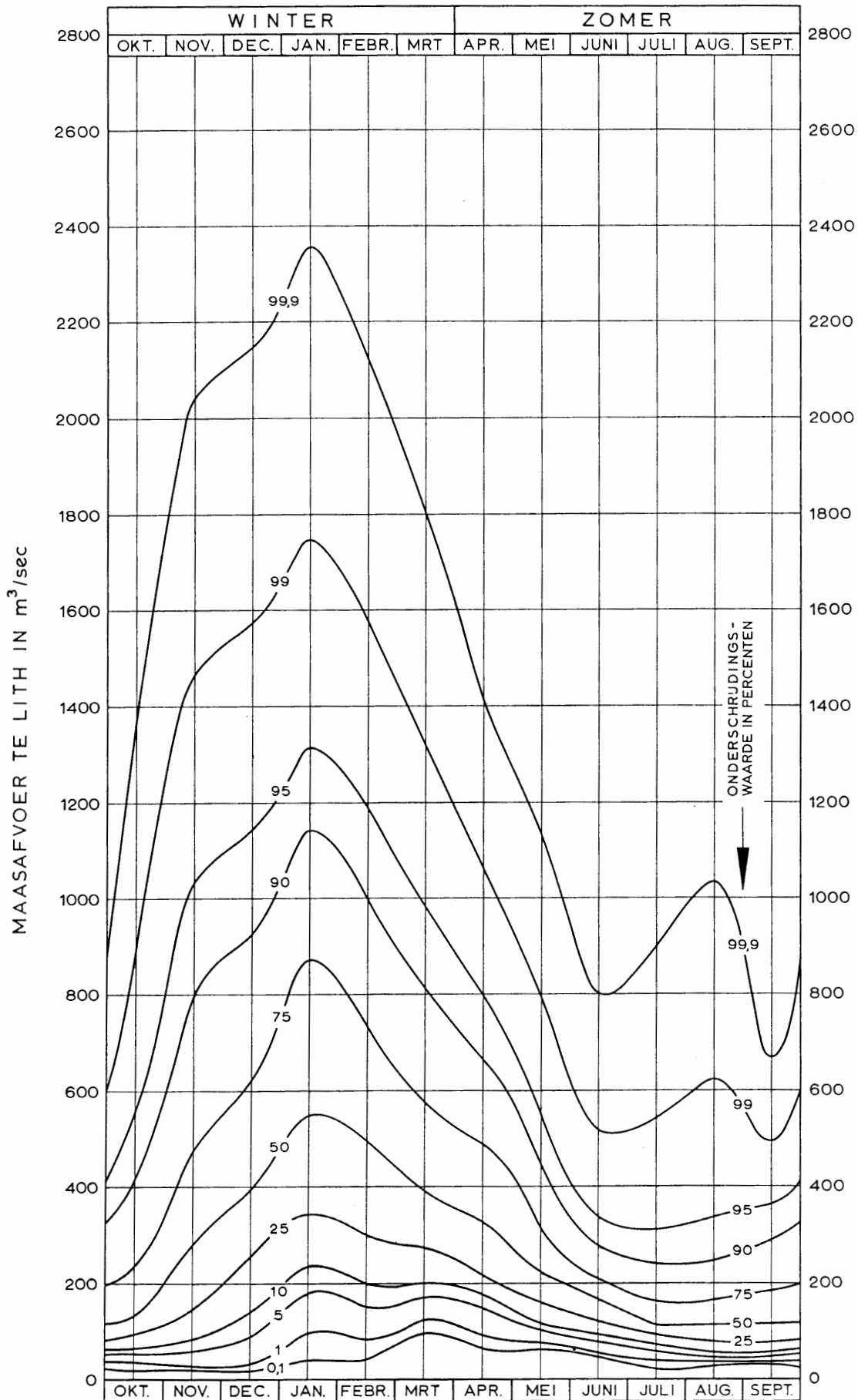
GEMIDDELD AANTAL GROEPEN  $N$  PER JAAR, WAARBIJ EEN RIJNAFVOER  
 VAN  $Q \text{ m}^3/\text{sec}$  GEDURENDE  $X$  OF MEER ACHTEREENVOLGENDE DAGEN WORDT ONDERSCHREDEN.





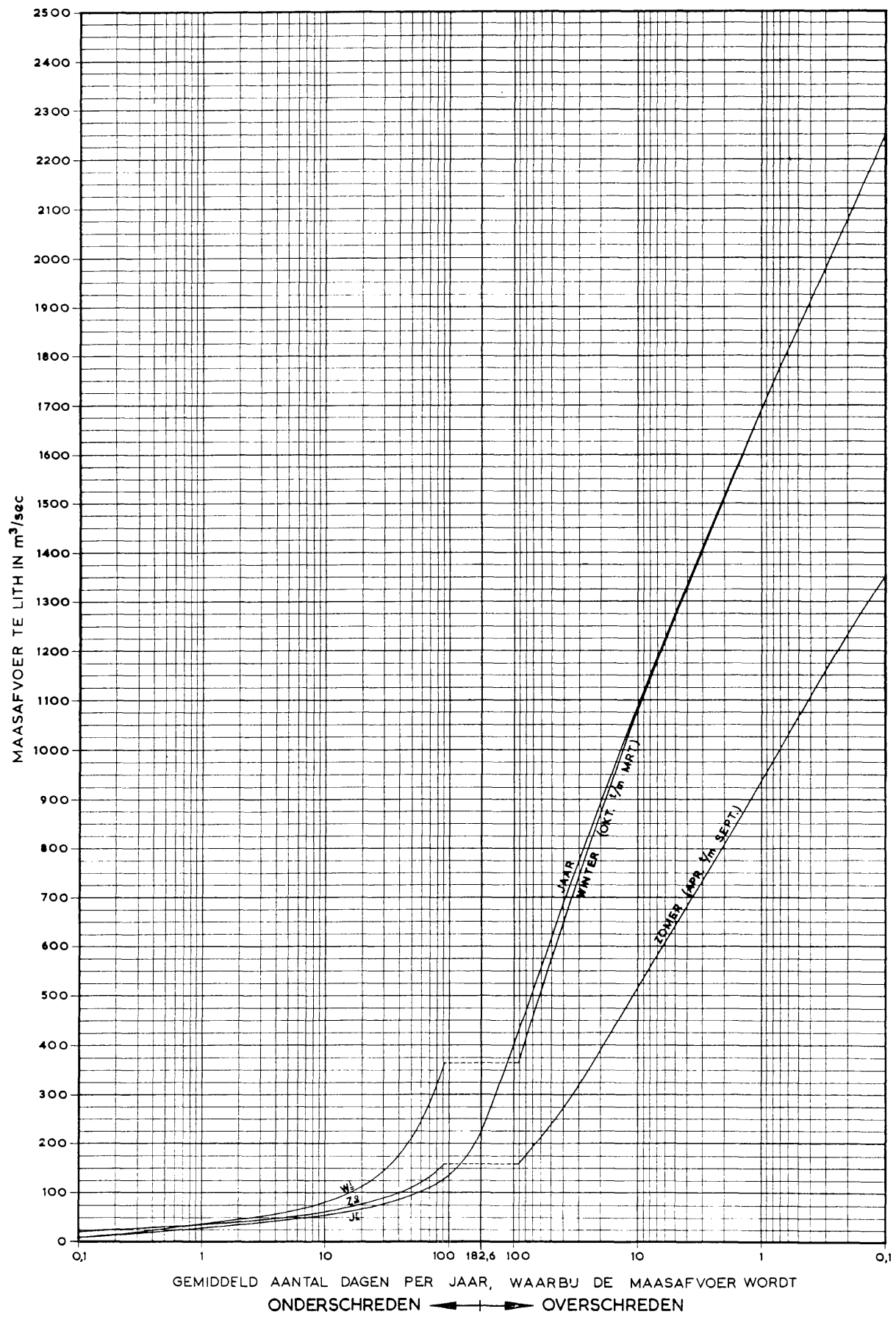
# LIJNEN VAN GELIJKE CUMULATIEVE FREQUENTIE VAN DE DAGELIJKE MAASAFVOEREN TE LITH

BEPaald UIT DE 8<sup>h</sup>-AFVOEREN OVER DE JAREN 1916-1956

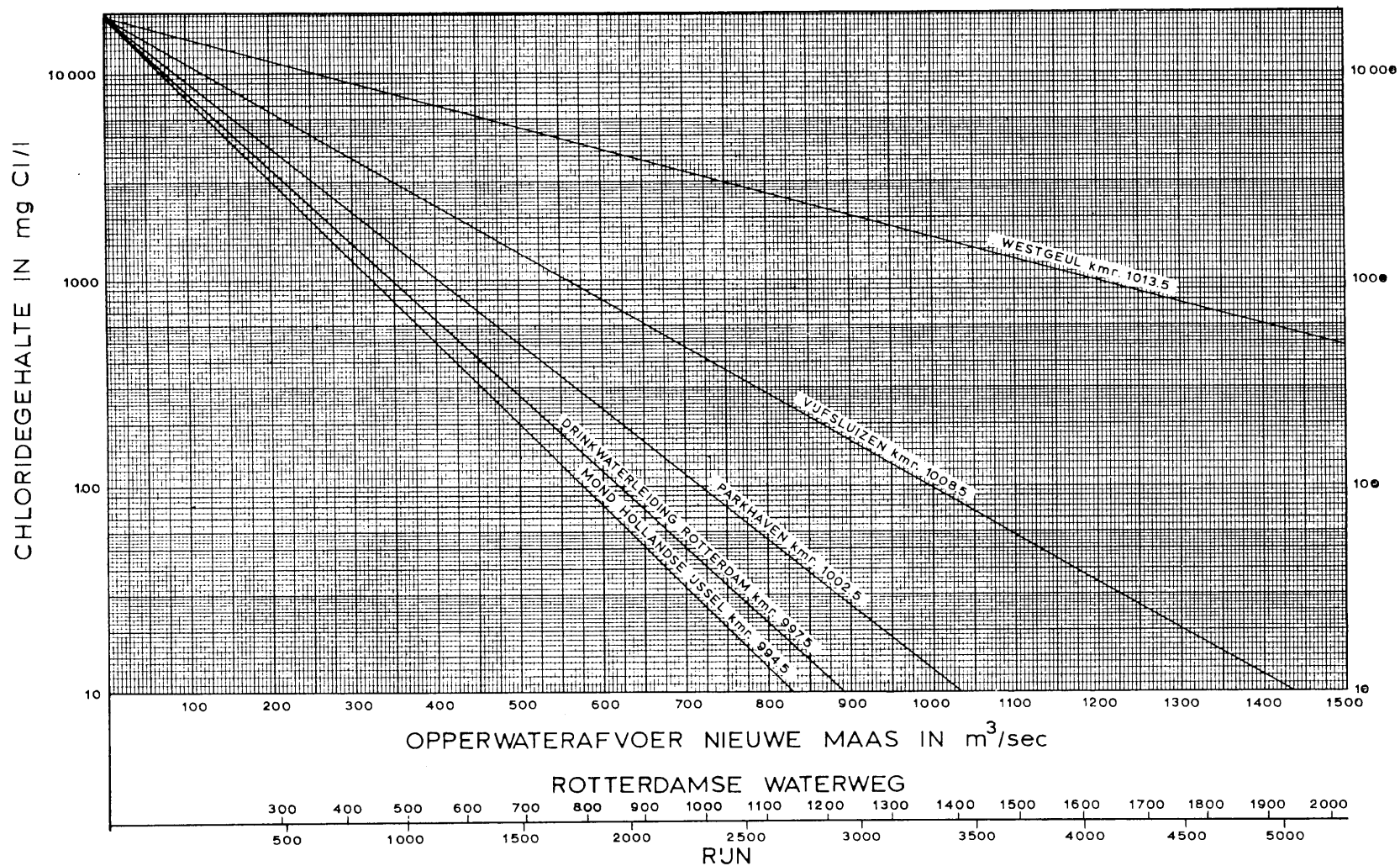


# CUMULATIEVE FREQUENTIEKROMMEN VAN DE DAGELIJKE MAASAFVOER TE LITH VOOR ZOMERHALFJAAR, WINTERHALFJAAR EN JAAR.

BEPaald UIT DE 8<sup>n</sup>-AFVOEREN OVER DE JAREN 1916-1956

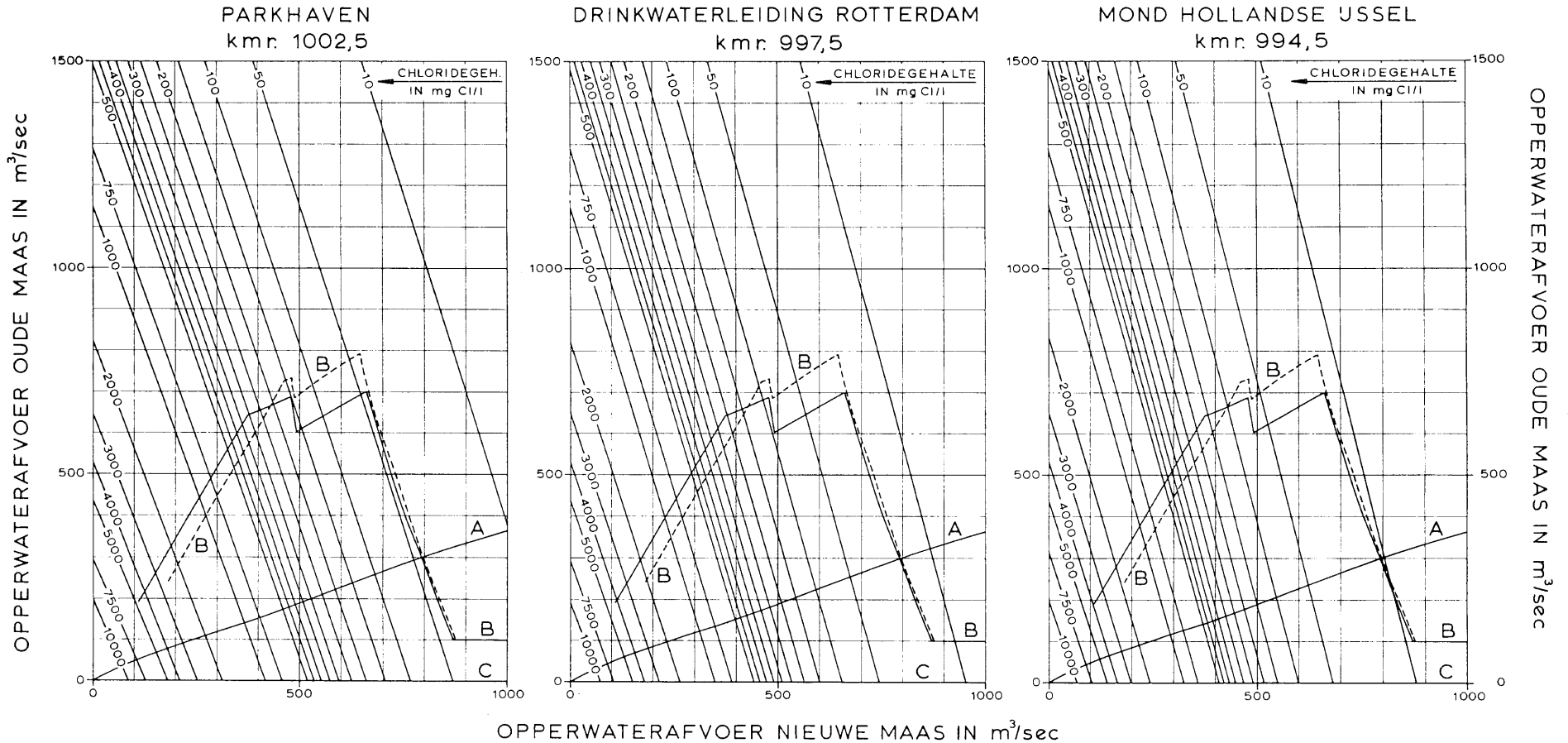


BESTAAND VERLOOP VAN HET MIDDELBAAR CHLORIDEGEHALTE OP DE NIEUWE MAAS BIJ H.W.-KENTERING



N.B.: DE GRAFIEK BETREFT ALLEEN DE CHLORIDEBELASTING DOOR ZEEWATER. OM DE WERKELIJK VOORKOMENDE CONCENTRATIES TE VINDEN DIENEN DE GEGEVEN WAARDEN MET HET CHLORIDEGEHALTE VAN HET RUNWATER TE WORDEN VERMEERDERD. DE CONCENTRATIES HEBBEN BETREKKING OP HET GEMIDDELDE VAN DE GEHALTEN NABU OPPERVLAK EN BODEM, BEPAALD UIT WAARNEMINGEN OVER DE PERIODE 1951 T/M 1956.

VERLOOP MIDDELBAAR CHLORIDEGEHALTE BOVENLOOP NIEUWE MAAS BIJ H.W.-KENTERING ALS FUNCTIE VAN OPPERWATERAFVOER OUDE EN NIEUWE MAAS VOOR TOESTAND NA UITVOERING DELTAWERKEN



N.B.: DE GRAFIEK BETREFT ALLEEN DE CHLORIDEBELASTING DOOR ZEEWATER. OM DE WERKELIJK VOORKOMENDE CONCENTRATIES TE VINDEN DIENEN DE GEGEVEN WAARDEN MET HET CHLORIDEGEHALTE VAN HET RUNWATER TE WORDEN VERMEERDERD. DE CONCENTRATIES HEBBEN BETREKKING OP HET GEMIDDELDE VAN DE GEHALTEN NABY OPPERVLAKTE EN BODEM.

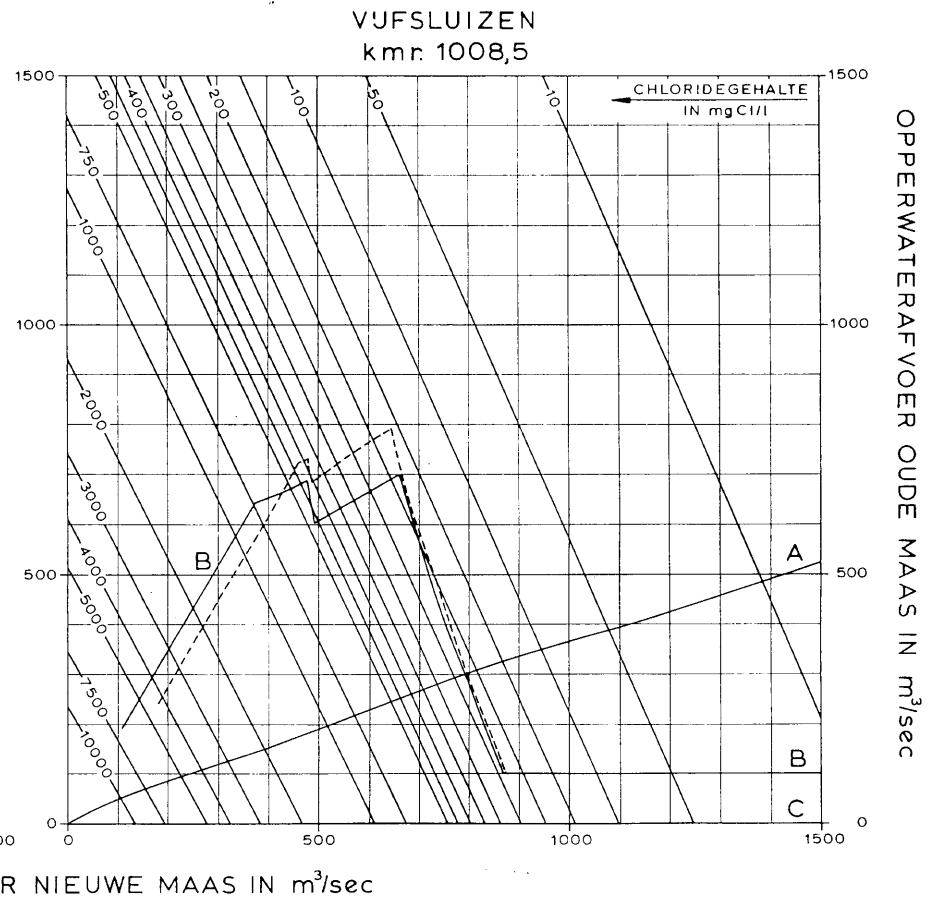
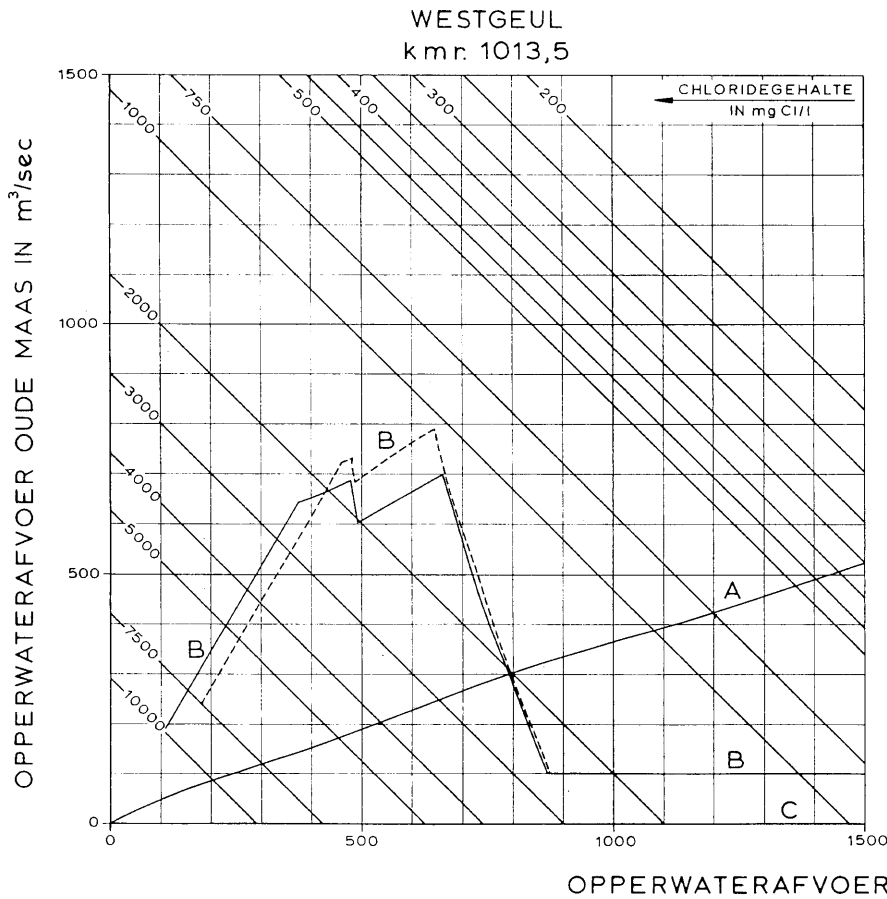
VOORLOPIG

A BESTAANDE VERDELING VAN HET OPPERWATER

B VERDELING VAN HET OPPERWATER NA UITVOERING VAN DE DELTAWERKEN MET OPEN OUDE MAAS VOLGENS HET IN HOOFDSTUK 16.0 BESCHREVEN VOORLOPIG LOZINGSPROGRAMMA (ZOMER — EN WINTER ---)

C VERDELING VAN HET OPPERWATER NA UITVOERING VAN DE DELTAWERKEN MET AFGESLOTEN OUDE MAAS VOLGENS HET IN HOOFDSTUK 16.0 BESCHREVEN VOORLOPIG LOZINGSPROGRAMMA

VERLOOP MIDDELBAAR CHLORIDEGEHALTE BENEDENLOOP NIEUWE MAAS BIJ H.W.-KENTERING ALS FUNCTIE VAN OPPERWATERAFVOER OUDE EN NIEUWE MAAS VOOR TOESTAND NA UITVOERING DELTAWERKEN



N.B.: DE GRAFIEK BETREFT ALLEEN DE CHLORIDEBELASTING DOOR ZEEWATER. OM DE WERKELIJK VOORKOMENDE CONCENTRATIES TE VINDEN DIENEN DE GEGEVEN WAARDEN MET HET CHLORIDEGEHALTE VAN HET RUNWATER TE WORDEN VERMEERD. DE CONCENTRATIES HEBBEN BETREKKING OP HET GEMIDDELDE VAN DE GEHALTEN NABU OPPERVLAKTE EN BODEM.

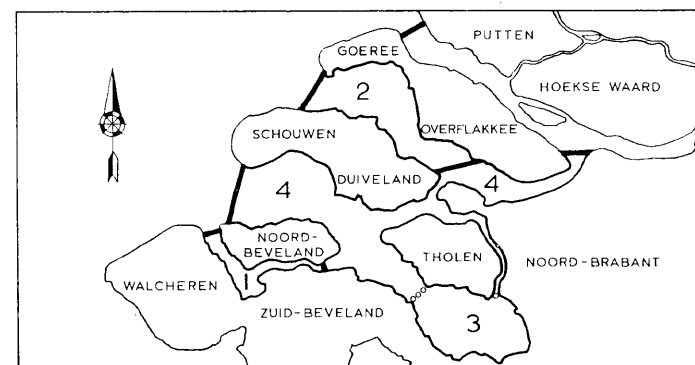
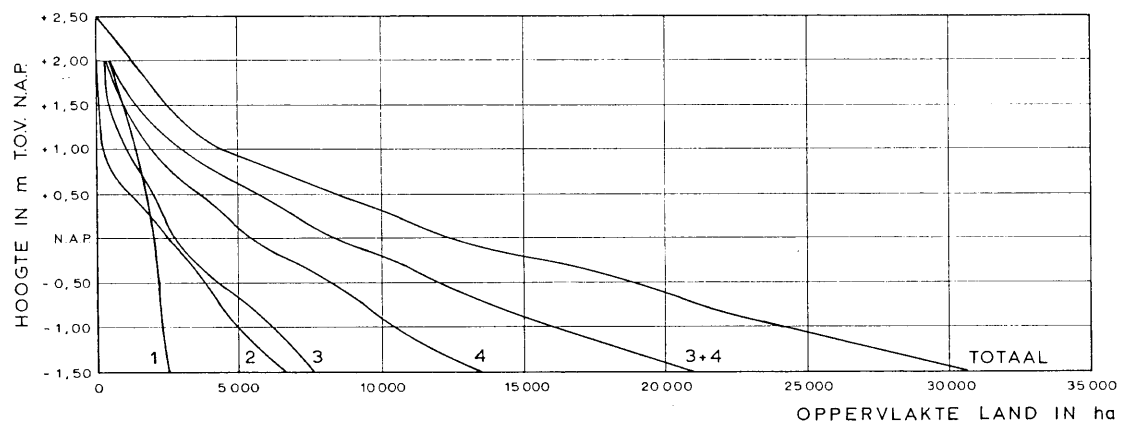
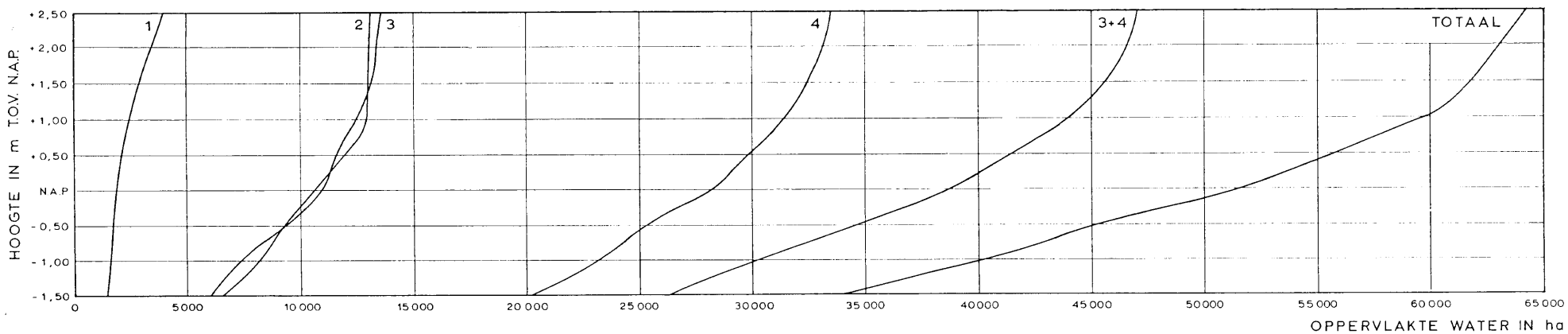
VOORLOPIG

A BESTAANDE VERDELING VAN HET OPPERWATER

B VERDELING VAN HET OPPERWATER NA UITVOERING VAN DE DELTAWERKEN MET OPEN OUDE MAAS VOLGENS HET IN HOOFDSTUK 16.0 BESCHREVEN VOORLOPIG LOZINGSPROGRAMMA (ZOMER — EN WINTER ----)

C VERDELING VAN HET OPPERWATER NA UITVOERING VAN DE DELTAWERKEN MET AFGESLOTEN OUDE MAAS VOLGENS HET IN HOOFDSTUK 16.0 BESCHREVEN VOORLOPIG LOZINGSPROGRAMMA

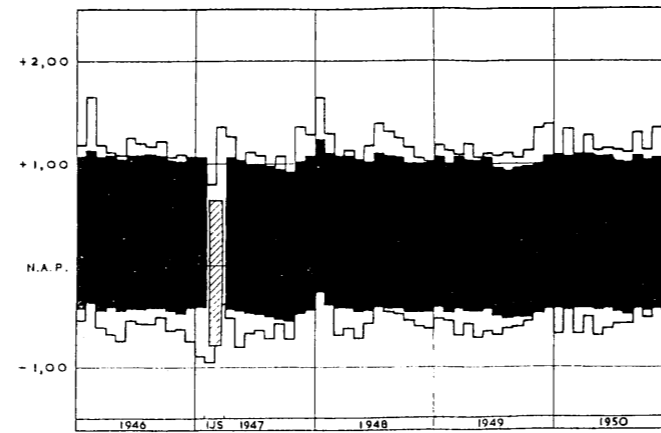
Oppervlakten water en land, Zeeuwse Meer



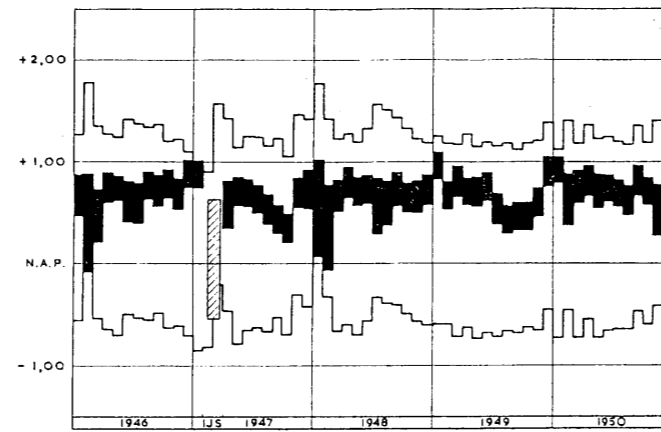
OVERZICHT

De gegevens zijn ontleend aan de peilkaarten van de Rijkswaterstaat 1949—1956

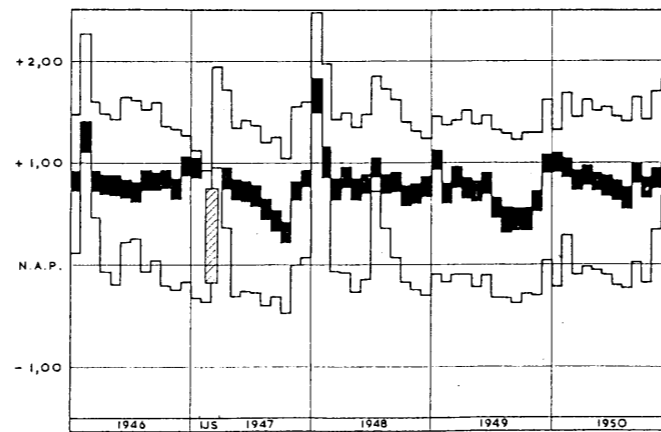
SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE GEMIDDELDE HOOG- EN LAAGWATERSTANDEN IN HET DELTAGEBIED  
VOOR DE BESTAANDE TOESTAND EN NA UITVOERING VAN DE DELTAWERKEN MET AFGESLOTEN OUDE MAAS, GEBASEERD OP EEN PERIODE ALS VAN 1946 T/M 1950



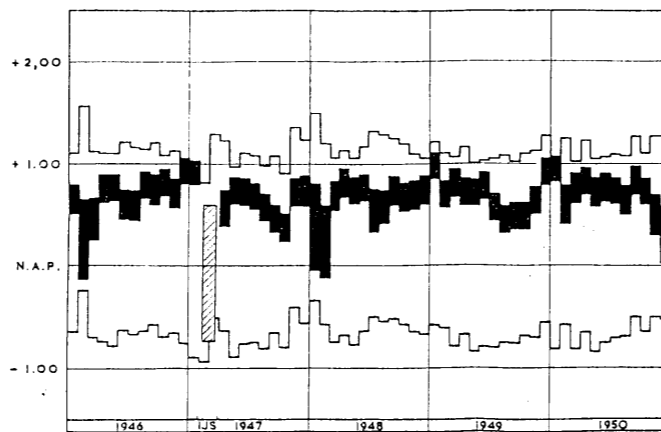
KRIMPEN AAN DE LEK



DORDRECHT



WERKENDAM



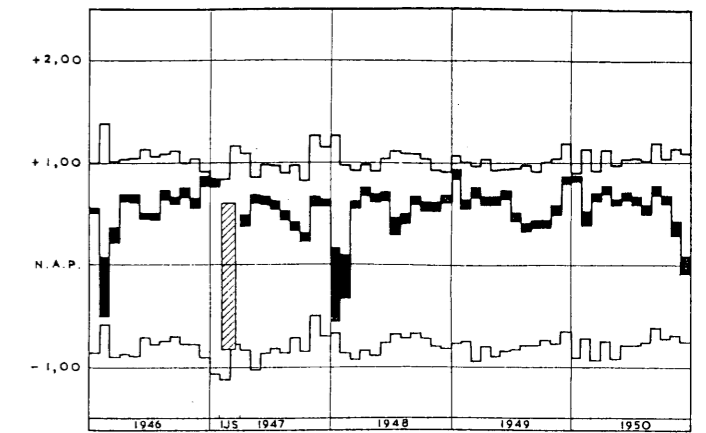
GOIDSCHALXOORD

Normale waterstanden deltag gebied

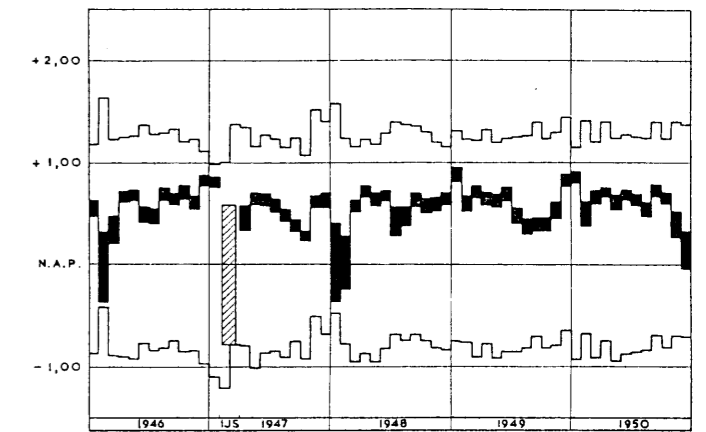
**LEGENDA**

HOOGWATER BESTAANDE TOESTAND  
 HW. NA UITVOERING DELTAWERKEN  
 LW NA UITVOERING DELTAWERKEN  
 LAAGWATER BESTAANDE TOESTAND

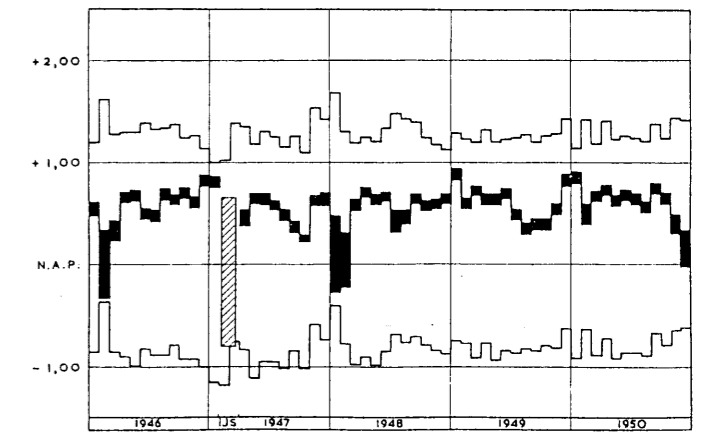
**N.B.**  
 DE WATERSTANDEN BIJ DE BESTAANDE TOESTAND WERDEN ONTLEEND AAN DE IN WERKELIJKHEID VOORGEKOMEN STANDEN.  
 DE WATERSTANDEN NA UITVOERING DER DELTAWERKEN WERDEN ONTLEEND AAN MODELPROEVEN EN BEREKENINGEN, WAARBIJ WERD UITGEGAAN VAN EEN GEMIDDELTE GETIJBEGING OP ZEE.  
 DE SITUATIE NA UITVOERING DER DELTAWERKEN BIJ IJSGANG (PERIODE ALS VAN 29 JAN.-13 MRT. 1947) IS GEARCEERD WEERGEGEVEN. ZIJ WERD GESCHAT VOOR DE TOESTAND MET OPEN HARINGVLIETSLUIZEN.



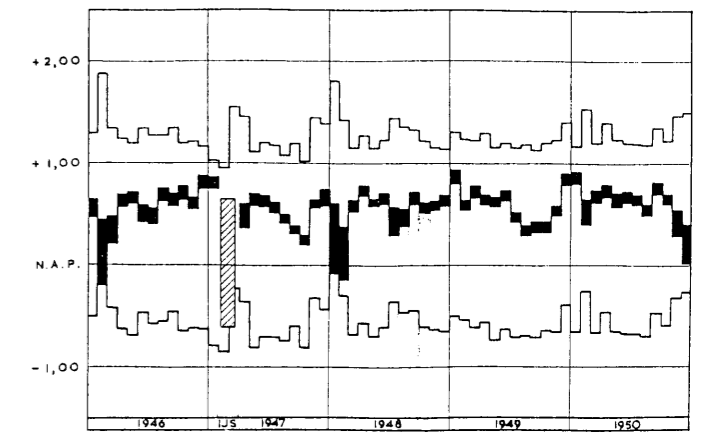
HELLEVOETSLUIS



WILLEMSTAD

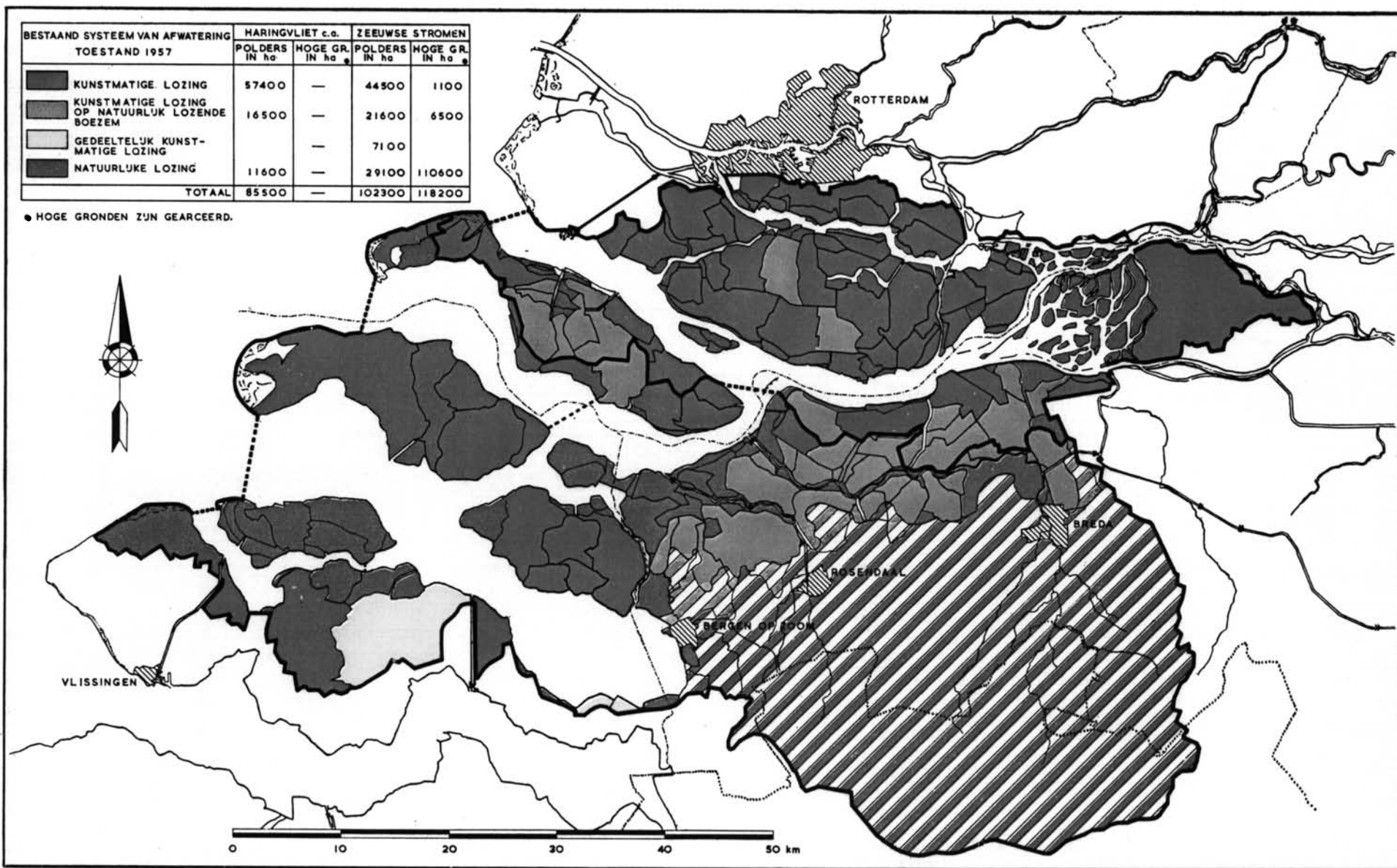


MOERDIJK



MOND DER DONGE

VOORLOPIG





BIJDRAGE IV.5

RIJKSWATERSTAAT

DE INVLOED

VAN DE AFDAMMING VAN DE ZEEGATEN

OP HET IJSBEZWAAR

OP DE ZEEUWSE EN ZUIDHOLLANDSE

STROMEN



## INHOUDSOVERZICHT

0.1	Inhoudsoverzicht . . . . .	297
0.2	Overzicht van de tabellen . . . . .	298
0.3	Overzicht van de figuren . . . . .	298
0.4	Overzicht van de bijlagen . . . . .	298
0.5	Literatuur . . . . .	299
0.6	Summary . . . . .	300
0.7	Résumé . . . . .	300
<b>1.0</b>	<b>Samenstelling van de bijdrage . . . . .</b>	<b>302</b>
1.1	Inleiding . . . . .	302
1.2	Inhoud van de bijdrage . . . . .	302
1.3	Auteurs en medewerkers . . . . .	302
<b>2.0</b>	<b>De vorming van ijs . . . . .</b>	<b>302</b>
2.1	Inleiding . . . . .	302
2.2	De ijsvorming en de veel voorkomende vormen van ijs op rivieren . . . . .	302
2.3	De ijsvorming en de veel voorkomende vormen van ijs op zoute en brakke wateren . . . . .	303
2.4	De eigenschappen van zoetwater-ijs . . . . .	305
<b>3.0</b>	<b>Het Zeeuwse Meer . . . . .</b>	<b>305</b>
3.1	Verwachte wijzigingen in de ijsvorming na de uitvoering van het Deltaplan . . . . .	305
3.2	Vergelijking van de te verwachten ijstoestand op het Zeeuwse Meer met de tegenwoordige ijstoestand op het IJsselmeer en de Friese meren . . . . .	307
3.3	Te verwachten omvang van het ijsbezwaar voor de scheepvaart op het Zeeuwse Meer . . . . .	310
<b>4.0</b>	<b>Het Haringvlietbekken . . . . .</b>	<b>310</b>
4.1	Tegenwoordige ijstoestand op het Haringvlietbekken . . . . .	310
4.2	Te verwachten ijstoestand op het Haringvlietbekken na de voltooiing van het Deltaplan . . . . .	314
4.3	Maatregelen ter bestrijding van een toeneming van het ijsbezwaar op het Haringvlietbekken . . . . .	315
<b>5.0</b>	<b>De overige stromen . . . . .</b>	<b>317</b>
5.1	De Beneden-Merwede, de Dordtse Kil en de Noord . . . . .	317
5.2	De Oude Maas . . . . .	317
5.3	De Lek . . . . .	318
<b>6.0</b>	<b>Samenvatting en conclusies . . . . .</b>	<b>318</b>
<b>Appendix . . . . .</b>		<b>319</b>
A 1.0	De beweging van drijfijs op rivieren . . . . .	319

**0.2 OVERZICHT VAN DE TABELLEN**

2.3.1	Verband tussen het zoutgehalte en het vriespunt van water . . . . .	304
2.3.2	Verband tussen de luchttemperatuur, waarbij het ijs wordt gevormd in zeewater, en het gehalte aan ingesloten zout in het ijs . . . . .	304
3.1.1	Gemiddeld zoutgehalte aan de oppervlakte bij gemiddelde opperwaterafvoer en de daarmee overeenstemmende vriespuntsverlaging voor een aantal waarnemingsstations op het Zeeuwse Meer . . . . .	305
3.2.1	Vergelijking van de aantallen dagen met een bepaalde etmaaltemperatuur voor de Zeeuwse en Zuidhollandse stromen, het IJsselmeer en de Friese meren . . . . .	308
3.2.2	Vergelijking van de tegenwoordige met de in de toekomst te verwachten ijstoestand op het Zeeuwse Meer . . . . .	310
4.1.1	Gemiddeld zoutgehalte $S$ aan de oppervlakte en daarmee overeenstemmende vriespuntsverlaging $\Delta T$ bij een aantal waarnemingsstations langs Haringvliet en Hollands Diep . . . . .	311
4.2.1	Tijdstippen van het verschijnen van drijfijis op Waal en Rijn en van het vastraken hiervan in de benedenrivieren in de periode 1928–1956 . . . . .	315
5.3.1	Tijdstippen van het verschijnen van drijfijis op Neder-Rijn en Rijn en van het vastraken van het ijs in de periode 1928–1956 . . . . .	318

**0.3 OVERZICHT VAN DE FIGUREN**

3.1.1	Maandgemiddelden van de windsnelheid te Vlissingen. Waarnemingsperiode 1899–1927 . . . . .	306
3.1.2	Tijdspercentage als functie van de windrichting voor het waarnemingsstation Vlissingen gedurende de maanden december, januari en februari. Waarnemingsperiode 1923–1926 . . . . .	306
3.1.3	Onderschrijdingspercentage van de windsnelheid als functie van de windrichting voor het waarnemingsstation Vlissingen gedurende de maanden december, januari en februari. Waarnemingsperiode 1923–1926 . . . . .	306
3.2.1	Verband tussen het aantal dagen met ijsbezwaar per jaar op het IJsselmeer en op de Friese meren . . . . .	309
3.2.2	Verband tussen het aantal dagen met zwaar ijs per jaar op het IJsselmeer en op de Friese meren . . . . .	309
4.1.1	Meetgegevens van de lucht- en watertemperatuur en van het zoutgehalte in het gebied van het Haringvliet voor de winters 1953/'54 en 1955/'56 . . . . .	312
A.1.0.1	Berekeningsschema voor de ijsbezetting op rivieren . . . . .	320
A.1.0.2	Toeneming van de ijsafvoerverhouding $C$ op Neder-Rijn en Lek als functie van de luchttemperatuur te De Bilt . . . . .	321
A.1.0.3	Toeneming van de ijsafvoerverhouding $C$ op de Waal als functie van de luchttemperatuur te De Bilt . . . . .	321
A.1.0.4	Verloop van de waarden van de ijsafvoerverhouding $C$ , van de waterdiepte $d$ en van de ijsbedekkingscoëfficiënt $\alpha$ bij het begin van het ontstaan van een vast ijsdek op de Boven-Merwede bij Werkendam en op de Lek bij Schoonhoven (januari 1954) . . . . .	322

**0.4 OVERZICHT VAN DE BIJLAGEN**

IV.5 – 1.1.1	Kaart van Zuidwest-Nederland met een indeling naar gebieden met een eigen karakter ten aanzien van de vorming en de afvoer van het drijfijis
--------------	--

- IV.5 – 3.2.1 Overzichtstabel van de duur van het optreden van ijsbezwaar bij waarnemingsstations in het deltagebied, rondom het IJsselmeer en in het gebied van de Friese meren voor alle winters in de periode 1921–1957
- IV.5 – 3.2.2 Overzicht van het aantal dagen in Nederland met temperaturen beneden het vriespunt voor de maanden december, januari, februari en maart, gemiddeld over de waarnemingsperiode 1921–1950

**0.5 LITERATUUR** De verwijzing in de tekst is aangegeven door [ ]

1. *C. Braak* Het klimaat van Nederland. Med. en Verh. van het K.N.M.I., nr. 32, Amsterdam, 1929 en nr. 43, 's-Gravenhage, 1940.
2. *P. Groen* De wateren der wereldzee. Amsterdam, 1951.
3. *R. H. J. Morra* Verslag ijswaarnemingen Deltagebied, winters van 1954 en 1956. Interne nota Waterloopkundige Afdeling Deltadienst Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, 1957.
4. *Rijkswaterstaat* IJverslagen (jaarlijkse uitgave). 's-Gravenhage.
5. *P. Santema* and *K. F. Valken* Formation and movement of floating ice in Dutch rivers, with special reference to the tidal region. Comptes-Rendus et Rapports de la Commission des Neiges et des Glaces, Assemblée Générale de l'U.G.G.I., Rome, 1954.
6. *H. U. Sverdrup*, *M. W. Johnson* and *R. H. Fleming* The oceans. New York, 1942.
7. *A. Volker* De ijstoestanden op het IJsselmeer. Driemaandelijkse mededelingen betreffende de werkzaamheden voor de afsluiting en droogmaking van de Zuiderzee, 's-Gravenhage, april 1939 en oktober 1942.

## 0.6 SUMMARY

### The effect of the damming-up of the tidal estuaries on the ice in the rivers of Zeeland and Zuid-Holland

The influence of the damming up of the tidal estuaries in South-West Netherlands on the formation and movement of floating ice in these waters are discussed for the following characteristic river system (see chart in annex IV.5.-1.1.1).

1. *Zeeland Lake*, i.e., the estuaries between the Haringvliet and the Western Scheldt which are now a system of tidal rivers with high salinity but which will be transformed into a group of fresh water lakes with secondary currents only. The main object of the study discussed in chapter 3.0 is the expected change in the duration of the hindrance to navigation caused by ice.

2. *The Haringvliet basin*, a system of rivers in which the discharge and storage of floating ice coming down the Rhine will mainly be influenced by the damming up of the Volkerak and by the adjustable closing of the Haringvliet by means of sluices. This problem is discussed in chapter 4.0.

3. *The remaining waters in the Delta area* in which navigation is affected by ice during severe winters and in which the currents and the distribution of fresh water will be changed by the Delta Plan are discussed in chapter 5.0.

These studies are preceded by a discussion on the different forms of ice in the rivers (chapter 2.0) and are followed by a summary and by conclusions (chapter 6.0). The most important conclusions are:

A. The formation of ice in the Zeeland Lake will increase in the future as a result of decreasing salinity and the decrease in the velocities of turbulent currents.

B. The magnitude of the increase in ice nuisance in Zeeland Lake can be derived from the data concerning the nuisance in IJssel Lake and in the lakes of Friesland, provided that correction coefficients are introduced. For results see table 3.2.2.

C. The Hollands Diep portion of the Haringvliet basin will remain a determining factor for navigation along the main shipping routes through the Delta area during severe winters. The struggle against ice nuisance will continue to be concentrated in these area of the Delta.

D. If no preventive measures are taken, floating ice in the Haringvliet basin, especially in the rivers Nieuwe Merwede and Boven-Merwede, will get stuck earlier in severe winters than it does under present conditions.

E. The ice nuisance can be prevented from increasing by:

- a. regulating the tidal currents in the Haringvliet basin by means of the Haringvliet sluices;
- b. the use of screen groynes to limit the formation of ice and prevent its obstructing the navigation channel;
- c. using more and more powerful ice-breakers;
- d. other measures, such as the discharge into the river of warm cooling water from industries, blowing up of ice dams or ice covers, etc.

Research into many aspects of ice prevention is continuing.

The Appendix contains a simplified method of calculating the variations in the quantities of ice along the river. This contribution has been written by Ir. P. Santema and Ir. J. N. Svašek.

## 0.7 RÉSUMÉ

### L'influence de la fermeture des estuaires sur les difficultés causées par la glace dans les rivières de la Zélande et de la Hollande Méridionale

L'influence de la fermeture des estuaires dans la partie sud-ouest des Pays-Bas sur la formation des glaces et sur le mouvement des glaces flottantes sera traité séparément pour les différentes régions (Voir carte annexe IV.5-1.1.1).

1. *Le lac de Zélande* comprenant les estuaires entre le Haringvliet et l'Escaut Occidental. Les rivières à marées, qui se trouvent dans cette région et qui ont une grande teneur en sel, seront transformées en un certain nombre de lacs d'eau douce n'ayant plus que des courants secondaires. L'étude de la situation des glaces dans cette région (chapitre 3.0) est surtout orientée sur les changements auxquels on peut s'attendre quant à la durée de la gêne que la présence des glaces cause à la navigation.

2. *Le bassin du Haringvliet* est un ensemble de rivières le long desquelles les glaces flottantes descendant du Rhin sont évacuées et entassées. La fermeture du Volkerak et celle du Haringvliet, réglable au moyen d'écluses de chasse, exerceront une influence prépondérante sur l'évacuation et l'entassement de ces glaces flottantes. Les problèmes se rapportant à cette question sont traités au chapitre 4.0.

3. *Les autres voies d'eau dans la région du Delta* où la navigation est handicapée pendant les hivers rigoureux et où les Travaux du Delta influenceront les courants de marée et la répartition de l'eau douce, sont traitées au chapitre 5.0.

En introduction aux études mentionnées ci-dessus, on a traité des formes les plus courantes des glaces dans les rivières au chapitre 2.0.

Enfin les conclusions des études sont résumées au chapitre 6.0. Les conclusions les plus importantes sont les suivantes:

A. L'adoucissement des eaux et l'affaiblissement des courants turbulents augmenteront la formation de glace dans le lac de Zélande.

B. L'importance de l'accroissement des problèmes causés par les glaces dans le lac de Zélande peut être déduite par comparaison avec ceux que l'on observe actuellement dans le lac d'Yssel (IJsselmeer) et les lacs de Frise, en tenant compte toutefois de coefficients correctifs pour les différences de climat. Pour les résultats, voir table 3.2.2.

C. Le long des principales routes de navigation dans la région du Delta, la gêne causée par les glaces, au cours des hivers rigoureux restera déterminant dans le bassin du Haringvliet (Hollands Diep). La lutte contre la glace restera donc à l'avenir essentiellement concentrée sur le Hollands Diep.

D. A l'avenir, les glaces flottantes dans le bassin du Haringvliet (Nieuwe Merwede et Boven-Merwede) seront retenues plus vite qu'actuellement si on ne prend pas des mesures préventifs.

E. L'accroissement des problèmes causés par les glaces peut être enrayé par :

- a. le réglage de l'influence des marées dans le bassin du Haringvliet, au moyen d'écluses de chasse dans le Haringvliet même;
- b. l'emploi de constructions protectrices par lesquelles on pourra limiter la production de la glace et éviter son amoncellement dans les chenaux de navigation;
- c. l'extension du programme de brisement des glaces;
- d. d'autres mesures, telles que l'apport des eaux chaudes provenant des eaux de refroidissement des industries, le déblayage des glaces à l'aide d'explosifs et autres.

On poursuit activement l'étude des différents aspects de la lutte contre la glace.

A l'Appendice, on donne une méthode pour le calcul schématique des changements dans la quantité des glaces flottantes le long d'une rivière.

Cette contribution a été écrite par les ingénieurs P. Santema et J. N. Svašek.

## 1.0 SAMENSTELLING VAN DE BIJDRAGE

### 1.1 Inleiding

Bij de bestudering van het Deltaplan rijst o.m. de vraag, welke invloed dit plan zal hebben op de ijsvorming en de ijsbeweging op de Zuidhollandse en Zeeuwse stromen.

Bij de behandeling van deze vraag zal in deze bijdrage het gebied van de Zuidhollandse en Zeeuwse stromen als volgt worden ingedeeld (zie bijlage IV.5-1.1.1).

1. Het *Zeeuwse Meer*, d.w.z. de wateren tussen de Westerschelde en het Haringvlietbekken.
2. Het *Haringvlietbekken*, d.w.z. het Haringvliet, het Hollands Diep en de Nieuwe Merwede.
3. De *overige wateren*, die in dit verband van belang zijn.

Ten aanzien van de factoren, die de ijsvorming en ijsbeweging beïnvloeden, zullen deze drie groepen wateren in een enigszins verschillende positie komen te verkeren. In het hier volgende zullen zij daarom afzonderlijk worden beschouwd.

In deze verhandeling wordt er van uit gegaan, dat het Deltaplan de uitvoering van o.m. de volgende waterstaatswerken omvat: afdamming van het Veerse Gat, de Zandkreek, de Oosterschelde, de Grevelingen, het Brouwershavense Gat, het Volkerak, het Haringvliet en eventueel van de Oude Maas, inpoldering van de Biesbos en watervrijmaking van de Brabantse oever, één en ander gecombineerd met dijkverhogingen en de bouw van stormvloedkeringen.

### 1.2 Inhoud van de bijdrage

In de eerste plaats zal iets worden medegedeeld over de vorming van ijs in het algemeen. Vervolgens zullen de ijsvorming en de ijsbeweging in de genoemde drie gebieden afzonderlijk worden behandeld, waarbij de invloed zal worden aangegeven, die het Deltaplan hierop naar voorlopige verwachting zal hebben. Ten slotte worden de resultaten van het onderzoek samengevat en de voornaamste conclusies gegeven.

In een appendix wordt een verkorte verhandeling gegeven van een berekeningsmethode van de ijsbezetting op de rivieren (zie ook [5]).

### 1.3 Auteurs en medewerkers

De bijdrage is in 1957 samengesteld door Ir. P. Santema van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst, met medewerking van R. H. J. Morra Ing. en P. Hopman. Na het ter beschikking komen van nieuwe gegevens is de bijdrage naderhand herzien en bijgewerkt door Ir. J. N. Svašek, eveneens van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst.

## 2.0 DE VORMING VAN IJS

### 2.1 Inleiding

Ten aanzien van vorming van ijs op rivieren, meren en zeeën is betrekkelijk weinig fundamenteel onderzoek verricht. In de laatste jaren wordt deze achterstand snel ingehaald, o.a. door studies, verband houdende met het vestigen van permanente bases in de poolgebieden en met de bezwaren, welke hydro-elektrische centrales van ijsvorming op rivieren ondervinden. In het onderstaande zal een globaal overzicht worden gegeven van de verschijnselen, die zich bij ijsvorming voordoen.

### 2.2 De ijsvorming en de veel voorkomende vormen van ijs op rivieren

De warmtebalans van een rivier in de vorstperiode wordt bepaald door de volgende factoren:

1. Warmte-overdracht door geleiding via de oppervlakte en de bodem.
2. Warmte-overdracht door straling van de zon en de oppervlakte van het water en de bodem.
3. Warmteverlies of -winst ten gevolge van verdamping of condensatie.
4. Warmtewinst door omzetting van kinetische en chemische energie.



De belangrijkste factoren zijn de eerste twee; beide kunnen positieve of negatieve bijdragen tot de balans leveren. In snelstromend water wordt uiteraard meer warmte geproduceerd door omzetting van kinetische energie in warmte dan in langzaam stromend water. De andere factoren spelen hier echter een overheersende rol, zodat ook in snelstromend water aanzienlijke ijsvorming kan optreden.

In rivieren bestaat er in het algemeen een grote mate van uitwisseling van waterdeeltjes tussen de verschillende lagen onderling, als gevolg van de turbulente stroming, en het water moet dan ook als regel van bodem tot oppervlakte tot het vriespunt zijn afgekoeld alvorens ijs kan ontstaan.

Bij een onderkoeling van 0,01–0,1° C beneden het vriespunt kan de ijsvorming over het gehele dwarsprofiel van de rivier beginnen. Dit ijs is zg. *frazil-ice* (fraisil, sorbet de glace), het bestaat uit kleine discussvormige ijskristallen, meestal niet meer dan 5 mm in diameter en 25 à 100  $\mu$  dik, waaraan soms nog naaldvormige uitsteeksels groeien. De aantallen, waarin deze ijskristallen worden aangetroffen, kunnen wel  $10^6$  per  $m^3$  bedragen. De vorming van frazil-ice wordt bevorderd door de aanwezigheid van aanhechtingskernen in het water. In dit verband heeft men ook geconstateerd, dat de snelheid van ijsvorming in het begin van de winter groter is dan later, bij dezelfde temperaturomstandigheden. De hoeveelheid in het water gesuspendeerde vaste stof is nl. in het begin van de winter veel groter dan later. De aanwezigheid van ijsschotsen en vooral van een vast ijsdek werkt belemmerend op de vorming van frazil-ice; vermoedelijk is dit aan de isolerende werking van de ijsbedekking te danken. Daar frazil-ice tot grote moeilijkheden aanleiding kan geven bij de exploitatie van hydro-elektrische centrales (o.a. door het verstopt raken van roosters en zeven) worden in het buitenland methoden bestudeerd, om de vorming van een vast ijsdek te bevorderen.

Wanneer de snelheid van het water vermindert, kan het frazil-ice naar boven komen. Het vormt dan een breiachtige massa, zg. slush of *heusijs*, die gemakkelijk tot een vaste ijskorst aaneenvriezen kan.

Een andere vorm, waarin het ijs kan ontstaan, is het *grondijs* (anchor-ice, glace de fond). De zuiverste vorm van dit ijs ontstaat op voorwerpen onder water; volgens sommige onderzoekers moet de oorzaak worden gezocht in een sterke afkoeling bij de bodem ten gevolge van een nachtelijke straling door het water heen. Een andere oorzaak voor het ontstaan van grondijs, in plaats van frazil-ice, kan zijn de afwezigheid van in het water gesuspendeerde aanhechtingskernen. Het grondijs hecht zich zeer vast aan de voorwerpen, waarop het ontstaat, dit in tegenstelling met frazil-ice, dat bijv. gemakkelijk van de roosters van hydro-elektrische centrales is te verwijderen. Wanneer het grondijs, hetwelk aan de bodem is gevormd, losraakt en boven komt drijven, zitten meestal nog kluitjes grond, planten, stenen, tot zelfs ankers en kettingen in het ijs.

Op rustige plekken in de rivier, zoals aan de oevers, in kribvelden, gestuwde riviervakken, enz., kan ook *oppervlakte-ijs* (sheet-ice, glace de surface) worden gevormd. Aan de oppervlakte ontstaan dan eerst ijskristallen, die uitgroeien tot ijssnaalden, waaruit ten slotte het vaste ijsdek ontstaat.

*Ijsschotsen* worden op de rivieren gevormd doordat samengeklonterde en samengevroren massa's ijskristallen boven komen drijven, evenals frazil-ice en grondijsafzettingen. De schotsen botsen tegen elkaar, tegen oevers, kribben, enz., ze schuiven op en onder elkaar, vriezen aan elkaar vast en breken weer, het water, dat op de schotsen komt, vriest er op vast, enz. Al deze factoren dragen er toe bij, dat de ijsschotsen een zeer gevarieerd beeld vertonen wat betreft vorm en afmetingen.

### 2.3 De ijsvorming en de veel voorkomende vormen van ijs op zoute en brakke wateren

De ijsvorming op zee verloopt anders dan in zoet water. Het onderstaande beknopte overzicht is hoofdzakelijk ontleend aan [2].

Zoals bekend is, heeft zoet water bij 4° C zijn grootste dichtheid. Is het zoete water aan de oppervlakte dus tot 4° C afgekoeld, dan blijft het bij verdere afkoeling lichter dan het warmere water in de diepere lagen. De temperatuur van het oppervlaktewater kan dan dus dalen, zonder dat dit in de diepere lagen direct het geval is.

Bij zeewater is dit anders; wanneer het zoutgehalte 24,7 ‰ of meer bedraagt, wordt zeewater bij verder gaande afkoeling steeds zwaarder. Het afgekoelde en dus zwaardere water aan de oppervlakte zakt steeds weer naar beneden en het warmere water uit de diepere lagen beweegt zich naar boven. Hierdoor is het onmogelijk, dat het oppervlaktewater de vriestemperatuur bereikt, zolang het water beneden niet bijna even koud is geworden. Zo zijn bijv. de bekkens van de Poolzeeën tot op de bodem gevuld met water, dat een temperatuur van bijna het vriespunt heeft. Wanneer het zoutgehalte aan de

bodem en aan de oppervlakte aanmerkelijk verschilt, geldt het bovenstaande niet altijd; het oppervlaktewater kan dan kouder zijn dan het water aan de bodem, maar toch boven blijven drijven als gevolg van het geringe zoutgehalte.

Het vriespunt van zeewater hangt af van het zoutgehalte. Dit verband is weergegeven in tabel 2.3.1.

Tabel 2.3.1  
Verband tussen het zoutgehalte en het vriespunt van water

Zoutgehalte in ‰ . . .	0	10	20	30	35
Vriespunt in °C . . . .	0	— 0,53	— 1,08	— 1,63	— 1,91

Het begin van het bevroren van het zeewater wordt aangegeven door het verschijnen van zeer kleine, colloïdale, min of meer schijfvormige ijsdeeltjes. Deze deeltjes ontwikkelen zich verder tot 1 à 2 cm lange zeskantige staafjes (ijskristallen). Ze geven aan het wateroppervlak een zeker dof voorkomen. Het ijs bevat geen zout, zodat het zoutgehalte van het water in de directe omgeving van het kristal stijgt; dit water wordt dus zwaarder en zakt naar beneden. Dit proces gaat zo door, de kristallen groeien aan en ten slotte vormt zich een heel netwerk van kristallen, die kleine hoeveelheden water insluiten. Bij verdergaande bevroering van dit ingesloten water neemt het zoutgehalte er van toe, waardoor weer vriespuntsverlaging ontstaat. Ten slotte wordt de cel-inhoud zó geconcentreerd, dat het zout gaat uitkristalliseren (bij — 23° C bijv. kristalliseert NaCl uit).

Het gehalte van ingesloten zout van het zee-ijs hangt af van de wijze, waarop het is gevormd. Bij plotselinge intense afkoeling geschiedt de kristalvorming onstuimig en wordt veel water ingesloten, met als gevolg een vrij hoog zoutgehalte. SVERDRUP vond tijdens de expeditie met de „Maud” (1918–1925) de waarden, zoals weergegeven in tabel 2.3.2.

Tabel 2.3.2  
Verband tussen de luchttemperatuur, waarbij het ijs wordt gevormd in zeewater, en het gehalte aan ingesloten zout in het ijs

Luchttemperatuur, waarbij het ijs wordt gevormd, in °C . . . .	— 16	— 26	— 30	— 40
Gehalte aan ingesloten zout van het ijs in ‰ . . . . .	5,6	8,0	8,8	10,2

Het gemiddelde zoutgehalte van het water van de Noordelijke IJsee daarentegen is 31 ‰.

Het s.g. van zee-ijs wisselt van 0,86 bij oud bovenijs tot 0,92 bij jong, snel gevormd ijs. Bij het oude bovenijs zijn de cellen met elkaar in verbinding gekomen, bijv. als gevolg van dooi en is het zoute water naar beneden gezakt of zelfs geheel uit het ijs verdwenen; het is daardoor lichter. In het jonge, snel gevormde ijs is betrekkelijk veel zout ingesloten. Het s.g. van zuiver ijs bedraagt bij het vriespunt 0,916.

Het op zee en in estuaria ontstane ijs is onder verschillende benamingen bekend. Verzamelingen ijskristallen, die nog niet of weinig aan elkaar zijn vastgegroeid en een dunne breiachtige laag vormen, worden *heusijs* genoemd. Het heusijs kan bij lage temperaturen in tamelijk rustig water samenvriezen tot een vrij dunne *ijskorst*; dit is vooral het geval, wanneer de oppervlaktelaag van het water tamelijk zoet is. Bij lage temperatuur en in woelig water bevriest het heusijs tot losse ijskoeken, ronde schijven, die soms, door het tegen elkaar stoten en het vastvriezen van heusijs en water, verhoogde randen krijgen; men spreekt hierbij van *pannekoekijs*. Pannekoekijs kan ook ontstaan doordat een ijskorst door golven in stukken breekt en de stukken door botsing en onderlinge wrijving een afgeronde vorm krijgen. Vlakke ijsschotsen van gelijkmatige dikte worden *jong ijs* genoemd; dit jonge ijs kan alle overgangen tussen zoetwater- en zee-ijs omvatten. Door het tegen elkaar stoten en op elkaar schuiven van ijsschotsen en ijsvelden ontstaan vaak plaatselijk drijvende aaneengevroren opeenhopingen van ijs, die *ijshopen* (hummocks en growlers) worden genoemd. Soms zijn deze opeenhopingen gerangschikt

in lange richels of wallen en heten dan *drukwallen*. Tegen de kust en banken in de estuaria kunnen deze drukwallen een grote hoogte bereiken. *Landvast ijs* noemt men een strook samenhangend ijs, die aan de ene kant begrensd wordt door de kustlijn; *ijsvoet* noemt men een zoom van landvast ijs, die aan het strand of de bank vastgevroren zit en niet met het getij mee beweegt.

Bij de vorming van ijs op de Zuidhollandse en Zeeuwse stromen in de tegenwoordige omstandigheden doen zich verschijnselen voor, die een overgang vormen tussen ijsvorming op zee en op rivieren.

#### 2.4 De eigenschappen van zoetwater-ijs

Zoetwater-ijs is ongeveer driemaal zo sterk als zee-ijs; zout maakt het ijs meer plastisch. Bij zeer lage temperatuur is ijs aanzienlijk harder dan bij temperaturen, die niet ver onder het vriespunt liggen.

Een sneeuwlaag houdt het ijs zachter, doordat zij het beschermt tegen sterke afkoeling.

De buigsterkte van het ijs kan men ongeveer evenredig stellen met het kwadraat van de dikte.

### 3.0 HET ZEEUWSE MEER

#### 3.1 Verwachte wijzigingen in de ijsvorming na de uitvoering van het Deltaplan

Een van de belangrijke veranderingen, die zich in de wateren van het toekomstige Zeeuwse Meer zal voltrekken, is de verzoeting van het water.

Omtrent het zoutgehalte bij de tegenwoordige omstandigheden staan vele gegevens ter beschikking, die zijn verzameld door de Rijkswaterstaat en het Bestuur der Visserijen op de Zeeuwse stromen. Uit deze gegevens en uit tabel 2.3.1 is tabel 3.1.1 afgeleid.

Tabel 3.1.1

Gemiddeld zoutgehalte aan de oppervlakte bij gemiddelde oppervlaktewaterafvoer en de daarmee overeenstemmende vriespuntsverlaging voor een aantal waarnemingsstations op het Zeeuwse Meer

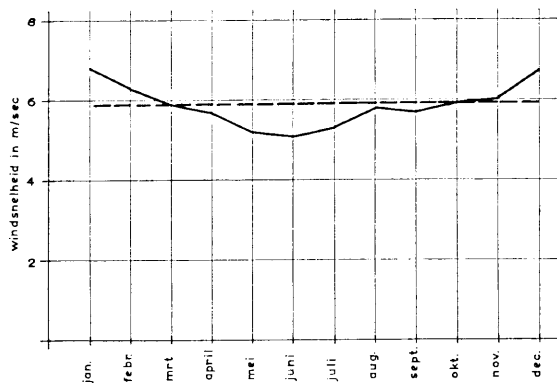
Waarnemingsstation	H.W.		L.W.	
	Zoutgehalte in ‰	Vriespuntsverlaging in °C	Zoutgehalte in ‰	Vriespuntsverlaging in °C
Ouddorp . . . . .	25,9	1,4	26,3	1,4
Ossesluis . . . . .	26,8	1,5	26,8	1,5
Zonnemaire . . . . .	26,8	1,5	26,7	1,5
Zijpe . . . . .	26,8	1,5	26,8	1,5
Galatheese Haven . . . . .	15,5	0,8	7,0	0,4
Stavenisse . . . . .	29,0	1,6	28,0	1,5
Zierikzee . . . . .	29,5	1,6	29,3	1,6
Zak van Bergen op Zoom . . . . .	27,8	1,5	27,8	1,5

De verzoeting van het water van het Zeeuwse Meer heeft door het verdwijnen van de vriespuntsverlaging, die in tabel 3.1.1 is aangegeven, een invloed op de ijsvorming.

Behalve het verdwijnen van de vriespuntsverlaging is er nog een tweede invloed: terwijl in zoet, stilstaand water aan de oppervlakte ijsvorming kan optreden, wanneer aan de bodem de temperatuur van het water nog 4° C bedraagt, moet in water met een zoutgehalte van meer dan 24,7 ‰ eerst al het water tot op de bodem tot op het vriespunt zijn afgekoeld, alvorens ijsvorming aan de oppervlakte optreedt (zoals in 2.3 is aangegeven).

Het bedoelde effect wordt nog versterkt als gevolg van de vermindering van de menging van het water, na het tot stand komen van het Zeeuwse Meer. In de tegenwoordige omstandigheden is de menging op de Zuidhollandse en Zeeuwse stromen als gevolg van golven, stroom, scheepvaart, enz., zeer sterk. Hoewel de zeegang de monden van de estuaria niet meer zal binnenlopen, zal ook op het Zeeuwse Meer de golfbeweging een menging van het water blijven veroorzaken. Hierbij moet evenwel

worden opgemerkt, dat in het betrokken gebied de grootste windsnelheden optreden in de wintermaanden (figuur 3.1.1), maar dat de snelheden, behorende bij windrichtingen, waarbij in de regel vorst optreedt, betrekkelijk laag zijn (figuren 3.1.2 en 3.1.3).

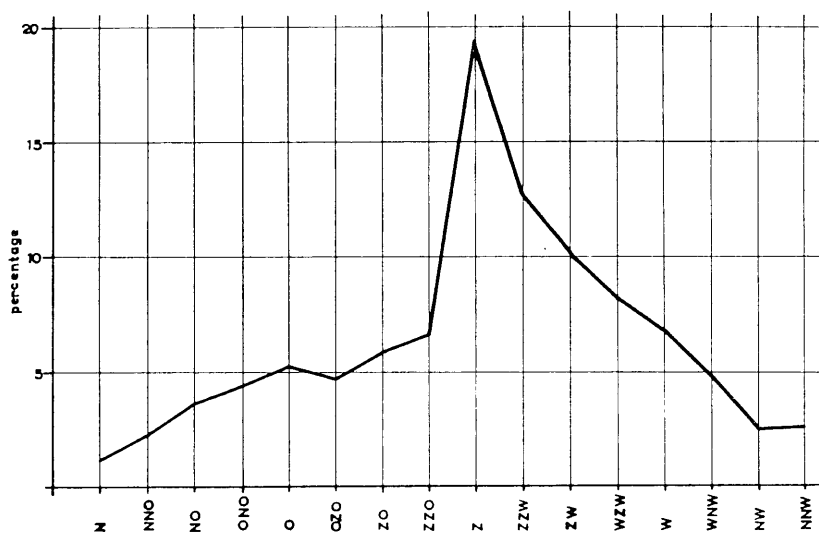


Figuur 3.1.1.

Maandgemiddelden van de windsnelheid te Vlissingen. Waarnemingsperiode 1899—1927

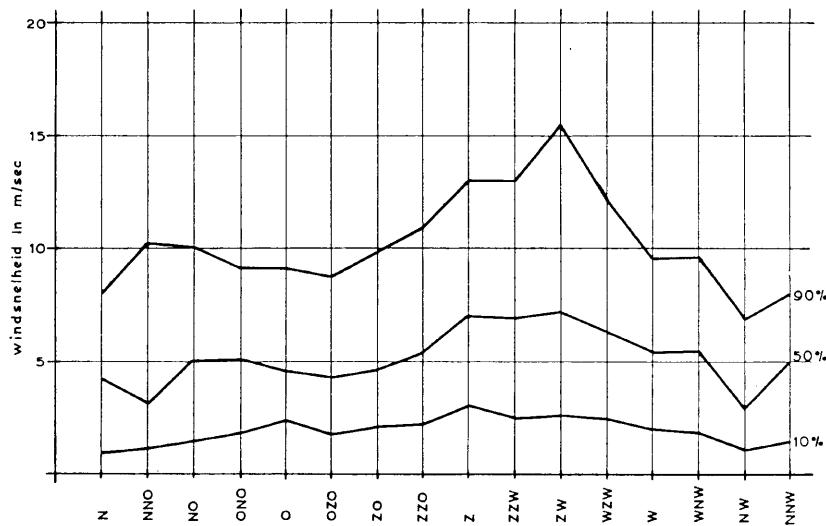
Figuur 3.1.2.

Tijdspercentage als functie van de windrichting voor het waarnemingsstation Vlissingen gedurende de maanden december, januari en februari. Waarnemingsperiode 1923—1926



Figuur 3.1.3.

Onderschrijdingspercentage van de windsnelheid als functie van de windrichting voor het waarnemingsstation Vlissingen gedurende de maanden december, januari en februari. Waarnemingsperiode 1923—1926



Hoewel op het toekomstige Zeeuwse Meer wel enige stroming zal blijven bestaan, als gevolg van waterinlaat, waterlozing en windinvloed, zal naar alle waarschijnlijkheid de menging van het water toch niet voldoende zijn om de vorming van lagen met verschillende temperatuur geheel te voorkomen bij afkoeling beneden  $4^{\circ}\text{C}$ .

Bij de tegenwoordige omstandigheden vindt een grote mate van uitwisseling van water plaats tussen de Noordzee en de beschouwde estuaria. Het water van de Noordzee is in koude perioden altijd iets warmer dan het water van de zeearmen en de bedoelde uitwisseling zal dus belemmerend werken op de vorming van ijs. In de toekomst zal deze invloed verdwijnen.

### 3.2 Vergelijking van de te verwachten ijstoestand op het Zeeuwse Meer met de tegenwoordige ijstoestand op het IJsselmeer en de Friese meren

De vraag blijft, welke ijstoestanden men in de toekomst op het Zeeuwse Meer mag verwachten. Is een vergelijking met het IJsselmeer en andere meren toelaatbaar? Om deze vraag te kunnen beantwoorden, zal men eerst moeten weten of het Zeeuwse Meer en deze andere meren in dezelfde positie verkeren ten aanzien van de ijsvormende factoren. Hierbij zijn van belang:

1. Klimatologische factoren.
2. Zoutgehalte van het water.
3. Diepte.
4. Menging door golven, stroom, scheepvaart, enz.
5. Oppervlakte.
6. IJstoevoer door rivieren.

In het onderstaande zullen het toekomstige Zeeuwse Meer, het IJsselmeer en de Friese meren worden vergeleken wat betreft bovenstaande factoren.

De klimatologische gesteldheid kan, voor zover de ijsvorming betreft, het beste worden gekarakteriseerd door de luchttemperatuur. Op basis van de gegevens van een 12-tal over het land verspreide waarnemingsstations werden door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (K.N.M.I.) voorlopige kaartjes samengesteld, met daarop aangegeven de lijnen met een gelijk aantal dagen, waarop

- a. de minimale etmaal-temperatuur
- b. de gemiddelde etmaal-temperatuur
- c. de maximale etmaal-temperatuur

beneden  $0^{\circ}\text{C}$  was.

Deze gegevens hebben betrekking op de maanden december, januari, februari en maart en zijn gemiddeld voor de periode 1921–1950 (bijlage IV.5-3.2.2). In tabel 3.2.1 zijn aan de hand van genoemde kaartjes enige karakteristieke gegevens aangegeven ten aanzien van de luchttemperatuur in het koude seizoen voor het gebied van het Zeeuwse Meer en de Zuidhollandse stromen, voor het IJsselmeer en voor de Friese meren. In deze tabel is tevens vermeld het aantal zg. „ijsvormende dagen” per jaar, gemiddeld voor de periode 1916–1928, voor de genoemde drie gebieden. Onder „ijsvormende dagen” worden hier verstaan de dagen in periodes, dat het voldoende heeft gevoren om schaatsenrijden mogelijk te maken op ijsbanen en in het algemeen op gunstig gelegen ondiep water; dit begrip en de daarop betrekking hebbende gegevens zijn ontleend aan [1]. Voorlopige studies van het K.N.M.I. duiden er op, dat de voor de Zeeuwse en Zuidhollandse stromen gegeven getallen globaal genomen eveneens geldig zijn voor het toekomstige Zeeuwse Meer.

Aan de hand van de in tabel 3.2.1 vermelde aantallen dagen met een zekere graad van vorst, is voor elk van de drie onderzochte gebieden een klimatologisch verhoudingscijfer  $x'$  bepaald; het aantal dagen met een maximum-etmaaltemperatuur beneden  $0^{\circ}\text{C}$  en het aantal „ijsvormende dagen” is hierbij als maatstaf aangelegd. Uit deze cijfers blijkt, dat de tijdsduur, gedurende welke de weersgesteldheid gunstig is voor ijsvorming, voor het gebied van het toekomstige Zeeuwse Meer gemiddeld  $\frac{1}{1,4}$  maal, resp.  $\frac{1}{1,8}$  maal de overeenkomstige tijdsduur is voor het IJsselmeer, resp. de Friese meren.

Met betrekking tot de wind verkeren de genoemde drie gebieden in nagenoeg dezelfde positie.

Tabel 3.2.1

Vergelijking van de aantallen dagen met een bepaalde etmaaltemperatuur voor de Zeeuwse en Zuidhollandse stromen het IJsselmeer en de Friese meren

Omschrijving	Zeeuwse en Zuidhollandse stromen	IJsselmeer	Friese meren
Aantal dagen met minimum-etmaaltemperatuur beneden 0°C in de maanden december, januari, februari en maart, gemiddeld in de periode 1921—1950 . . . . .	39	43	53
Aantal dagen met gemiddelde etmaaltemperatuur beneden 0°C in de maanden december, januari, februari en maart, gemiddeld in de periode 1921—1950 . . . . .	20	25	26
Aantal dagen met maximum-etmaaltemperatuur beneden 0°C in de maanden december, januari, februari en maart, gemiddeld in de periode 1921—1950 . . . . .	9	13	14
Aantal „ijsvormende dagen” gemiddeld per jaar in de periode 1916—1918.	9	12	18
Verhoudingscijfer . . . . .	1,0	1,4	1,8

Ten aanzien van het zoutgehalte zijn de genoemde drie watergebieden zonder meer vergelijkbaar.

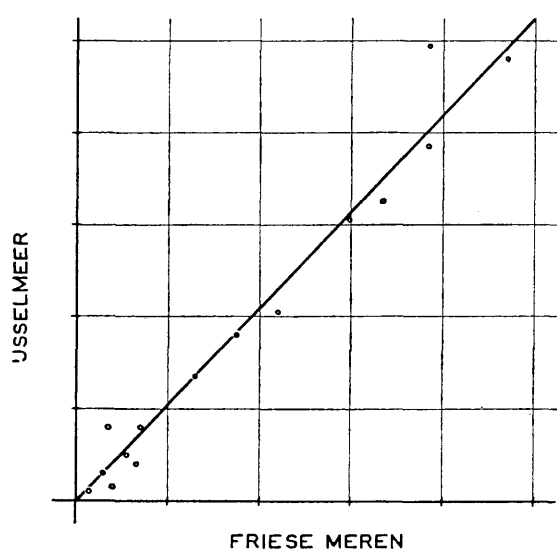
De gemiddelde diepte van het Zeeuwse Meer is groter dan van het IJsselmeer en van de Friese meren, d.w.z. de hoeveelheid geaccumuleerde warmte per eenheid van oppervlak is bij de aanvang van het koude seizoen in het eerste geval iets groter. Nu is bij het begin van de vorstperiode de watertemperatuur vaak reeds gedaald tot 4° C of lager, zodat bij een verdere verlaging van de watertemperatuur het koudere en lichtere water de neiging heeft aan de oppervlakte te blijven. Het verschil in diepte kan dus alleen een rol spelen, wanneer de menging door golven, stroom, scheepvaart, enz. van invloed is. Dit laatste is inderdaad het geval, zoals reeds werd opgemerkt en zoals in het onderstaande nog nader zal worden aangegeven. Evenwel bevat het Zeeuwse Meer veel ondiepe plaatsen, waar sneller ijsvorming zal optreden dan in de diepere gedeelten. Aangenomen wordt, dat deze beide tegengesteld gerichte invloeden ongeveer tegen elkaar opwegen.

Op de Zeeuwse en Zuidhollandse stromen is, evenals op het IJsselmeer en de Friese meren, de menging van het water door golven, stroom, scheepvaart, enz. sterk. Waarnemingen van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat, van het Bestuur der Visserijen op de Zeeuwse stromen en van de Dienst der Zuiderzeewerken tonen aan, dat praktisch nergens op de wateren van het toekomstige Zeeuwse Meer en op het IJsselmeer belangrijke verschillen in temperatuur en zoutgehalte tussen de bodem en de oppervlakte worden gevonden. Alleen op plaatsen, waar thans het zoutgehalte gedurende één getij sterk wisselt onder invloed van de toevoer van zoet rivierwater, is het water ook in verticale zin minder homogeen van samenstelling; de homogenisatie door golven, stroom, scheepvaart, enz. wordt hier overschaduwd door andere invloeden. Hoewel de menging in de toekomst op het Zeeuwse Meer geringer zal zijn dan thans op dezelfde wateren het geval is (zie ook 3.1), zal deze menging in elk geval nog voldoende groot zijn om de in de vorige alinea besproken invloed van de diepte merkbaar te doen zijn.

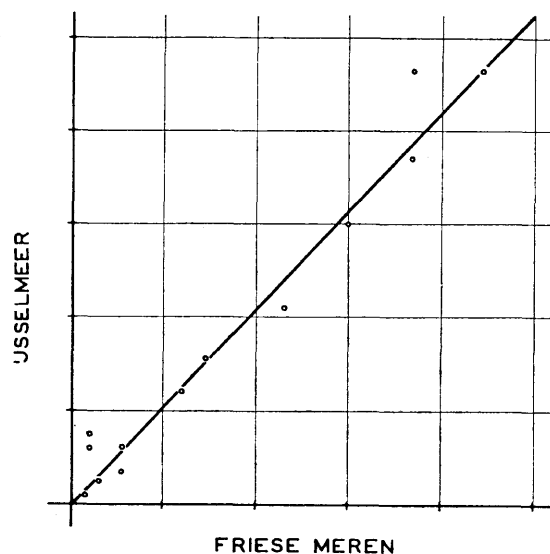
Van de drie hier vergeleken watergebieden heeft het IJsselmeer de grootste aaneengesloten oppervlakte. Naarmate de oppervlakte, waarop ijsvorming kan plaatsvinden, groter is, kan de wind een grotere invloed uitoefenen op het ijsbezwaar voor de scheepvaart door het heen en weer stuwen van ijsvelden, het op elkaar stapelen van schotsen, enz. Wanneer een bepaald wateroppervlak steeds weer door de wind wordt schoongeveegd, mist dit oppervlak de isolerende werking van het ijsdek en kan de totale ijsproductie, in gewichtseenheden per oppervlakte-eenheid per winterseizoen, op een groot meer bovendien groter zijn dan op een klein meer, onder overigens vergelijkbare omstandigheden [3].

De invloed van de grootte van het wateroppervlak op de ijstoestand kan worden afgeleid uit de gegevens over het aantal dagen ijsbezwaar op het IJsselmeer en op de Friese meren, mits de correctie voor klimatologische omstandigheden, zoals omschreven onder 3.2, wordt toegepast. Zoals uit de tabel op bijlage IV.5-3.2.1 en uit de figuren 3.2.1 en 3.2.2 blijkt, bedraagt de verhouding tussen het

aantal dagen met ijsbezwaar op het IJsselmeer en op de Friese meren gemiddeld 1,05. De correctiefactor voor de klimatologische omstandigheden heeft voor het IJsselmeer de waarde 1,4 en voor de Friese meren de waarde 1,8 (zie tabel 3.2.1), zodat bij dezelfde klimatologische omstandigheden de verhouding wordt:  $M = 1,05 \cdot \frac{1,8}{1,4} = 1,35$ . Uit het voorgaande is gebleken, dat de invloed van de overige factoren voor beide gebieden gelijk is, zodat het verhoudingsgetal  $M = 1,35$  een maat is voor de invloed van de oppervlakte bij het vergelijken van het IJsselmeer ten opzichte van de Friese meren. Het toekomstige Zeeuwse Meer ligt wat oppervlakte betreft ongeveer tussen het IJsselmeer en de Friese meren in. Aangenomen wordt, dat bij een vergelijking van het ijsbezwaar op het Zeeuwse Meer ten opzichte van de Friese meren de invloed van de oppervlakte in rekening kan worden gebracht door het toepassen van een correctiecoëfficiënt  $M' = 1,175$  of wel, hetgeen hetzelfde is,  $M' = \frac{1}{1,175} = 0,85$  ten opzichte van het IJsselmeer.



Figuur 3.2.1. Verband tussen het aantal dagen met ijsbezwaar per jaar op het IJsselmeer en op de Friese meren



Figuur 3.2.2. Verband tussen het aantal dagen met zwaar ijs per jaar op het IJsselmeer en op de Friese meren

Volgens gegevens, verstrekt door de Dienst der Zuiderzeewerken, is de invloed van de IJssel op de ijstoestand op het IJsselmeer uiterst gering. Op het toekomstige Zeeuwse Meer en op de Friese meren wordt door rivieren in het geheel geen ijs toegevoerd. De drie watergebieden zijn dus, wat dit betreft, vergelijkbaar.

Op bijlage IV.5-3.2.1 staat voor een aantal jaren aangegeven gedurende hoeveel dagen de scheepvaart hinder ondervindt van het ijs op de Zeeuwse en Zuidhollandse stromen, het IJsselmeer en de Friese meren. Deze gegevens zijn ontleend aan de berichten van de Nederlandse IJsberichtendienst [4].

Aangenomen wordt, dat het aantal dagen, dat de scheepvaart op het Zeeuwse Meer hinder zal ondervinden van ijs, gelijk is aan het aantal dagen, dat dit thans op het IJsselmeer het geval is, met inachtneming van de bovengenoemde reductiecoëfficiënt  $0,85 \cdot \frac{1}{1,4}$  resp. gelijk is aan het aantal dagen, dat dit thans op de Friese meren het geval is, met inachtneming van de reductie-coëfficiënt  $1,17 \cdot \frac{1}{1,8}$ . Het gemiddelde beeld voor het toekomstige Zeeuwse Meer wordt dan als tabel 3.2.2 laat zien.

Tabel 3.2.2

Vergelijking van de tegenwoordige met de in de toekomst te verwachten ijstoestand op het Zeeuwse Meer

Zeeuwse Meer <sup>1)</sup>	Tegenwoordige toestand		Toekomstige toestand	
	Aantal dagen ijs, totaal <sup>2)</sup>	Aantal dagen zwaar ijs <sup>3)</sup>	Aantal dagen ijs, totaal <sup>2)</sup>	Aantal dagen zwaar ijs <sup>3)</sup>
<i>Gemiddelde</i> over 1923-1957 . . . . .	6	3	16	12
<i>Strengere winters</i> (gemiddelde van 1928/'29, 1939/'40, 1940/'41, 1941/'42, 1946/'47, 1953/'54, 1955/'56). . . . .	27	15	41	38
<i>Zwakke winters</i> (gemiddelde van de overige winters) . . . . .	1	—	9	5

<sup>1)</sup> De cijfers voor de bestaande toestand geven het gemiddelde van de waarnemingsstations Ouddorp, Repart, Brouwershaven, Bruinisse, Steenbergse Sas, Vlietepolder, Zierikzee, Wemeldinge en Vere.

<sup>2)</sup> Aantal dagen met ijsbezwaar: hinder voor kleine schepen.

<sup>3)</sup> Aantal dagen met zwaar ijs: stremming voor kleine schepen en hinder tot stremming voor grotere schepen.

### 3.3 Te verwachten omvang van het ijsbezwaar voor de scheepvaart op het Zeeuwse Meer

Uit het bovenstaande volgt een algemeen beeld van de ijstoestand op het Zeeuwse Meer na de afsluiting.

Er dient rekening te worden gehouden met een plaatselijke toeneming van het ijsbezwaar langs de scheepvaartroute Wemeldinge–Willemstad, indien het buiten de vaargeul gevormde drijfijst ten gevolge van wind in beweging zou komen en in de vaargeul zou worden gedreven. Zo stuwen de bij dooi vaak optredende zuidwestelijke winden het ijs van het IJsselmeer naar de hoek tussen de Friese kust en de noordelijke dijk van de Noordoostpolder. Bij de haven van Lemmer wordt dan ook enkele dagen langer het ijsbezwaar ondervonden dan elders op het IJsselmeer. Dit bezwaar zou men op het Zeeuwse Meer kunnen ondervangen door het plaatselijk maken van schermdammen, die de concentraties van ijs in de scheepvaartgeul verhinderen.

Voorts is van belang, rekening te houden met het feit, dat op het Zeeuwse Meer de economisch meest belangrijke scheepvaart de doorgaande vaart naar Rotterdam, Dordrecht of de Rijn zal zijn. Voor deze scheepvaart zal in strenge winters de toestand op het Hollands Diep bepalend zijn, aangezien daar reeds nu ongeveer hetzelfde ijsbezwaar ondervonden wordt als voor het toekomstige Zeeuwse Meer wordt verwacht (bijlage IV.5-3.2.1, gegevens over Willemstad, en tabel 3.2.2). In dit verband is een toeneming van het ijsbezwaar op het Zeeuwse Meer dus van ondergeschikt belang ten opzichte van de toekomstige situatie op het Haringvlietbekken en met name op het Hollands Diep.

## 4.0 HET HARINGVLIETBEKKEN

### 4.1 Tegenwoordige ijstoestand op het Haringvlietbekken

Het Haringvliet, het Hollands Diep en de Nieuwe Merwede verkeren in geheel andere omstandigheden met betrekking tot het ijs dan de zuidelijker gelegen wateren en dit zal ook in de toekomst het geval zijn. Eén van de voornaamste aspecten in dit verband is het feit, dat de Nieuwe Merwede, het Hollands Diep, het Volkerak en het Haringvliet de hoofdafvoerweg vormen voor het drijfijst van de Rijn en de Maas.

Momenteel komt langs het Haringvliet gemiddeld 48% van de jaarlijkse Rijnafvoer tot afvloeiing, benevens de gehele Maasafvoer. Hierdoor is het water van deze rivier, vooral aan de oppervlakte, veel zoeter dan dat van de zuidelijker gelegen wateren en treden gedurende een getij vrij grote wisselingen in het zoutgehalte op (zie tabel 4.1.1). Opgemerkt zij, dat het Volkerak normaal een vloedoverschot vertoont bij de gedurende de vorstperiode veelal kleinere rivierafvoeren, zodat dan ook langs die weg enig zout op het Haringvliet wordt gebracht.



Tabel 4.1.1

Gemiddeld zoutgehalte  $S$  aan de oppervlakte en daarmee overeenstemmende vriespuntsverlaging  $\Delta T$  bij een aantal waarnemingsstations langs Haringvliet en Hollands Diep

Waarnemingsstation	Gemiddelde opperwaterafvoer				Opperwaterafvoer bij O.L.R. <sup>1)</sup>		Opmerkingen
	H.W.		L.W.		H.W.		
	$S$ in ‰	$\Delta T$ in °C	$S$ in ‰	$\Delta T$ in °C	$S$ in ‰	$\Delta T$ in °C	
Goedereede . . . . .	7,6	0,4	7,6	0,4	—	—	Waar geen getallen zijn ingevuld, staan tot dusverre onvoldoende gegevens ter beschikking
Hellevoetsluis . . . . .	4,1	0,2	3,3	0,2	—	—	
Middelharnis . . . . .	6,0	0,3	5,1	0,3	—	—	
Den Bommel . . . . .	5,8	0,3	6,2	0,3	—	—	
Willemstad . . . . .	3,1	0,2	0,7	0,0	9,2	0,5	
Moerdijk . . . . .	0,2	0,0	0,2	0,0	0,8	0,0	

<sup>1)</sup> Voor L.W. zijn geen gegevens beschikbaar

Onder meer als gevolg van het feit, dat het water betrekkelijk zoet is, vertonen de Nieuwe Merwede, het Hollands Diep en het Haringvliet in strenge winters een grotere ijsproductie dan de wateren van het toekomstige Zeeuwse Meer.

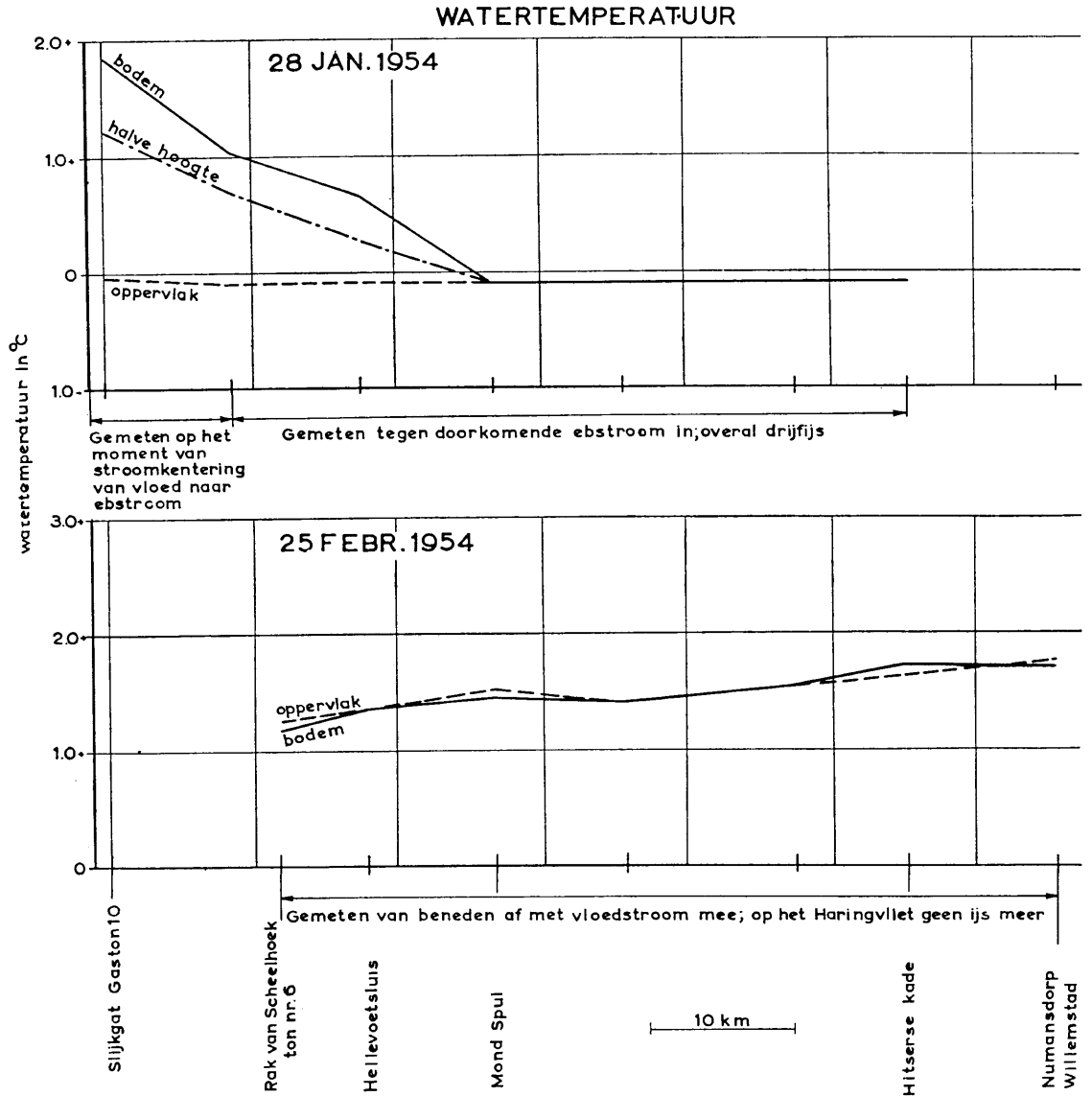
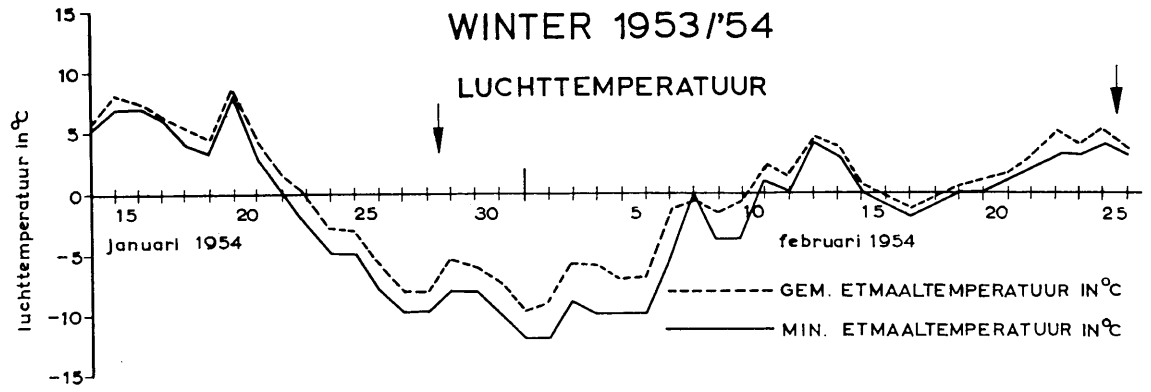
Vaak is het zo, dat op de genoemde rivieren ijsbezetting wordt waargenomen, vóórdat op de bovenrivieren nog sprake is van ijs; soms is dit zelfs een zware ijsbezetting [3]. Van invloed is het feit, dat de stroomsnelheden in het algemeen betrekkelijk klein en de kenteringstijden vaak lang zijn (vooral in de meer stroomopwaarts gelegen delen), terwijl de toevoer van het koude rivierwater en de aanwezigheid van uitgestrekte tamelijk ondiepe gebieden, waar het water verder afkoelt, hierbij eveneens een rol spelen.

Het feit, dat de ijsbeweging op (het brede) Hollands Diep en Haringvliet sterk onder invloed staat van de wind, is bij het bovenstaande van belang, aangezien het door de wind schoongeveegde deel van de wateroppervlakte de isolerende werking van het aaneengesloten ijsdek mist en steeds weer opnieuw aan de ijsproductie kan deelnemen. De invloed van de wind blijkt duidelijk uit het resultaat van de in de winter 1955/'56 uitgevoerde driftmetingen [3]. Zo werd op het traject Moerdijk-Willemstad een drift van ijsschotsen gemeten van 4,0 km/getij, terwijl de drift van de waterdeeltjes aan de oppervlakte 2,2 km/getij was. Voor Hellevoetsluis waren de overeenkomstige cijfers 0,5 en 3,0 km/getij. In het eerste geval hadden de ijsschotsen de, overigens niet sterke wind mee, in het tweede geval stond de wind meer dwars op de stroomgeulen.

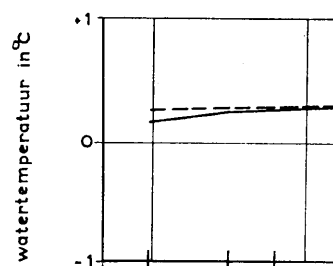
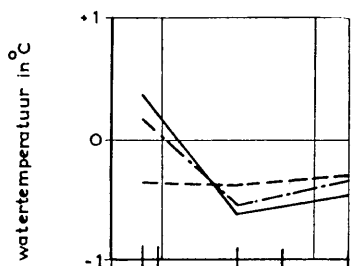
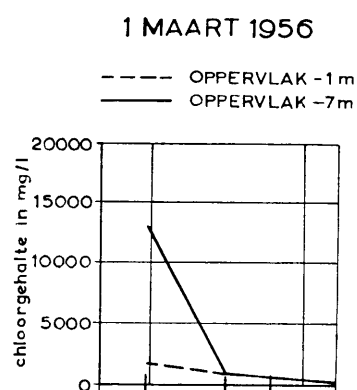
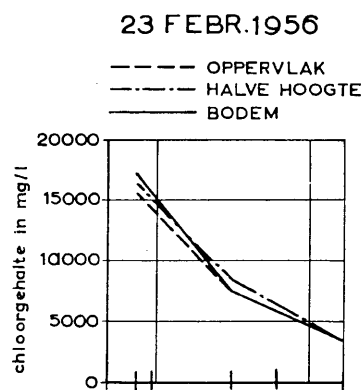
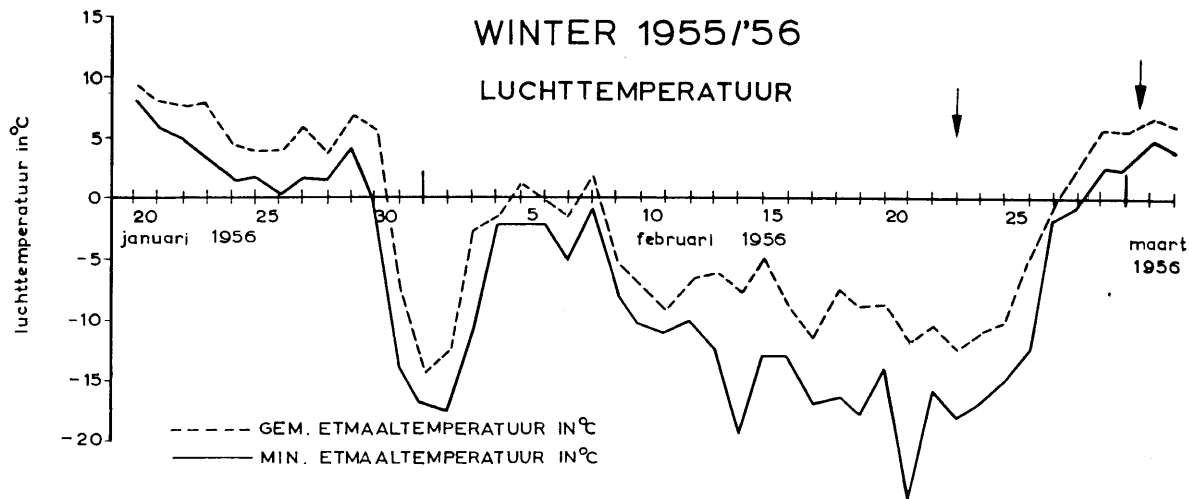
In 3.1 werd reeds gezinspeeld op de invloed van het bij de aanvang van het koude seizoen warmere zeewater op het ijsbezwaar op de Zeeuwse en Zuidhollandse stromen. Wat betreft het Haringvliet staan hiervoor enkele gegevens ter beschikking uit de winters 1953/'54 en 1955/'56; deze gegevens staan voor een klein deel aangegeven in figuur 4.1.1. Uit deze figuur blijkt, dat bij het begin van het koude seizoen het zeewater warmer is dan het water in het meer binnenwaarts gelegen deel van het Haringvliet; naarmate de vorst voortduurt, wordt het verschil kleiner; tijdens de dooi geldt vaak het omgekeerde.

Onder invloed van het soms warmere zeewater en als gevolg van het hogere zoutgehalte in de mond van het Haringvliet gaat het bovenbeschreven gebied met een grote ijsproductie zeewaarts over in een gebied waar ijs smelt; de ijsbezetting vermindert hier, de ijsschotsen vallen in kleine stukken uiteen en gaan nog verder zeewaarts in een ijspap over, die ten slotte in zee verdwijnt. Bij de thans bestaande toestand strekt de zone, waar deze verschijnselen merkbaar worden, zich landwaarts uit tot omstreeks Hellevoetsluis.

Zoals gezegd, is het feit, dat de Nieuwe Merwede, het Hollands Diep met het Haringvliet en het Volkerak tevens de hoofdafvoerwegen vormen van het drijfijz van de bovenrivieren, één van de belangrijke punten van verschil met de meer zuidelijk gelegen wateren. Van de bovenrivieren voert de Waal het grootste deel van het ijs van de Rijn af, in bepaalde perioden in strenge winters zelfs al het ijs, daar dan



Figuur 4.1.1. Meetgegevens van de lucht- en watertemperatuur en van het zoutgehalte



Sp. 13  
Rockanje

Sp. 19  
Hellevoetsluis

Hoornse Hoofden

10 km

Rockanje

Sp. 19  
Hellevoetsluis

Hoornse Hoofden

ed van het Haringvliet voor de winters 1953/'54 en 1955/'56

het Pannerdens Kanaal, de Rijn en de IJssel vaak eerder dicht zitten dan de Waal. Bij een belangrijke ijsbezetting gaat ook de Beneden-Merwede spoedig dicht zitten – en wordt dan zoveel mogelijk dicht gehouden om het ijsbezwaar bij Dordrecht en Rotterdam te verkleinen – en brengt de Nieuwe Merwede al het ijs van de Waal op het Hollands Diep. Hoewel het Volkerak normaal een vloedoverschot heeft, wordt bij de gemiddelde en lagere opperwaterafvoeren toch wel drijfijis naar het Volkerak afgevoerd; de wind en de enigszins scheppende werking van de Hellegatdam met het daaraan vastgevroren ijs spelen hierbij een rol.

In het algemeen is de wind van groot belang bij de ijsafvoerdeling op splitsingspunten [3].

In de appendix zijn enige beschouwingen gewijd aan de beweging van dit ijs in samenhang met de waterbeweging, alsmede aan het vastraken van het drijfijis; er zijn hier enige benaderende formules afgeleid, waarmede deze verschijnselen benaderend kunnen worden nagegaan (zie ook [5]). Voor het gaan vastzitten van het ijs blijken o.m. bepalend: de gemiddelde ijsbezetting, de verdeling van de ijsbezetting over de breedte als gevolg van de vorm van het stroombed en de aanwezigheid van obstakels daarin (als bijv. brugpijlers), verder de weersomstandigheden ter plaatse, de verticale getijbeweging en de stroomsnelheid. Uit de genoemde beschouwingen blijkt, dat de grootste gemiddelde ijsbezetting mag worden verwacht tijdens H.W. Wanneer de stroomsnelheid klein is, is de kans, dat de schotsen bij een dichte ijsbezetting en bij een voldoende lage luchttemperatuur aaneenvriezen, groter dan in snelstromend water. De periode rond de stroomkentering na H.W., wanneer de ijsbezetting nog vrijwel haar maximale waarde heeft, is dus in dit verband kritiek. De duur van de stroomkentering is ook van belang; hoe langer deze is, des te meer kans bestaat er, dat het ijs aaneenvriest. In de tegenwoordige omstandigheden is het traject Werkendam–Gorinchem de plaats, waar het ijs meestal het eerste vastraakt. De verticale getijbeweging is hier klein, de periode van kleine stroomsnelheid duurt lang, en de diepteverhoudingen en de aanwezigheid van een splitsingspunt werken een grote ijsbezetting in de hand. Hierbij komt nog, dat de nauwe Beneden-Merwede wel zeer spoedig dicht zit, maar dan nog wel water afvoert. Zoals valt in te zien, moet dit ongunstig werken op de ijsbezetting op de Nieuwe Merwede.

#### 4.2 Te verwachten ijstoestand op het Haringvlietbekken na de voltooiing van het Deltaplan

De verzoeting van het water betekent, dat de vriespuntsverlaging, die overigens niet groot is, verdwijnt en dat de ijsvorming in het algemeen iets eerder zal plaatsvinden. Dit effect wordt nog versterkt door het verdwijnen van de invloed van het warmere zeewater bij het begin van het koude seizoen, in de mond van het Haringvliet. Ook de afneming van de verticale getijbeweging, de stroomsnelheden en de drift, vooral bij lage opperwaterafvoeren, doen het Haringvlietbekken het karakter van een getijrivier enigszins verliezen en op een meer gelijken. Opgemerkt zij, dat de drift op het Haringvliet momenteel sterk onder invloed staat van het vloedoverschot op het Volkerak; vooral bij kleine opperwaterafvoer is deze invloed sterk. Na de uitvoering van het Deltaplan verdwijnt dit effect, evenals de berging van ijs op het Volkerak. Al deze factoren werken er toe mee, het ijsbezwaar op het Haringvlietbekken te vergroten in vergelijking met de thans bestaande toestand, zowel wat betreft het ter plaatse gevormde ijs als ten aanzien van de doorvoer en berging van het door de bovenrivieren aangevoerde drijfijis.

Zou men tijdens de winterperiode het normale spuiprogramma van de Haringvlietssluisen volgen (bij kleine opperwaterafvoeren zijn de sluisen gedurende het gehele getij dicht en bij grote opperwaterafvoeren gedurende de eb geheel of gedeeltelijk open), dan komt men tot het volgende beeld.

In *zwakke winters* voeren de bovenrivieren geen of zeer weinig drijfijis af; op het Haringvlietbekken zelf mag men wel ijsvorming verwachten. De gemiddelde duur van het ijsbezwaar is lastig aan te geven; dit hangt behalve van de weersomstandigheden o.a. af van de grootte van de getijamplitude, de stroomsnelheden en de drift en deze zijn sterk afhankelijk van de opperwaterafvoer. In *zwakke winters* kan men gedurende het koude seizoen zowel kleine als grotere opperwaterafvoeren verwachten. Het ijsbezwaar op het Haringvlietbekken kan gedurende de *zwakke winters* ten hoogste gelijk zijn aan dat van stil water als op het toekomstige Zeeuwse Meer. Tot hoever dit ijs zich stroomopwaarts zal uitstrekken, is lastig aan te geven, maar het lijkt aannemelijk, dat dit tot in de omgeving van Werkendam het geval kan zijn.

In *strengere winters* zullen de in de aanvang van 4.2 genoemde factoren een grotere rol spelen. Het Haringvlietbekken zal dan op het toekomstige Zeeuwse Meer gelijken en dus zal de duur van het ijsbezwaar ongeveer overeen moeten komen met het aantal dagen, genoemd in tabel 3.2.2. In de tegen-

woordige situatie is echter de duur van het ijsbezwaar op het Hollands Diep reeds langer dan voor het Zeeuwse Meer moet worden verwacht (bijlage IV.5-3.2.1: gegevens voor Willemstad). Dit hangt samen met het feit, dat de duur van het ijsbezwaar mede bepaald wordt door de duur van de aanvoer van het drijfijis op de Waal. Deze duur hangt af van de klimatologische omstandigheden in een bepaalde winter.

Een ander, zeer belangrijk aspect is, dat de ijsbezetting en daarmee de kans op het vastraken van het ijs op het Haringvlietbekken zal toenemen. Het ijs raakt over het algemeen vast bij een ijsbezettingscoëfficiënt  $\alpha > 1$  (aangevende het deel van een bepaald riviervak, dat met ijs is bedekt, in dit geval dus kruierend ijs), en wel bij lage stroomsnelheden. Bij voldoende lage luchttemperaturen vriest dan het ijs snel aan elkaar en aan de oevers vast. De voortgaande aanvoer van het ijs door de rivier veroorzaakt een aangroeiing van het vaste ijsdek in bovenstroomse richting, waarbij snelheden van de aangroeiing van 25 km/etmaal mogelijk zijn.

Volgens de in de Appendix gegeven theorie kan de ijsbezetting op een bepaalde plaats van de rivier berekend worden uit de gegevens omtrent de ijsbezetting op een plaats hoger op deze rivier en omtrent de toeneming van de ijsbezetting ten gevolge van lage luchttemperaturen, gemiddelde waterdiepten, oppervlatafvoeren en gemiddelde breedten van de rivier. Uitgaande van een ijsbezetting op de Waal bij Nijmegen van 20% ( $\alpha = 0,2$ ), een lengte van het traject tot Anna Jacominaplaat van ca. 100 km en een gemiddelde luchttemperatuur bij lichte ijsbezetting van  $-7,5^\circ \text{C}$ , volgt, voor gemiddelde afvoer en spui-debietten door de Haringvlietsluizen volgens het voorlopig aangenomen spuiprogramma, voor Anna Jacominaplaat een ijsbezettingscoëfficiënt  $\alpha = 0,8$ ; bij O.L.R.-afvoer is dit  $\alpha > 1$ . Grote afvoeren komen in strenge winters gedurende de vorstperiode niet voor en worden daarom buiten beschouwing gelaten. Bij deze berekening is aangenomen, dat de Beneden-Merwede nog ijs kan afvoeren en dat het Hollands Diep het ijs kan bergen. Beide veronderstellingen zijn te gunstig. Op de nauwe Beneden-Merwede zal het drijfijis spoedig vastraken, doch de rivier zal het water blijven afvoeren, zodat de ijsbezetting van de Nieuwe Merwede sterk zal toenemen. Op het Hollands Diep zal bij de aangenomen luchttemperatuur veel ijs worden gevormd, dat ten gevolge van de geringe stroomsnelheden ( $< 0,25$  m/sec gedurende het grootste gedeelte van de eb) niet zal kunnen worden afgevoerd. Beide omstandigheden zullen bijdragen tot het vastzetten van het drijfijis op de Nieuwe Merwede bij een lagere ijsbezetting op de Waal bij Nijmegen dan de genoemde  $\alpha = 0,2$ , en wel reeds wanneer op de bovenrivieren nog nauwelijks drijfijis zal optreden.

Tabel 4.2.1 geeft enige indruk van de tijd, die onder de tegenwoordige omstandigheden verloopt tussen het verschijnen van het drijfijis op de Waal en het vastraken van het ijs.

Tabel 4.2.1

Tijdstippen van het verschijnen van drijfijis op Waal en Rijn en van het vastraken hiervan in de benedenrivieren in de periode 1928-1956

Winter	Datum waarop het eerste drijfijis op de Waal en de Rijn werd waargenomen	Datum waarop en plaats waar het ijs vastrakte
1928/'29	3 februari 1929	Boven-Merwede, 11 februari 1929.
1939/'40	4 januari 1940	Nieuwe Merwede, Boven-Merwede en Waal, 20 januari 1940.
1940/'41	23 december 1940	Ijs raakt niet vast; rivieren op 23 januari 1941 weer ijsvrij.
1941/'42	13 januari 1942	Boven-Merwede, 16 januari 1942.
1946/'47	22 december 1946	Nieuwe Merwede, Boven-Merwede en Waal, 30 januari 1947.
1953/'54	28 januari 1954	Waal, 1 februari 1954.
1955/'56	10 februari 1956	Nieuwe Merwede en Boven-Merwede, 13 februari 1956.

Uit de bovenstaande beschouwingen blijkt, dat in strenge winters de benedenrivieren eerder bedekt zullen zijn met een vast ijsdek dan bij de bestaande toestand.

#### 4.3 Maatregelen ter bestrijding van een toeneming van het ijsbezwaar op het Haringvlietbekken

Bij het ontwerpen van de uitwateringssluizen in het Haringvliet werd rekening gehouden met de wens om zo nodig het getijregime op het Haringvlietbekken bij het optreden van ijs te kunnen herstellen.

Daardoor zal het mogelijk zijn, tijdens de ijsgang de waterbeweging op het bekken binnen zekere grenzen te regelen. Twee voorbeelden van de mogelijke toestanden worden hier besproken.

Men zou kunnen overwegen de sluisen in het Haringvliet bij eb geheel open te zetten en bij vloed geheel te sluiten. Dit zou een vergroting van de drift op het Haringvlietbekken tot gevolg hebben en daarmee een verbetering van de afvoer van het ijs. Een ander gevolg zou evenwel zijn een sterke vermindering van de opperwaterafvoer, resp. een resulterende vloedstroom langs Rotterdam, hetgeen uit een oogpunt van waterhuishouding ontoelaatbaar is.

Een andere maatregel, welke overweging verdient, is te trachten zoveel mogelijk de thans bestaande toestand gedurende ijsperioden te herstellen door de sluisen in het Haringvliet gedurende het gehele getij geheel open te houden. Hierbij zij evenwel het volgende opgemerkt.

Zoals reeds in 4.1 is gezegd, vertoont het Volkerak thans een vloedoverschot, zodat via het Hellegat zout water op Hollands Diep en Haringvliet wordt gebracht. Na de uitvoering van het Deltaplan zal dit niet meer het geval zijn; bovendien is dan het getijvolume in de mond van het Haringvliet, zelfs wanneer de sluisen geheel geopend blijven, kleiner dan thans –  $440 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/getij in plaats van  $520 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/getij, bij gemiddeld getij en gemiddelde opperwaterafvoer –, zodat ook daardoor het zoutgehalte van het Haringvliet in het algemeen iets lager zal zijn dan thans. Door dezelfde oorzaak komt ook de invloed van het bij de aanvang van het koude seizoen warmere zeewater minder tot uiting. Zoals uit 4.1 blijkt, is de invloed van deze factoren thans merkbaar in de zone tot ongeveer de Hoornse Hoofden landinwaarts. Het bovenstaande betekent, dat de ijsproductie over het algemeen genomen in geringe mate zal toenemen en verder, dat het in 4.1 genoemde gebied met grote ijsproductie zich in de toekomst iets in zeewaartse richting zou uitbreiden.

Zoals reeds in 4.2 werd opgemerkt, is een gevolg van de afsluiting van het Volkerak een vermindering van de drift op het Haringvliet door het afsnijden van het meestal aanwezige vloedoverschot van het Volkerak, welke vermindering vooral bij kleine opperwaterafvoeren relatief groot is. Ook de berging van ijs op het Volkerak verdwijnt. Vooral ten gevolge van de laatste twee feiten kan het voorkomen, dat op het Haringvliet dan relatief meer ijs zal worden gevormd en aangevoerd dan door de spuisluisen zal worden afgevoerd.

In vergelijking met de thans bestaande toestand zal de verticale getijamplitude weliswaar afnemen – bij gemiddeld getij en gemiddelde opperwaterafvoer met gemiddeld 30% –, maar blijft dan toch nog voldoende groot om een brekende werking te hebben op aaneengesloten ijsvelden. De stroomsnelheden nemen in vergelijking met de thans bestaande toestand eveneens af. De vermindering van de stroomsnelheden is het meest opvallend voor het Hollands Diep bij Anna Jacominaplaat. In het algemeen is deze vermindering zodanig, dat men mag verwachten, dat het drijfijz eerder aaneen zal vriezen dan thans, hoewel de ijsproductie niet noemenswaard zal vermeerderen. Ten oosten van Willemstad zal de drift niet minder zijn dan thans. Hoewel de situatie gunstiger is dan in het in 4.2 besproken geval, mag men toch wel verwachten, dat het drijfijz zich eerder zal vastzetten dan thans het geval is.

Voorts kan men een aanpassing van het stroombed van het Haringvliet en het Hollands Diep overwegen. De hiermede na te streven doeleinden zijn:

- a. Beperking van de ijsvormende oppervlakte op de Haringvlietboezem (zoals uit 4.1 volgt, kan hierdoor de ijsproductie aanzienlijk worden beperkt en de hoofdafvoergeul wat dit betreft, worden ontlast).
- b. Verbeteren van de toestand op die plaatsen, waar de bodemligging of de horizontale strekking van de rivier aanleiding geeft tot het opeenhopen van ijsschotsen (thans bijv. scherpe geulbochten, Hellegatplaten en dammen, havendammen van Middelharnis, enz.).

Opgemerkt zij, dat dergelijke maatregelen de afvoer van hoog opperwater niet nadelig mogen beïnvloeden.

Een andere mogelijkheid om aan een vergroting van het ijsbezwaar het hoofd te bieden, vormt een uitgebreid ijsbreekprogramma. Dit kan op de Nieuwe Merwede en vooral verder bovenstrooms nauwelijks gezocht worden in een vergroting van het aantal ijsbrekers, gezien de beperkte rivierbreedte. Eerder zal hiervoor de toepassing van ijsbrekers met een groter vermogen in aanmerking komen, mits de diepgang van deze ijsbrekers aangepast is aan de minimale vaardiepte tijdens ijsgang. Mogelijk zal de snelheid van het ijsbreken verhoogd kunnen worden door het toepassen van explosieven.

## 5.0 DE OVERIGE STROMEN

### 5.1 De Beneden-Merwede, de Dordtse Kil en de Noord

Bij de bestaande toestand komt op de Beneden-Merwede in zwakke winters gedurende 2 dagen ijsbezwaar voor, waarvan 1 dag met zwaar ijs; in strenge winters zijn deze getallen 37 en 21. De overeenkomstige cijfers voor de Dordtse Kil zijn in zwakke winters 2 en 1, in strenge winters 37 en 33 en voor de Noord in zwakke winters 2 en 1, in strenge winters 36 en 18. Zoals reeds eerder werd opgemerkt, zit in strenge winters vooral de bovenmond van de Beneden-Merwede spoedig dicht en wordt er ter plaatse niet gebroken, zodat het ijs van de Waal langs de Nieuwe Merwede wordt afgevoerd. De ijs-toestand op de Dordtse Kil is nogal wisselvallig; tijdens dooi kunnen aan de benedenmond van deze stroom moeilijkheden ontstaan, doordat, bij wind uit zuidelijke richtingen, veel ijs uit het Hollands Diep de Kil wordt ingedreven; bovendien wordt de rivier zolang mogelijk opgehouden ter wille van ijsbrekers, die van dit vaarwater gebruik maken om de reparatiewerven te Dordrecht te kunnen bereiken.

Zowel voor de Beneden-Merwede als voor de Dordtse Kil zou waarschijnlijk de meest ongunstige situatie ontstaan, indien de Oude Maas aan de benedenmond werd afgesloten en met de Haringvliet-sluisen het normale spuiprogramma zou worden gevolgd. De waterbeweging op deze stromen is daarbij zó gering, dat ze op een stil binnenwater gaan gelijken; bovendien ontstaan aan de randen de ongunstige situaties als in 4.2 voor het Haringvlietbekken zijn beschreven. Onder deze omstandigheden zou het ijsbezwaar in zwakke winters hoogstens gelijk kunnen zijn aan dat op het Zeeuwse Meer; in strenge winters zou het ijsbezwaar groter zijn dan thans, hoewel exacte getallen hieromtrent niet te geven zijn.

Door in strenge winters de sluisen in het Haringvliet gedurende de gehele getijperiode geheel open te zetten, kan zowel op de Beneden-Merwede en op de Dordtse Kil als op de Noord een situatie worden geschapen, die slechts weinig afwijkt van de thans bestaande toestand.

### 5.2 De Oude Maas

Bij de bestaande toestand komt op de Oude Maas in zwakke winters gemiddeld 2 dagen ijsbezwaar voor, waarvan 1 dag met zwaar ijs; in strenge winters zijn deze getallen resp. 40 en 33. Tot op heden werd nog geen systematisch gebruik gemaakt van ijsbrekers met het doel de rivier open te houden voor de scheepvaart. In het IJverslag over 1941/'42 [4] wordt hieromtrent gezegd:

*„De verbinding van Dordrecht met de zee open te houden via de Oude Maas is ondoenlijk wegens de bruggen bij Barendrecht en Spijkenisse, die ernstige obstakels vormen voor de ijsafvoer. Bovendien is de scheepvaart er zo gering, dat deze het ontstaan van een vast ijsdek tijdens de stroomkenteringen, bij enige vorst, niet kan voorkomen”.*

In zekere zin geldt dit ook nu nog. Meestal zet het ijs zich het eerste vast tegen de pijlers van de brug te Spijkenisse; daar sindsdien een tweede brug op korte afstand van de eerste is gebouwd, is de situatie ter plaatse zeker niet gunstiger geworden.

Voor de Oude Maas ontstaat waarschijnlijk de meest ongunstige situatie met betrekking tot het ijsbezwaar, wanneer de rivier aan het benedeneinde zou zijn afgesloten en de sluisen in het Haringvliet tijdens vloed gesloten zouden blijven. Dit heeft in de eerste plaats tot gevolg, dat de invloed van het zoute water in het benedenstroomse deel van de rivier niet meer merkbaar is, terwijl de Oude Maas – ten aanzien van de ijsvorming en de ijsbeweging – door de kleine getij-amplitude, de kleine stroomsnelheid, de betrekkelijk geringe breedte en de daardoor beschutte ligging (geen golven), alsmede door de geringe scheepvaart, ongeveer in dezelfde situatie zou komen te verkeren als een zoetwatermeer. Het ijsbezwaar op de Oude Maas zou dan vergelijkbaar zijn met dat op het Zeeuwse Meer, dat werd becijferd op 41 dagen ijsbezwaar, waarvan 38 dagen met zwaar ijs; in zwakke winters zijn deze cijfers resp. 9 en 5.

Bij andere omstandigheden, bijv. wanneer de benedenmond van de Oude Maas open blijft en/of wanneer de sluisen in het Haringvliet gedurende het gehele getij geopend blijven, zou de grootte van het ijsbezwaar ongeveer tussen het bovengeschetste en dat voor de bestaande toestand in liggen; het feit, dat de Oude Maas nagenoeg geen ijs van de bovenrivieren afvoert, is hierbij in aanmerking genomen.

### 5.3 De Lek

Bij de bestaande toestand wordt de benedenloop van de Lek gekarakteriseerd door 3 dagen ijsbezwaar (waarvan 1 dag met zwaar ijs) in zwakke winters en 46 dagen ijsbezwaar (waarvan 30 dagen met zwaar ijs) in strenge winters. Het drijfijz zet zich in strenge winters in het benedendeel van de Lek reeds vast, wanneer de ijsbezetting bovenstrooms op de Neder-Rijn en de Rijn nog gering is. Zie ook tabel 5.3.1 en de Appendix.

Tabel 5.3.1

Tijdstippen van het verschijnen van drijfijz op Neder-Rijn en Rijn en van het vastraken van het ijs in de periode 1928-1956

Winter	Datum, waarop het eerste drijfijz op Neder-Rijn en Rijn werd waargenomen	Datum waarop het ijs vastraakte
1928/'29	3 februari 1929	12 februari 1929
1939/'40	3 januari 1940	12 januari 1940
1940/'41	23 december 1940	16 januari 1941 (op de Waal raakt het ijs in het geheel niet vast)
1941/'42	13 januari 1942	15 januari 1942
1946/'47	19 december 1946	21 december 1946
	27 januari 1947	29 januari 1947
1953/'54	31 januari 1954	1 februari 1954
1955/'56	10 januari 1956	16 januari 1956

Door de uitvoering van het Deltaplan zal de waterbeweging op de benedenloop van de Lek veranderen. De verticale getij-amplitude bijv. zal verminderen, maar blijft toch nog voldoende groot om een brekende werking uit te oefenen op aaneengesloten ijsvelden. De veranderingen in de waterbeweging zullen niet zodanig zijn, dat de ijsvorming ter plaatse in belangrijke mate zal veranderen. Ook het tijdstip, waarop het drijfijz zich vastzet, zal waarschijnlijk weinig veranderen; dit geldt te meer, daar bij de tegenwoordige omstandigheden het ijs in het benedenstroomse deel van de Lek zich reeds vastzet kort na het verschijnen van het eerste drijfijz meer bovenstrooms. Opgemerkt zij, dat bij de bovenstaande conclusies de invloed van de kanalisatie van Rijn en Lek buiten beschouwing is gelaten.

## 6.0 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

1. Onderscheid wordt gemaakt tussen het Zeeuwse Meer (omvattende de wateren tussen de Westerschelde en het Hellegat), het Haringvlietbekken (omvattende het Haringvliet, het Hollands Diep en de Nieuwe Merwede) en de overige wateren, welke in het kader van deze studie van belang zijn.
2. Er bestaat verschil, op meer dan één punt, tussen de ijsvorming op zout water en op zoet water.
3. De ijsvorming op het toekomstige Zeeuwse Meer zal toenemen als gevolg van:
  - a. het verdwijnen van de vriespuntsverlaging door de verzoeting van het water;
  - b. de geringere menging als gevolg van het verdwijnen van de getijbeweging;
  - c. het verdwijnen van de invloed van het bij de aanvang van het koude seizoen warmere zeewater.
4. Een vergelijking tussen het toekomstige Zeeuwse Meer enerzijds en het IJsselmeer en de Friese meren anderzijds, wat betreft het algemene beeld van het ijsbezwaar, is mogelijk, mits correctiecoëfficiënten worden ingevoerd voor het verschil in klimatologische omstandigheden en in oppervlakte.
5. Onder de tegenwoordige omstandigheden ondervindt de scheepvaart langs de scheepvaartwegen Westerschelde-Rijn en Westerschelde-Rotterdam het langste hinder op het Hollands Diep. Het aantal dagen, dat de scheepvaart hier gemiddeld door het ijs wordt gehinderd, is voor de strenge winters zelfs groter dan het berekende gemiddelde aantal dagen hinder op het toekomstige Zeeuwse



Meer. De ijsbestrijding ten behoeve van de scheepvaart zal dus in de toekomst voornamelijk op het Haringvlietbekken gericht moeten zijn.

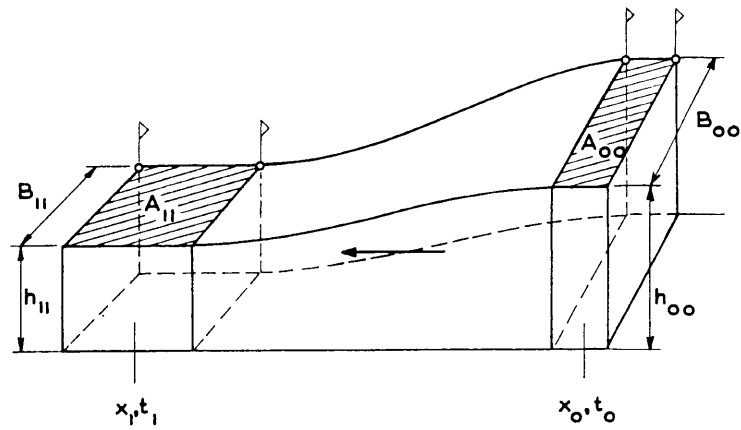
6. De ijsvorming op het Haringvliet zal in de toekomst toenemen als gevolg van:
  - a. het verdwijnen van de vriespuntsverlaging door de verzoeting van het water;
  - b. het verminderen van de menging door het afnemen van de getijbeweging;
  - c. het verdwijnen van de invloed van het bij de aanvang van het koude seizoen warmere zeewater.
7. Het ijs op het Haringvlietbekken en het drijfijls, dat door de bovenrivieren wordt aangevoerd, zal na de uitvoering van het Deltaplan in strenge winters belangrijk eerder kunnen vastraken dan in overeenkomstige omstandigheden bij de tegenwoordige toestand, indien hiertegen geen maatregelen zouden worden getroffen.
8. De veranderingen in de waterbeweging op de Beneden-Merwede, de Dordtse Kil, de Noord en de Oude Maas zijn afhankelijk van het al dan niet afsluiten van de benedenmond van de Oude Maas; het karakter van deze waterbeweging beïnvloedt de ijsvorming en de ijsbeweging.
9. Een toeneming van ijsbezwaren als gevolg van de uitvoering van het Deltaplan kan bestreden worden door:
  - a. een goede regeling van het getijregime op het Haringvlietbekken door middel van de Haringvlietssluisen;
  - b. aanpassing van het stroombed van het Hollands Diep en van het Haringvliet om de ijsproductie ter plaatse te beperken en zo mogelijk het doorvoeren van het ijs te bevorderen;
  - c. toepassing van schermconstructies om ophopingen van ijs in de vaargeulen als gevolg van de invloed van wind te beperken;
  - d. uitbreiding van het ijsbreekprogramma door het inzetten van meer en krachtiger ijsbrekers;
  - e. overige maatregelen, waarvan de toepassingsmogelijkheden thans worden bestudeerd, zoals vorming van vaargeulen in het ijsdek op stilstaand water door middel van perslucht, opruimen van ijssdammen en van een vast ijsdek met springstoffen en vermindering van ijsvorming door toevoer van warm koelwater van de industrie.
10. Resumerende kan worden gezegd, dat ter vermijding van een toeneming van het ijsbezwaar als gevolg van de uitvoering van het Deltaplan in vergelijking met de thans bestaande toestand een complex van op elkaar afgestemde maatregelen nodig is. Deze maatregelen vormen momenteel het onderwerp van voortgezet onderzoek, dat door de Rijkswaterstaat in samenwerking met anderen wordt verricht.

## APPENDIX

### A 1.0 De beweging van drijfijls op rivieren

Een ijsschots is slechts gedeeltelijk onderhevig aan dezelfde krachten als de waterdeeltjes aan de oppervlakte. De wrijving tussen het ijs en het water is bijv. kleiner dan de turbulente wrijving tussen de waterlagen aan de oppervlakte onderling. Dit heeft o.a. tot gevolg, dat het drijfijls onder invloed van de zwaartekracht de neiging vertoont, zich gemiddeld sneller te bewegen dan het water. Ook reageert het drijfijls sterker op door de wind uitgeoefende krachten dan het water; dit effect is vooral goed merkbaar op de brede Zeeuwse en Zuidhollandse stromen. Doordat de wrijving tussen het drijfijls en het water kleiner is dan tussen de waterlagen onderling, ijlt de beweging van het drijfijls na t.o.v. de beweging van het water bij een niet-permanent karakter van de waterbeweging. Op rivieren met een normale getijbeweging kan dit laatste effect als regel evenwel worden verwaarloosd. Bij een op korte afstand sterk veranderde waterbeweging, als bijv. in scherpe bochten, bij de koppen van kribben, enz., is echter wel een duidelijke na-ijling te constateren.

De beweging van het ijs wordt beïnvloed door de waterbeweging, maar het omgekeerde geldt eveneens. Dit komt o.m. tot uiting in grote variaties van de coëfficiënt van De Chézy ( $C$  in de formule  $v = C \sqrt{RI}$ ), afhankelijk van de ijstoestand op de rivier. Bij aanwezigheid van drijfijls op de rivier



$$\alpha_{xt} = \frac{b_{xt}}{B_{xt}} \dots\dots\dots (1)$$

$$A_{00} \cdot h_{00} = A_{11} \cdot h_{11} = \dots\dots\dots = A_{nn} \cdot h_{nn}$$

$$A_{00} \cdot \alpha_{00} = A_{11} \cdot \alpha_{11} = \dots\dots\dots = A_{nn} \cdot \alpha_{nn}$$

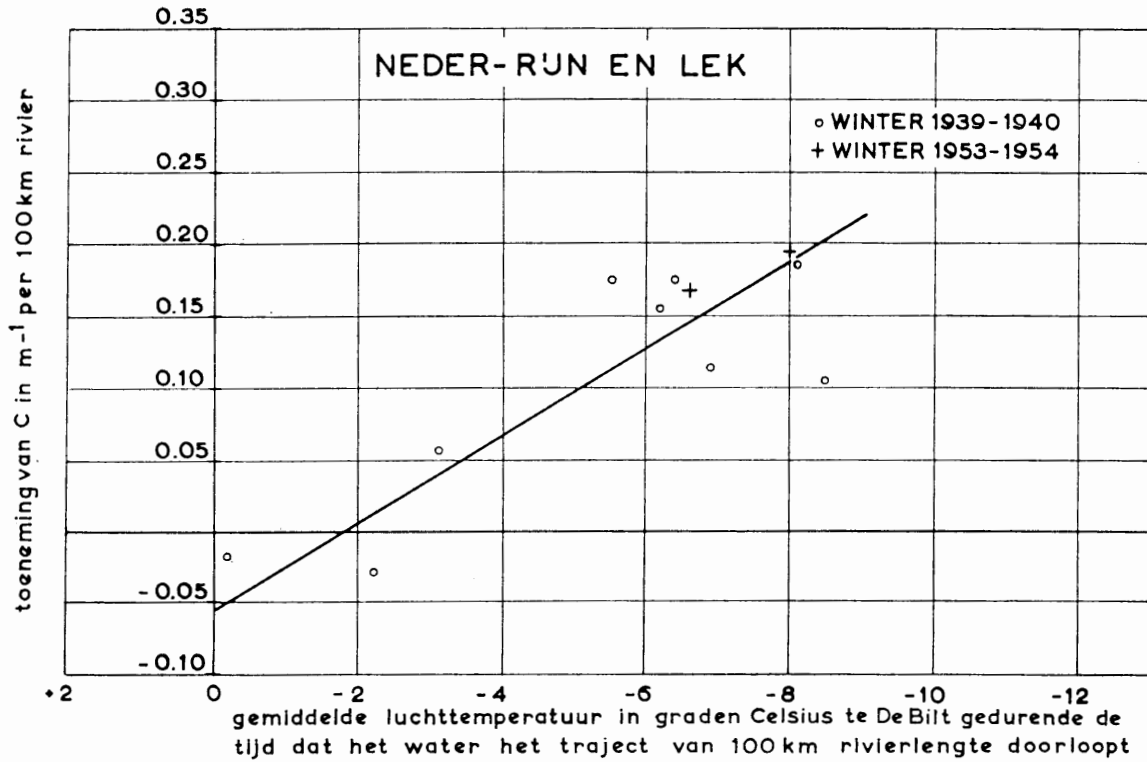
$$\alpha_{xt} = C \cdot h_{xt} \dots\dots\dots (2)$$

$$Y_{xt} = C \cdot Q_{xt} \dots\dots\dots (3)$$

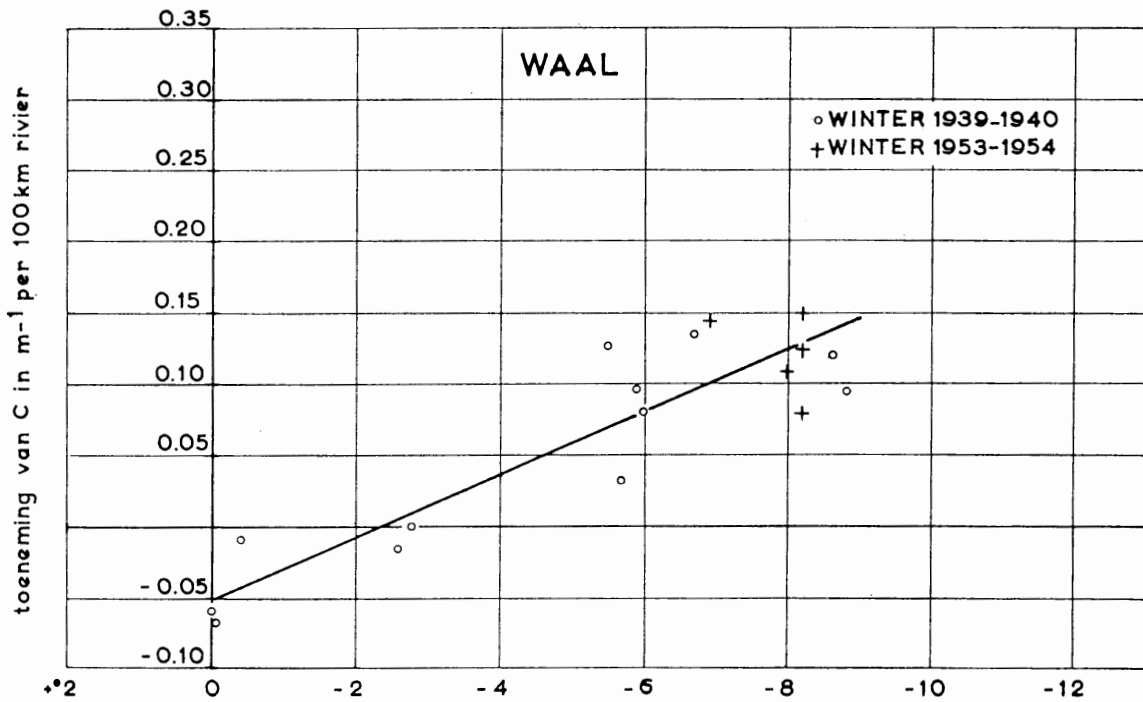
$$C = C_1 \frac{Q_1}{\sum Q} + C_2 \frac{Q_2}{\sum Q} + \dots\dots\dots + C_n \frac{Q_n}{\sum Q} \dots\dots\dots (4^a)$$

$$C_1 = C_2 = \dots\dots\dots = C_n \dots\dots\dots (4^b)$$

Figuur A 1.0.1. Berekeningsschema voor de ijsbezetting op rivieren

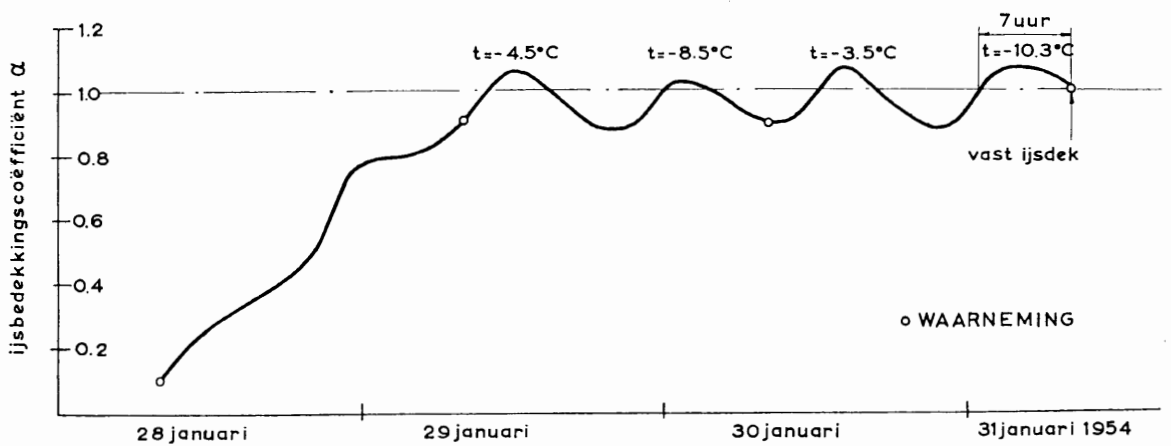
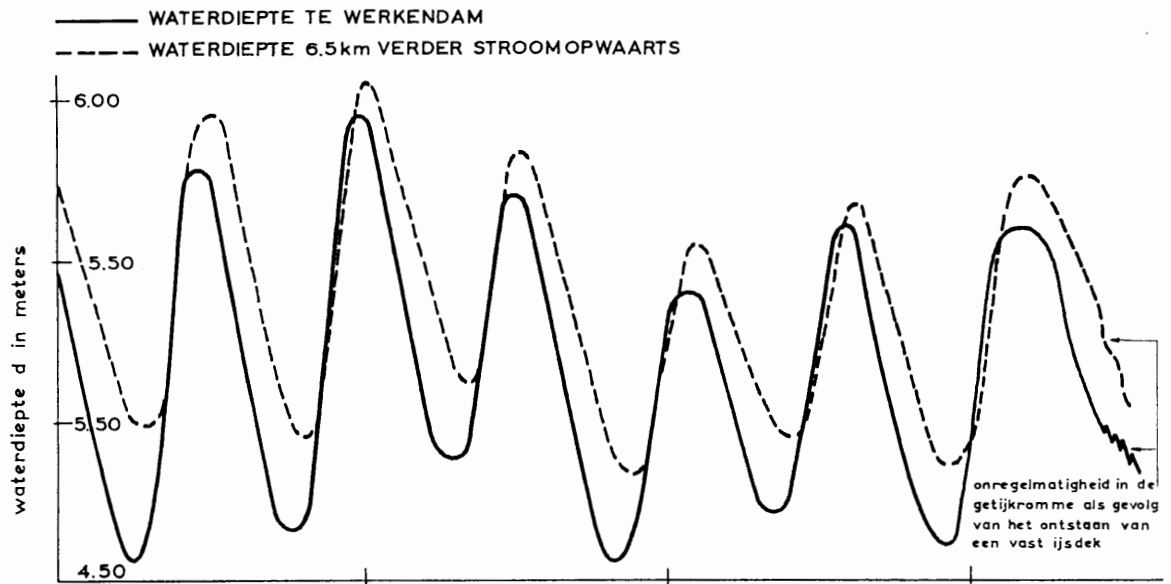
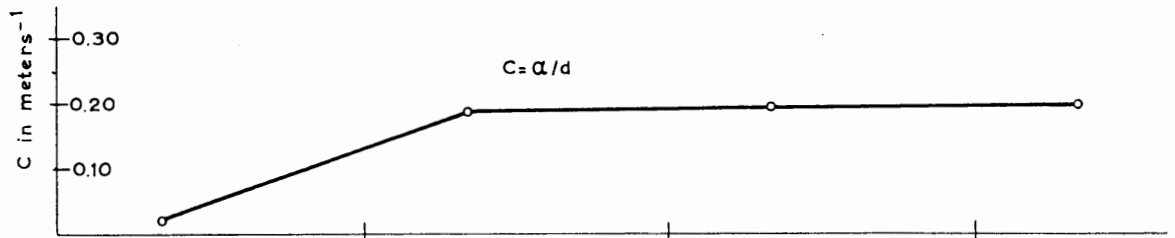


Figuur A 1.0.2. Toeneming van de ijsafvoerhouding  $C$  op Neder-Rijn en Lek als functie van de luchttemperatuur te De Bilt



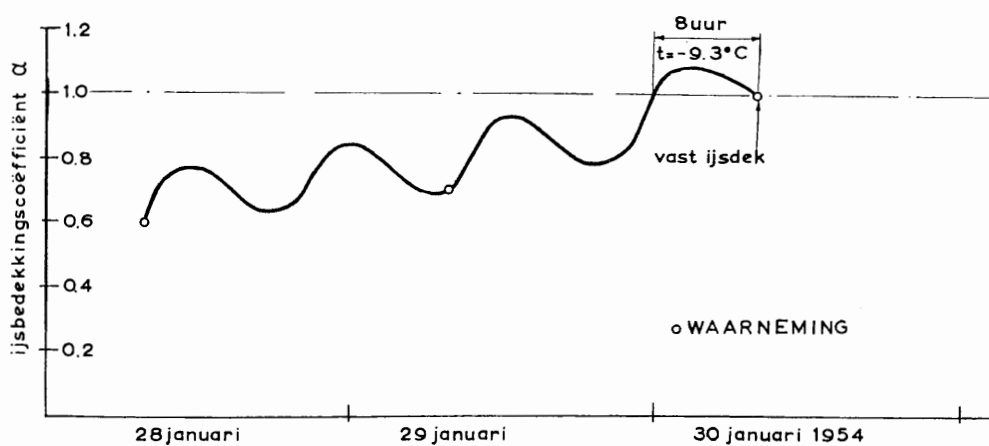
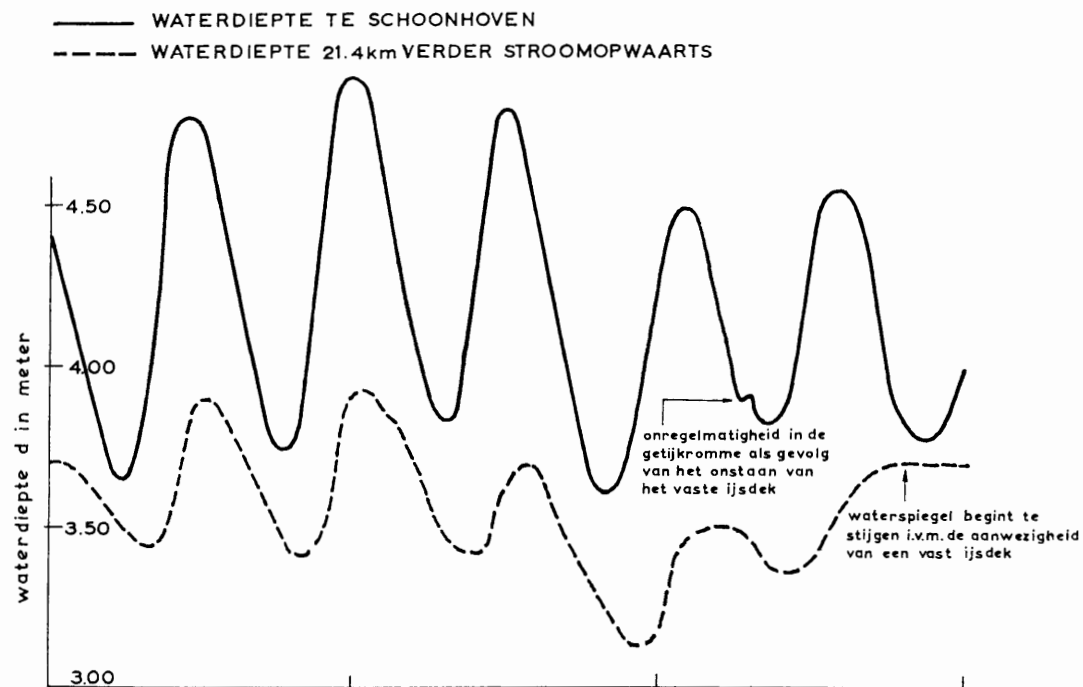
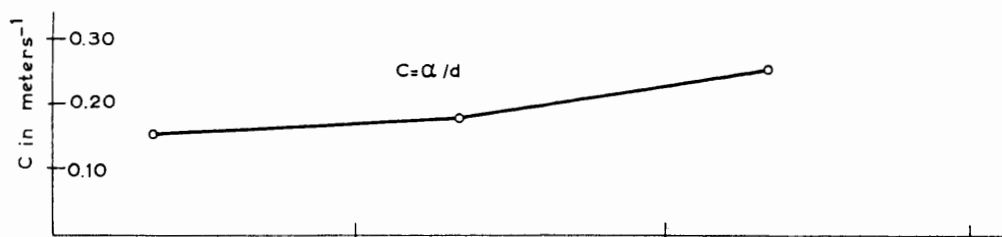
Figuur A 1.0.3. Toeneming van de ijsafvoerhouding  $C$  op de Waal als functie van de luchttemperatuur te De Bilt

BOVEN-MERWEDE TE WERKENDAM



Figuur A 1.0.4. Verloop van de waarden van de ijsafvoerhouding  $C$ , van de waterdiepte  $d$  en van de ijsbedekkingscoëfficiënt

## LEK TE SCHOONHOVEN



et begin van het ontstaan van een vast ijsdek op de Boven-Merwede bij Werkendam en op de Lek bij Schoonhoven (januari 1954)

is deze coëfficiënt bijv. lager dan zonder de aanwezigheid van drijfijis het geval is. Als een eerste benadering zullen hier de beweging van het drijfijis en de gemiddelde beweging van het water gelijk worden verondersteld.

De situatie op een rivier met betrekking tot het drijfijis kan enigszins worden gekarakteriseerd door middel van de zg. ijsbedekkingscoëfficiënt  $\alpha$ ; hieronder wordt verstaan de verhouding tussen de oppervlakte van het drijfijis in een bepaald riviervak en de oppervlakte van het stroombed in dat vak:

$$\alpha_{xt} = \frac{b_{xt}}{B_{xt}} \quad (1)$$

waarin

$\alpha_{xt}$  = de ijsbedekkingscoëfficiënt, bijv. in tiende delen;

$b_{xt}$  = de gemiddelde breedte van de aaneengesloten gedachte ijsschotsen in m;

$B_{xt}$  = de gemiddelde breedte van het stroombed in m.

Stel, dat men de beweging volgt van een ijsschots, drijvende op de door een tweetal drijvers gemarkeerde hoeveelheid water  $A \cdot h$ . Op het moment  $t_0$  bevindt de ijsschots zich te  $x_0$ , op het moment  $t_1$  te  $x_1$  (zie figuur A 1.0.1). Aannemende, dat geen ijs wordt gevormd onderweg en dat geen water en ijs worden toegevoerd naar of afgevoerd uit het betreffende riviervak, kunnen de volgende formules worden opgesteld.

$$\begin{aligned} A_{00} \cdot h_{00} &= A_{11} \cdot h_{11} = \dots = A_{nn} \cdot h_{nn} \\ A_{00} \cdot \alpha_{00} &= A_{11} \cdot \alpha_{11} = \dots = A_{nn} \cdot \alpha_{nn} \\ \frac{\alpha_{00}}{h_{00}} &= \frac{\alpha_{11}}{h_{11}} = \dots = \frac{\alpha_{nn}}{h_{nn}} \\ \alpha_{xt} &= C \cdot h_{xt} \end{aligned} \quad (2)$$

en

$$\begin{aligned} Y_{xt} &= B_{xt} \cdot V_{xt} \cdot \alpha_{xt} = C \cdot B_{xt} \cdot h_{xt} \cdot V_{xt} \\ Q_{xt} &= B_{xt} \cdot h_{xt} \cdot V_{xt} \\ Y_{xt} &= C \cdot Q_{xt} \end{aligned} \quad (3)$$

waarin

$C$  = ijsafvoer verhouding, in  $m^{-1}$ ;

$Y_{xt}$  = de afvoer van ijs, in  $m^2 \text{ sec}^{-1}$ ;

$Q_{xt}$  = de afvoer van water, in  $m^3 \text{ sec}^{-1}$ ;

$V_{xt}$  = de gemiddelde stroomsnelheid = de gemiddelde snelheid van de ijsschotsen, in  $m \text{ sec}^{-1}$ .

In deze formules is geen rekening gehouden met de dikte van het ijs. De toeneming van de ijsdikte als gevolg van het over en onder elkaar schuiven van de schotsen, vindt in het algemeen alleen plaats, wanneer de ijsbedekkingscoëfficiënt  $\alpha$  de waarde 1,0 nadert.

Uitgaande van de gemaakte veronderstellingen behoudt de ijsafvoer verhouding  $C$  een zelfde waarde, wanneer men zich langs de rivier beweegt. Met een bekende  $C$ -waarde kan de ijsbedekkingscoëfficiënt  $\alpha$  dan worden berekend uit het verloop van de waterdiepte met behulp van formule (2). In het getijgebied wordt de grootste waarde van de ijsbedekkingscoëfficiënt blijkbaar gevonden tijdens hoogwater.

Bij de samenvloeiing van twee of meer rivieren is de afvoer van water en ijs benedenstrooms van het samenvloeiingspunt gelijk aan de afvoer van water en ijs door de samenkomende stromen. Uit formule (3) volgt dan:

$$C = C_1 \cdot \frac{Q_1}{Q} + C_2 \cdot \frac{Q_2}{Q} + \dots + C_n \cdot \frac{Q_n}{Q} \quad (4a)$$

Op een punt, waar een stroom zich verdeelt in twee of meer takken, is de verdeling van het drijfijis over de takken niet noodzakelijkerwijs gelijk aan de verdeling van het water over de takken. Dit hangt

onder meer af van de configuratie van het rivierbed, van de invloed van de wind, enz. Neemt men aan, dat het ijs en het water wel in gelijke verhouding over de verschillende takken worden verdeeld, dan geldt:

$$C_1 = C_2 = \dots = C_n \quad (4b)$$

Op een splitsingspunt in het getijgebied is  $\frac{Q_n}{Q}$  als regel een functie van de tijd en gezien het bovenstaande is ook  $C = f(t)$ .

Het bovenaangegeven beeld van de beweging van drijfijis wordt door verschillende oorzaken verstoord. Door de configuratie van het rivierbed, door de aanwezigheid van zandbanken, brugpijlers, kribben, enz. kunnen belangrijke afwijkingen van het geschetste beeld ontstaan.

Op het punt, waar de Rijn ons land binnenkomt, is de aanvoer van drijfijis van boven niet constant. Bovendien neemt de hoeveelheid ijs toe in perioden met strenge vorst en neemt deze hoeveelheid af in perioden met dooi, tijdens het passeren door het riviergedeelte tussen de grens en het punt, waar de vorming van een vast ijsdek begint. De figuren A 1.0.2 en A 1.0.3 geven de variatie van  $C$  weer als functie van de luchttemperatuur, en wel voor de Waal en voor Neder-Rijn en Lek. Deze figuren zijn gebaseerd op talrijke, maar tamelijk ruwe schattingen van de ijsbedekkingscoëfficiënt  $\alpha$  gedurende een aantal winters. Blijkbaar hebben de Neder-Rijn en de Lek een relatief grotere ijsproductie dan de Waal. De helling van de energielijn was voor beide rivieren nagenoeg hetzelfde, terwijl de verhouding van de diepte gemiddeld 1 : 1,3 en van de afvoer gemiddeld 1 : 3 was. Hierbij zij nog opgemerkt, dat gedurende de periode, dat drijfijis in de rivieren voorkwam, de temperatuur van het water over de gehele diepte 0° C was of zelfs iets lager.

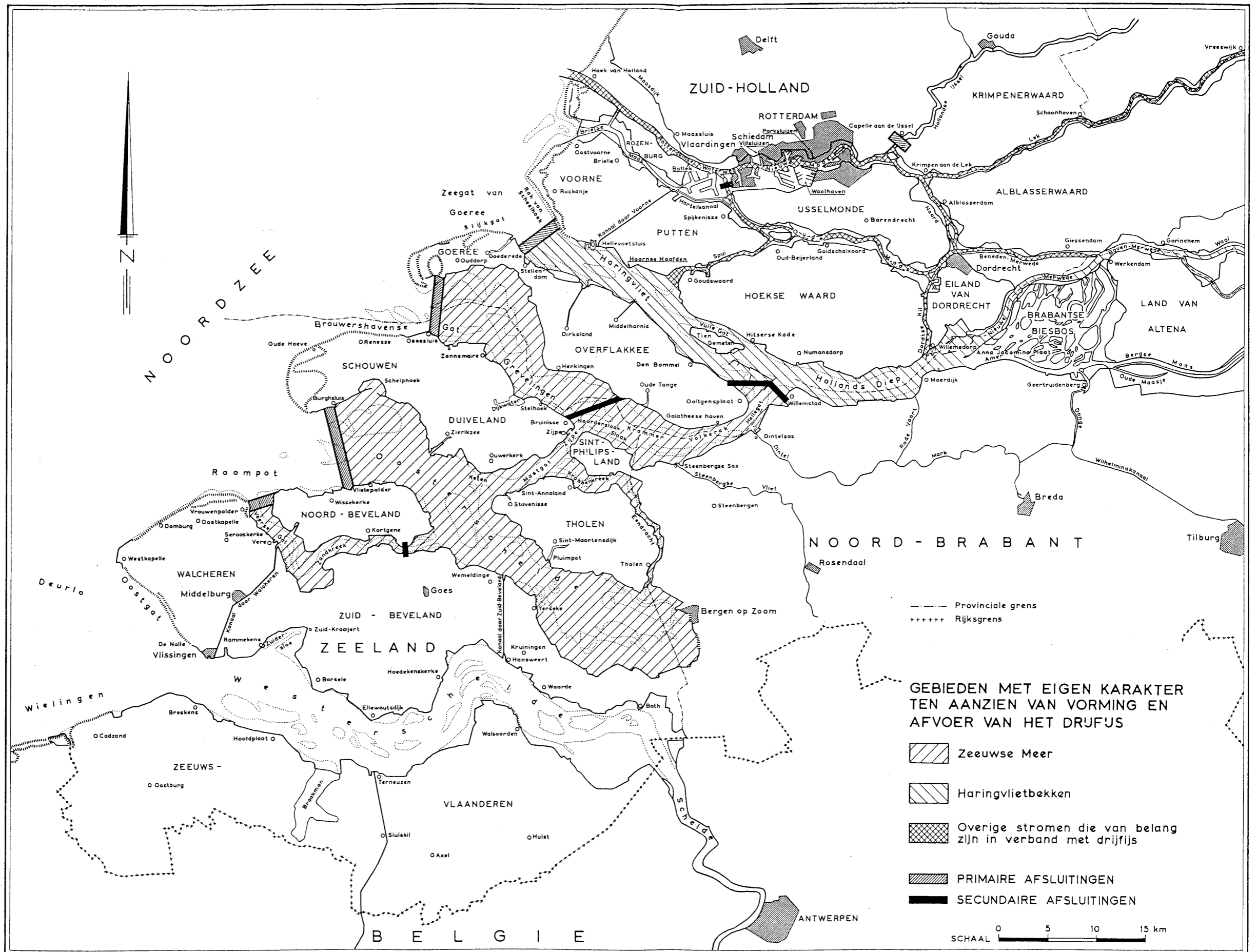
Wanneer de ijsbedekkingscoëfficiënt de waarde 1,0 nadert, d.w.z. wanneer de gehele rivier nagenoeg bedekt is met ijs, is de kans groot, dat zich een vast ijsdek vormt. Enige tijd vóórdat een vast ijsdek gevormd wordt, neemt de dikte van het ijs enigszins toe door het op en onder elkaar schuiven van de ijsschotsen; de berekende ijsbedekkingscoëfficiënt neemt hierbij een waarde aan, die iets groter is dan 1,0. Speciaal op de grens van de bovenrivier en het getijgebied, waar de snelheid van het water gedurende een deel van de getijperiode klein of zelfs nul kan zijn en bovendien de getijrijzing en -daling te klein zijn om een brekend effect op het vaste ijsdek te hebben, zijn de omstandigheden gunstig voor de vorming van een vast ijsdek.

Een aantal waarnemingen van de ijsbedekkingscoëfficiënt in de overgangzone, die verricht zijn gedurende enige winters, maakte het mogelijk het verdere verloop van deze coëfficiënt ter plaatse voor enige getijden te berekenen. Als voorbeeld is dit nader aangegeven voor de Lek en de Boven-Merwede voor de winter 1953/'54 in figuur A 1.0.4. In het algemeen is het meest kritieke moment voor het vast-raken van het ijs korte tijd na hoogwater, tijdens de kentering van vloed- naar ebstroom, wanneer de ijsbedekkingscoëfficiënt een hoge waarde heeft en de stroomsnelheid gedurende betrekkelijk lange tijd klein blijft. De volgende omstandigheden blijken te zamen in het algemeen gunstig te zijn voor het vastraken van het ijs op de grens van de bovenrivier en het getijgebied:

- a. De ijsbedekkingscoëfficiënt  $\alpha$  heeft een waarde, iets groter dan 1,0 gedurende minstens 5 à 8 uur.
- b. De gemiddelde luchttemperatuur in deze periode is lager dan — 9° C,
- c. De gemiddelde stroomsnelheid in deze periode is niet meer dan 0,5 m/sec.

Met behulp van het bovenstaande is het mogelijk het moment, waarop het ijs vast gaat zitten, 1 à 2 dagen van te voren te berekenen. De nodige gegevens zijn:

- a. De ijsbedekkingscoëfficiënt  $\alpha$  en de waterstand te Lobith op het moment, waarop de voorspelling wordt gedaan.
- b. Een voorspelling tot het moment, waarvoor de voorspelling gedaan moet worden, van het verloop van de gemiddelde luchttemperatuur te De Bilt en van de waterstanden in de kritieke zone.



Kaart van Zuidwest-Nederland met een indeling naar gebieden met een eigen karakter ten aanzien van de vorming en de afvoer van drijfijs





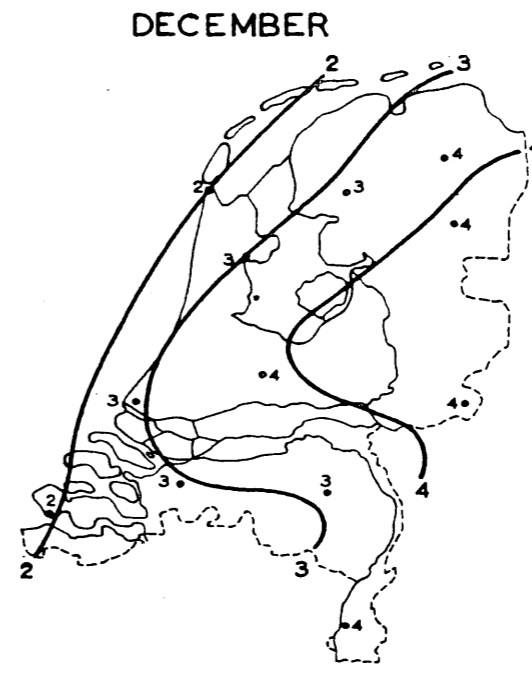
WINTERS																			WAARNEMINGSSTATIONS					
1938/'39	1939/'40	1940/'41	1941/'42	1942/'43	1943/'44	1944/'45	1945/'46	1946/'47	1947/'48	1948/'49	1949/'50	1950/'51	1951/'52	1952/'53	1953/'54	1954/'55	1955/'56	1956/'57						
A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B	A B						
8	-	43	-	19	6	53	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ouddorp					
-	-	?	?	6	-	46	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Repart					
-	-	37	-	13	10	52	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Brouwershaven					
9	-	45	33	22	15	55	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Bruinisse					
11	1	?	?	23	18	58	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Steenbergse Sas					
-	-	19	-	5	-	52	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Vlietepolder					
-	-	48	-	13	1	47	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Zierikzee					
6	2	46	30	23	19	57	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Wemeldinge					
-	-	35	1	9	5	38	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Vere					
4	-	39	9	15	8	51	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ZEEUWSE MEER (GEMIDDELDE)					
19	18	55	53	36	21	62	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Hellevoetsluis					
						59	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Middelharnis					
18	15	54	50	31	20	62	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Willemstad					
						61	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Numansdorp					
14	10	61	37	31	13	58	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Moerdijk					
						60	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	HARINGVLIETBEKKEN (GEMIDDELDE)					
2	6	48	45	21	16	54	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Werkendam					
1	2	50	44	24	11	59	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sint-Andries,Waal					
0	1	54	49	20	9	47	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nijmegen					
4	9	22	16	13	4	51	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Geertruidenberg,Amer					
15	13	40	33	12	4	28	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mond der Donge					
1	7	51	10	17	5	57	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Dordrecht, Beneden-Merwede					
11	7	45	10	18	5	57	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Dordrecht, Noord					
18	9	54	38	31	15	59	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Krimpen aan de Lek					
20	-	45	25	27	7	53	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Rotterdam					
11	10	52	50	21	12	58	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Dordrecht, Oude Maas (beneden Mallegat)					
5	5	51	39	30	19	63	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Spijkenisse, Oude Maas					
3	10	49	46	32	21	61	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Oud-Beijerland, Spui					
14	29	98	91	68	62	76	74	7	3	-	-	13	9	99	94	16	12	2	1	3	3	Hals van het IJsselmeer		
10	30	99	95	64	59	77	74	11	6	4	-	18	15	95	92	16	12	10	3	12	10	Kom van het IJsselmeer		
32	30	99	93	66	61	77	74	9	5	2	-	16	12	97	93	16	12	6	2	8	7	IJSSELMEER (GEMIDDELDE)		
10	20	80	77	70	65	78	72	12	8	3	-	-	-	99	98	17	13	7	4	14	11	Stavoren, Warnservaart en Hegermeer		
		80	80	62	61	79	78	5	5	2	-	-	-	98	97	15	10	5	2			Scharsterburg, Scharsterrijn en Tjeukemeer		
		80	75	78	68	78	75	15	9	8	-	-	-	14	5	89	84	14	14	7	5	13	11	Snekermeer, Terhornstersluis
		76	73	55	45	72	72	8	-	-	-	-	-	12	9	89	78	10	8	3	-	11	10	Bergumermeer, Schuilenburg
		79	76	66	60	77	74	10	6	3	-	-	-	7	4	94	89	14	11	6	3	13	11	FRIESE MEREN (GEMIDDELDE)

Gegevens ontleend aan ijsverslagen uitgegeven door de Rijkswaterstaat [7]

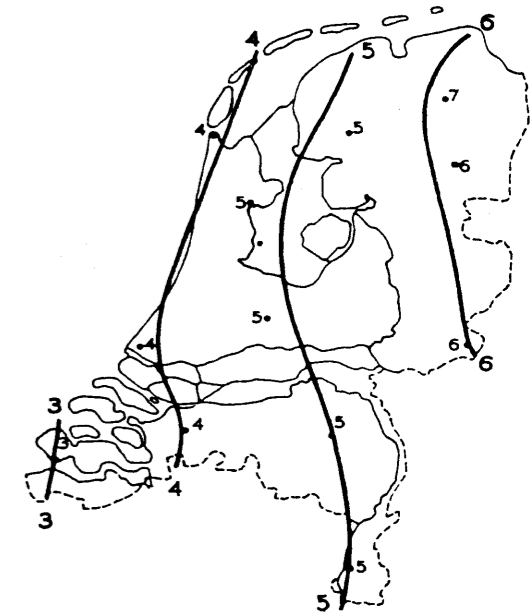


Waarnemingsstations waarvan de gegevens zijn gebruikt, gegevens ontleend aan [1]

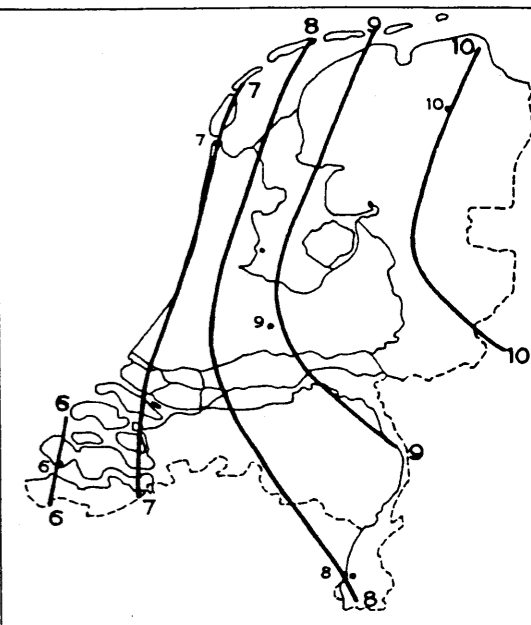
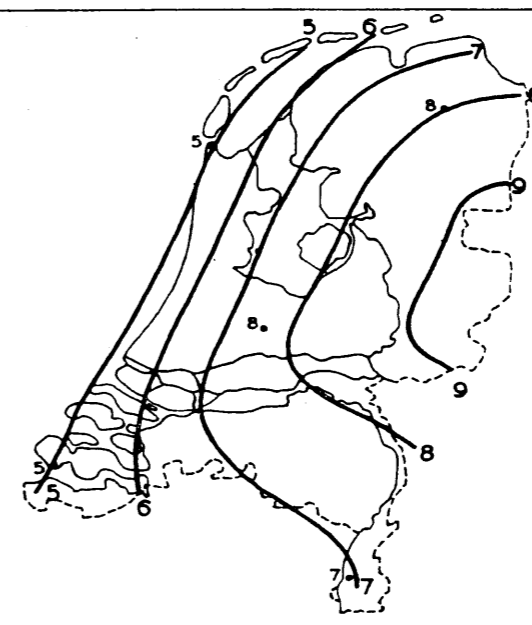
AANTAL DAGEN MET MAXIMUMTEMPERatuur  
BENEDEN 0°C  
1921 - 1950



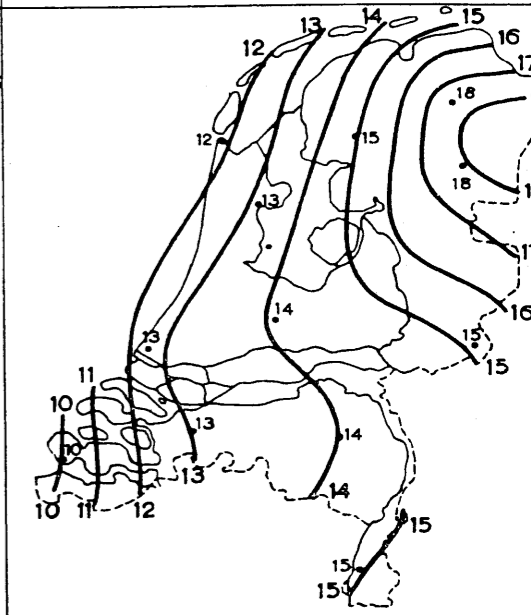
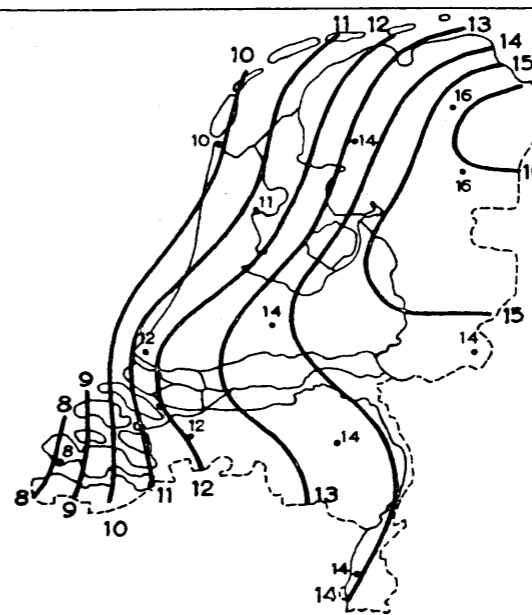
JANUARI



AANTAL DAGEN MET NEGATIEVE  
ETMAALTEMPERatuur  
1921 - 1950



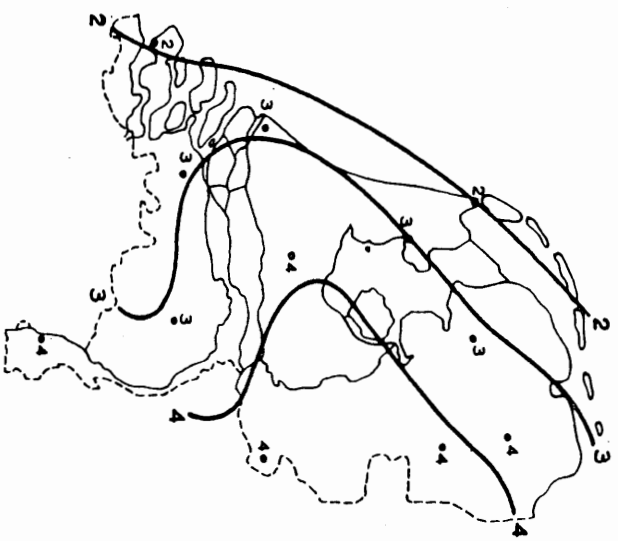
AANTAL DAGEN MET MINIMUMTEMPERatuur  
BENEDEN 0°C  
1921 - 1950



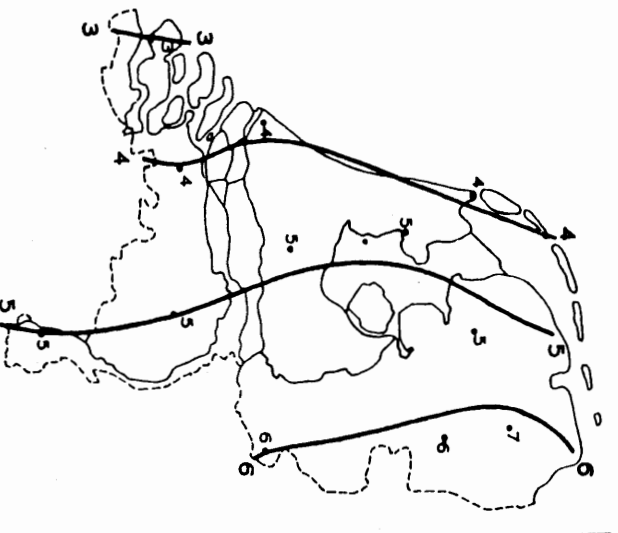
Overzicht van het aantal dagen in Nederland met temperaturen beneden het vriespunt voor de maanden december, januari.

DECEMBER

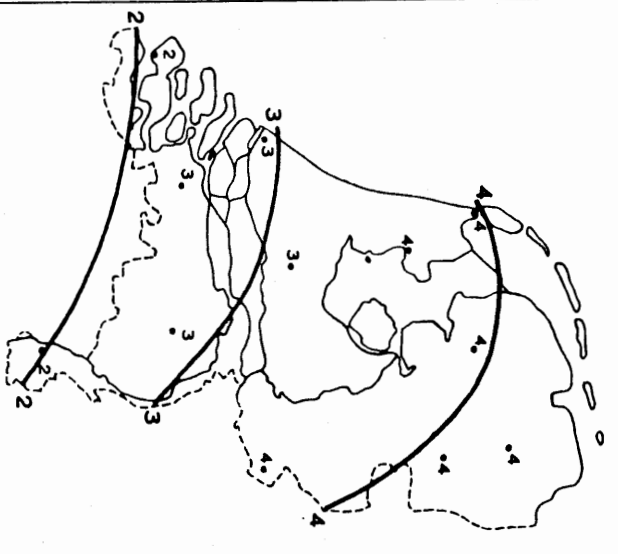
AANTAL DAGEN MET MAXIMUMTEMPERatuur  
BENEDEN 0°C  
1921-1950



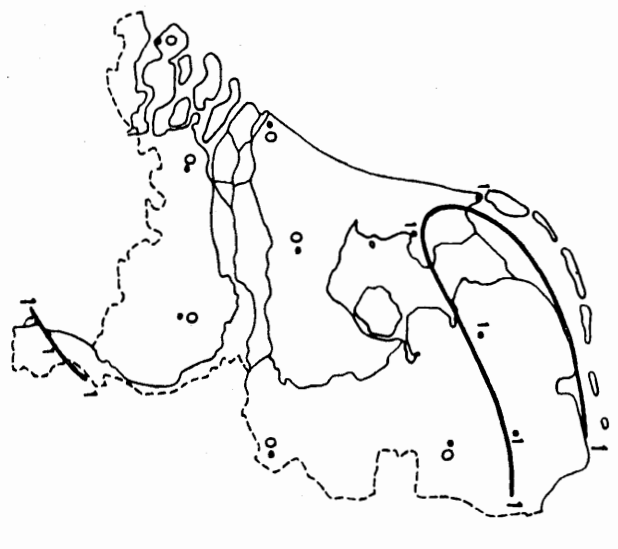
JANUARI



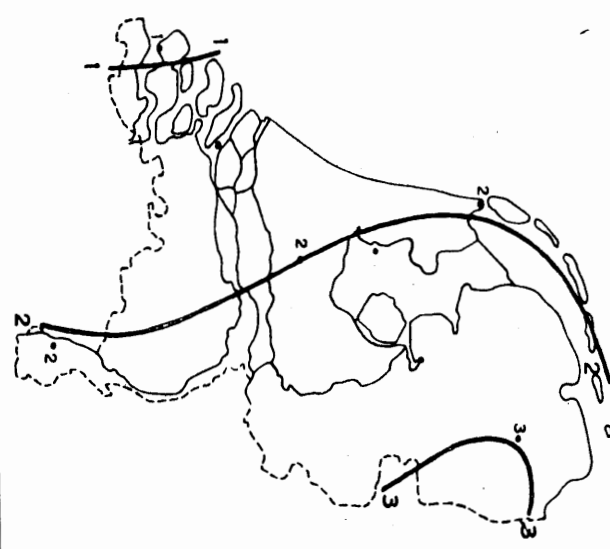
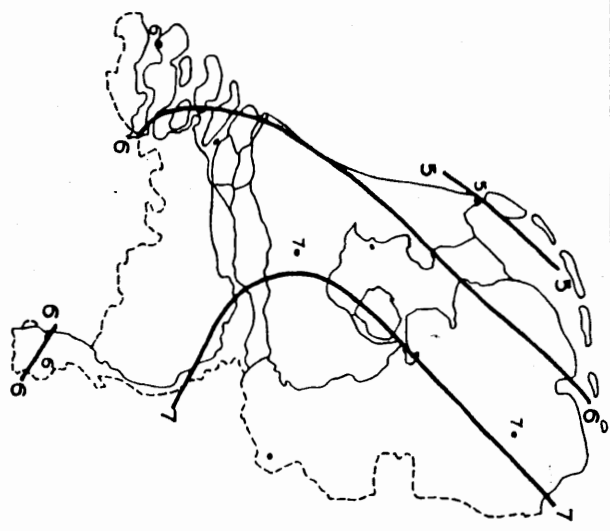
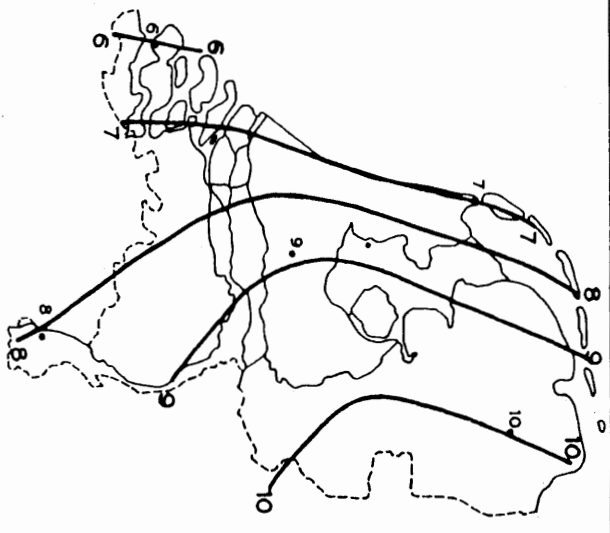
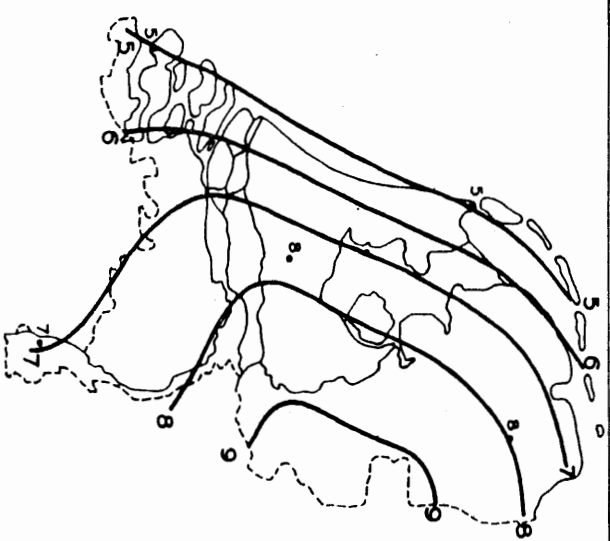
FEBRUARI



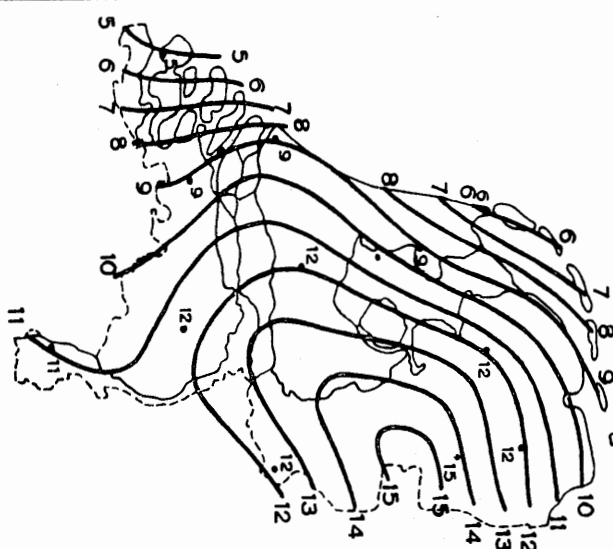
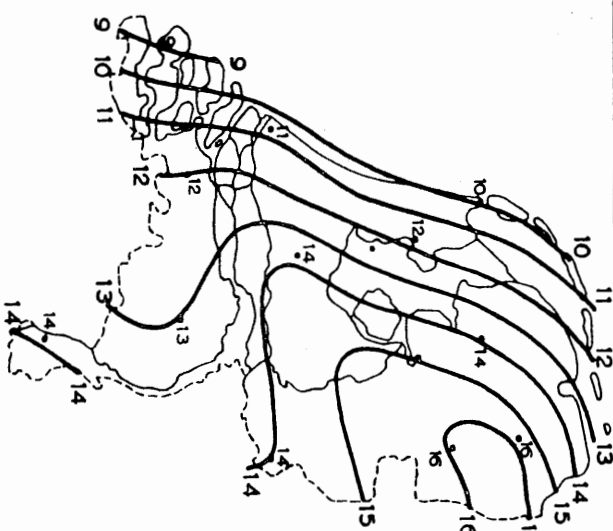
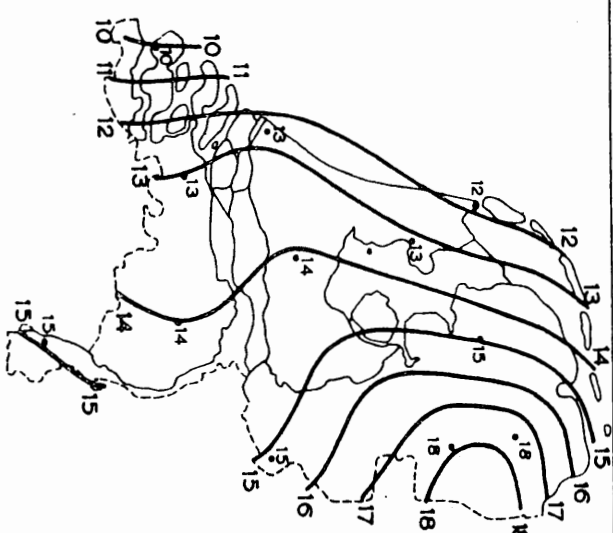
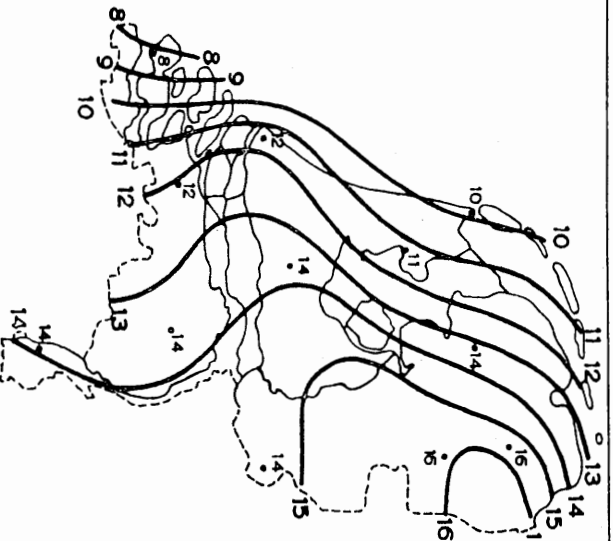
MAART



AANTAL DAGEN MET NEGATIEVE  
ETMAALTEMPERatuur  
1921-1950



AANTAL DAGEN MET MINIMUMTEMPERatuur  
BENEDEN 0°C  
1921-1950



BIJDRAGE IV.6

RIJKSWATERSTAAT

DE ZANDBEWEGING  
IN HET GETIJGEBIED VAN  
ZUIDWEST-NEDERLAND

## INHOUDSOVERZICHT

0.1	Inhoudsoverzicht . . . . .	329
0.2	Overzicht van de tabellen . . . . .	329
0.3	Overzicht van de figuren . . . . .	330
0.4	Overzicht van de bijlagen . . . . .	330
0.5	Literatuur . . . . .	331
0.6	Summary . . . . .	332
0.7	Résumé . . . . .	333
<b>1.0</b>	<b>Samenstelling van de bijdrage . . . . .</b>	<b>335</b>
1.1	Inleiding . . . . .	335
1.2	Inhoud van de bijdrage . . . . .	335
1.3	Verantwoording . . . . .	336
<b>2.0</b>	<b>Studie van de zandbeweging door middel van lodingen . . . . .</b>	<b>336</b>
2.1	Voorgeschiedenis . . . . .	336
2.2	Verwerking van de gegevens . . . . .	337
2.3	Verplaatsing van oevers en geulen . . . . .	345
<b>3.0</b>	<b>Directe meting van het zandtransport . . . . .</b>	<b>351</b>
3.1	Inleiding . . . . .	351
3.2	Meting van het zandtransport met behulp van zandvangers . . . . .	351
3.3	Metingen van het zandtransport met gemerkte zandkorrels („tracers”) . . . . .	353
<b>4.0</b>	<b>Zandtransportberekeningen . . . . .</b>	<b>355</b>
<b>5.0</b>	<b>Samenvatting resultaten . . . . .</b>	<b>358</b>
5.1	Uitkomsten van het onderzoek met behulp van inhoudsberekeningen . . . . .	358
5.2	Resultaat van een directe zandtransportmeting in de Oosterschelde . . . . .	368
5.3	Inrichting en resultaten van een zandtransportmeting met behulp van radioactieve tracers in de omgeving van de mond van de Rotterdamse Waterweg . . . . .	368
5.4	Resultaten zandtransportberekeningen . . . . .	376
<b>6.0</b>	<b>Slotbeschouwingen . . . . .</b>	<b>378</b>
<b>0.2</b>	<b>OVERZICHT VAN DE TABELLEN</b>	
2.1.1	Overzicht rapporten inhoudsveranderingen . . . . .	338
2.2.1	Inhoudsveranderingen vakken 26 en 29 Oosterschelde . . . . .	345
5.1.1	Overzicht inhoudsveranderingen 1872–1933 en 1933–1952 . . . . .	359
5.3.1	Gegevens betreffende de plaatsingspunten voor de „tracer”-metingen 1959 . . . . .	369

**0.3 OVERZICHT VAN DE FIGUREN**

2.2.1	Vakindeling inhoudsberekeningen . . . . .	339
2.2.2	Jaargemiddelden van G.L.W.-standen in cm ten opzichte van N.A.P. . . . .	340
2.2.3	Hyperbolennet Decca-plaatsbepalingssysteem . . . . .	343
2.3.1–2.3.8	Hydrografische film van de ontwikkeling van het Krammer- en Grevelingen- gebied . . . . .	346
2.3.9	Voorbeeld „bliksemgrafieken” . . . . .	350
3.2.1	Zandtransportmeter „Canter Cremers” . . . . .	352
3.2.2	Zandtransportmeter „Delftse Fles” . . . . .	352
3.2.3	Bodemtransportmeter „Sphinx” . . . . .	352
3.2.4	Bodemtransportmeter „Arnhem” . . . . .	352
3.2.5	Zandgehaltemeter . . . . .	352
3.3.1	Meting van de verspreiding van de „tracer” met een sleepdetector . . . . .	353
3.3.2	Laboratoriumopstelling voor de meting van de verticale verdeling van de „tracer”- korrels . . . . .	354
4.0.1	Vergelijking van de uitkomsten van de zandtransportberekeningen voor de bestaande toestand bij gemiddelde Rijnafoer te Lobith met de waargenomen inhoudsverande- ringen . . . . .	357
5.1.1	Inhoudsveranderingen 1872–1933 . . . . .	360
5.1.2	Inhoudsveranderingen 1933–1952 . . . . .	361
5.1.3	Inhoudsveranderingen 1872–1933 . . . . .	362
5.1.4	Inhoudsveranderingen 1933–1952 . . . . .	363
5.1.5	Aanzandingsproces mond Brielse Maas 1950–1957 . . . . .	365
5.1.6	Verband tussen de gemiddelde diepten in de asstrook van de Rotterdamse Waterweg tussen kmr. 1022 en 1026 en de opgetreden rivierafvoeren en weersomstandigheden	366
5.2.1	Resultaat directe zandtransportmetingen Oosterschelde . . . . .	367
5.3.1	Overzicht „tracer”-metingen 1959 . . . . .	369
5.3.2	Verspreiding van de „tracer” in opvolgende stadia rond de plaatsingspunten 1 en 4	370
5.3.3	Verspreiding van de „tracer” in opvolgende stadia rond het plaatsingspunt 3 . . . .	371
5.3.4	Verspreiding van de „tracer” in opvolgende stadia rond het plaatsingspunt C . . . .	372
5.3.5	Verspreiding van de „tracer” in opvolgende stadia rond het plaatsingspunt A . . . .	373
5.3.6	Overzicht van de bodemstromen en de verspreiding van de „tracer” . . . . .	375
5.4.1	Resultaat zandtransportberekeningen voor Deltaplan met open Oude Maas bij ge- middelde Rijnafoer te Lobith . . . . .	376
5.4.2	Resultaat zandtransportberekeningen voor Deltaplan met gesloten Oude Maas bij gemiddelde Rijnafoer te Lobith . . . . .	377

**0.4 OVERZICHT VAN DE BIJLAGEN**

IV.6 – 2.2.1	Profielen Oosterschelde vak 26 voor de jaren 1873, 1933 en 1951
IV.6 – 2.2.2	Profielen Oosterschelde vak 29 voor de jaren 1872, 1933 en 1952
IV.6 – 2.3.1	Verplaatsing geulassen Grevelingen–Krammer–Volkerak
IV.6 – 5.1.1	Inhouds- en diepteveranderingen van de zuidwestelijke wateren van Nederland, be- rekend beneden N.A.P.

**0.5 LITERATUUR** De verwijzing in de tekst is aangegeven door [ ]

1. *J. J. Arlman,*  
*P. Santema*  
and *J. N. Svásek* Movement of bottom sediment in coastal waters by currents and waves: measurements with the aid of radioactive tracers in the Netherlands. Progress report. June 1957, Issued by Deltadienst, Rijkswaterstaat, The Hague.
2. *H. A. Einstein* Bed load function for sediment transportation in open channel flows. Soil. Cons. Serv. Techn. Bull. nr. 1026, 1950.
3. *H. A. Ferguson,*  
*P. J. Wemelsfelder*  
and *P. Santema* Siltation in coastal waters, in estuaries, in channels, in tidal basins, in enclosed docks and in maritime canals. XIXth International Navigation Congress, SII-C3, London, 1957.
4. *A. A. Kalinske* Movement of sediment as bed load in rivers. Transactions Am. Geophysical Union Volume 28, nr. 4, p. 615, Aug. 1947.
5. *E. W. Lane* and  
*A. A. Kalinske* Relation of suspended to bed-load in rivers. Transactions Am. Geophysical Union 1939, p. 637-641.
6. *E. W. Lane* and  
*A. A. Kalinske* Engineering calculations of suspended sediment. Transactions Am. Geophysical Union 1941, p. 603-607.
7. *R. H. J. Morra* De zandgehalteverticaal in stationnaire stromen bij de evenwichtstoestand. De Ingenieur 1950, nr. 51.
8. *R. H. J. Morra* Radioplaatsbepaling bij de Deltawerken. Land en Water 1959, nr. 2.
9. *J. van Veen* Onderzoekingen in de Hoofden in verband met de gesteldheid der Nederlandsche kust. Nieuwe verhandelingen van het Bataafs Genootschap der Proef-ondervindelijke Wijsbegeerte, Tweede Reeks, Elfde Deel. 's-Gravenhage, 1936.



## 0.6 SUMMARY

### The movement of sand in the tidal region of the southwestern part of the Netherlands

There is a constant to and fro movement of large quantities of water between the inlets in the south-west and the sea opposite them. During much of the tidal cycle the currents move at right-angles to the coast so that the inlets influence the water movement far out to sea. This water movement causes considerable quantities of sand to be transported both to and from the inlets.

There are complicated networks of banks and gullies in the estuaries which are constantly changing. These changes involve the transference of huge quantities of sand. Far out to sea the currents move more or less parallel to the coast and the sandbanks also run parallel to the coast. Between the inlets and this latter area there is what is known as the underwater delta with its system of gullies fanning out from each estuary. This underwater delta is maintained by the current movements described above together with the wave movement in the coastal area taking the sand brought in from the sea and that coming from the estuaries.

The current pattern in the coastal area will undergo a radical change when the delta project is completed. There will be no more currents moving at right-angles to the coast and there will be no more movement of sand to and from the estuaries. The coastal area will have to adjust itself to the new current situation and the underwater delta will disappear.

Before the changes can be predicted it is necessary to obtain an idea of the present behaviour of the sand movement. The Rijkswaterstaat has been studying this subject closely for decades and has done so in several ways [9].

Firstly, the changes in the configuration of the bed of the estuaries caused by the movement of sand was investigated by studying sounding charts (chapter 2.0). That is the simplest method, because there is no immediate need to solve the complicated problem of determining the factors governing the transport of sand by turbulent currents, only the consequence thereof, the deepening and filling up of the river bed and sea bed being registered. Nevertheless it is often possible to obtain indirectly by a careful study of the empirical data secured in this manner, an idea of the actual mechanism whereby sand is moved. The sea arms have been divided into sections to facilitate the study of changes in the depth and content thereof (see fig. 2.1.1), each section being studied separately. The results are given in the figures 5.1.1.-5.1.4 and summarized in annex IV. 6-5.1.2.

Secondly, direct research was conducted into the manner in which the sand is moved by tidal currents (chapter 3.0), the aim being to secure by means of the actual measurement of sand movements and the currents causing them more direct information regarding the processes involved. This method presents great difficulties as regards measuring and is still being developed. In several cases, however, important qualitative results have already been obtained. The direct measurement of sand movement is done by means of sand transport meters (see the figures 3.2.1-3.2.4). The result of extensive tests is shown in fig. 5.2.1. The last few years tests have also been made with radio-active tracers [1]. The figures 5.3.2-5.3.5 show successive readings of the movement of the tracer and fig. 5.3.6 gives an idea of the bottom currents in the area concerned.

Finally, the problem of sand transport by water was approached from a more generally scientific angle, using both theoretical observations and experimental laboratory research as starting points (chapter 4.0).

The above three methods are complementary. The theoretical observations call for empirical proof; conversely, research in the field can only be treated scientifically when it has been combined with the results of more general theoretical experimental research.

The figures 5.1.1-5.1.4 show the results obtained from an examination of the long-term changes in the content of estuaries. The conclusion reached in this chapter is that now the Westerschelde and the Oosterschelde transport sand to the coastal area and that the Brouwershaven Gat and the Haringvliet both receive sand from the sea. So far very little indeed is known about the movement of sand along the coast and towards the shore. Now, however, the Decca Location System (see 2.2.2.3) makes it possible to sound the coastal area frequently and radio-active tracers enable one to obtain direct information regarding sand movement (see 3.3 and 5.3).

These improved means of investigation have made it possible to tackle vigorously the problem of sand movement in coastal areas. In addition, an attempt is being made to explain sedimentologically the processes underlying the formation of coastal bed contours. Observations made in the Brielse Gat have already afforded an insight into the future alterations in the coastal area.

The deep gullies in the underwater delta will very probably fill up, and a new system of gullies and sandbanks will very likely develop off the coast and parallel to it. This state of affairs may result in the island promontories being exposed to a stronger attack. These processes are expected to take place at a relatively slow rate so that counter-measures need not be resorted to until they are clearly desirable. Much research and study will be required, however, before definite conclusions can be reached regarding these phenomena. It will be necessary to follow closely the manner in which the coastal area adapts itself to the new current pattern during and after the damming off by watching soundings in the underwater delta and measurements taken from the riverbanks and beaches as described in 2.3, fig. 2.3.9. There will no longer be any currents worth mentioning in the area lying within the barrages, as far as the southern inlets are concerned, so that sand movements in this area will cease.

However, the current pattern in the area between Volkerak, Krammer and Zijpe will alter considerably in the periods between the closing of the Grevelingen, Volkerak and Oosterschelde. The bed in this area is now very changeable as appears from the investigations into the gully movements described in 2.3.3. Research into sand movements in this area is most essential in view of gully development in this important shipping route and attack on the new Grevelingendam and the existing dikes of the Zijpe. An attempt is being made to obtain from the data available an idea of the changes to be expected, while a programme of frequent soundings is to be carried out during and after the execution of the Delta Plan.

The current pattern in the northern inlets will alter when the Haringvliet is dammed off. As discussed in 5.4 the problem of sand movements in the waters lying between the northern inlets has been tentatively approached by means of sand transport computations. From these it was concluded that the Noord and the Dordtse Kil will be exposed to erosion. Since deepening in this case will not result in limiting the speed of the current because it will cause the tidal volume to increase, steps will probably have to be taken to prevent such erosion.

The presence of clay in the beds of these rivers justifies the belief that it will not be necessary to take any action until the situation calls for it. It is essential, however, to sound the threatened rivers and the adjoining area frequently so that a close watch may be kept on the changes taking place.

The authors are R. H. J. Morra Ing., Ir. H. M. Oudshoorn, Ir. J. N. Svašek and Ir. F. J. de Vos.

## 0.7 RÉSUMÉ

### Le mouvement du sable dans la région des marées du sud-ouest des Pays-Bas

Entre les estuaires du sud-ouest et la plate-forme littorale, se produit un brassage puissant de grandes quantités d'eau. En outre, durant une grande partie de la marée, les courants sont dirigés perpendiculairement à la côte, si bien que l'influence des estuaires se fait ressentir très loin au large. Ce déplacement d'eau provoque un important échange de sable entre les estuaires et le littoral.

Dans les estuaires, il existe un système compliqué de chenaux et de bancs qui sont soumis à des déplacements continuels pendant lesquels de grandes quantités de sable sont mises en mouvement. Plus au large, les courants sont plus ou moins parallèles à la côte et les bancs ont également la même orientation. Entre les estuaires et cette dernière région, se trouve ce que l'on appelle „le delta sous-marin” présentant un ensemble de chenaux qui s'ouvrent en éventail des estuaires vers l'extérieur. La configuration du delta sous-marin est maintenue par les courants mentionnés ci-dessus et le mouvement des vagues sur le littoral, où les apports de sable sont constitués par le sable de la côte, le sable amené par la mer et les échanges avec les estuaires.

Quand les Travaux du Delta seront terminés, l'état des courants dans la région côtière sera radicalement modifiée. Les courants perpendiculaires à la côte n'auront plus lieu et l'échange de sable avec les estuaires cessera. De ce fait, la côte devra s'adapter à la nouvelle marche des courants et le delta sous-marin disparaîtra.

Pour prévoir les modifications qui se produiront dans la région côtière, il est nécessaire d'avoir une vue d'ensemble du mécanisme actuel du mouvement des sables.

Depuis plusieurs dizaines d'années déjà, la Rijkswaterstaat, en partant de points de départ différents, a entrepris des recherches intensives dans ce sens [9].

Tout d'abord, on a étudié les changements dans la configuration des lits des courants, changements qui sont provoqués par les déplacements de sable et qui ont pu être déduits sur des cartes de sondages (chapitre 2.0). Cette méthode est la plus facile, tout d'abord parce qu'elle n'a pas à élucider le problème compliqué des facteurs qui déterminent le transport du sable par le courant turbulent, mais aussi parce qu'elle enregistre seulement le résultat final: les augmentations et les diminutions de la profondeur du lit de la rivière et de la mer. Néanmoins, l'étude minutieuse des données empiriques obtenues de cette façon peut souvent donner des indications au sujet du mécanisme du transport du sable. Pour étudier les modifications de profondeur et les volumes des estuaires, ceux-ci sont divisés en différentes parties (fig. 2.1.1) considérées séparément. Les résultats sont indiqués aux figures 5.1.1-5.1.4 et résumés à l'annexe IV. 6-5.1.2.

En second lieu, on étudie directement de quelle façon le sable est déplacé par les courants de marée (chapitre 3.0). Pour cela, on essaie d'obtenir, en mesurant directement les mouvements du sable et les courants qui les provoquent, des informations plus directes sur les facteurs qui interviennent dans ce processus. Au point de vue technique, cette méthode rencontre de grandes difficultés et elle ne se trouve encore qu'à un stade de développement. Dans plusieurs cas, des résultats qualitatifs importants ont cependant déjà été obtenus de cette façon. La mesure directe du transport du sable est effectuée par des appareils enregistrant le transport du sable (les figures 3.2.1-3.2.4). Le résultat d'une mesure détaillée est indiqué sur la fig. 5.2.1. Dans le courant de ces dernières années, des mesures ont également été effectuées au moyen de traceurs radio-actifs [1]. Les figures 5.3.2-5.3.5 donne un résultat du déplacement du traceur à des stades successifs et la fig. 5.3.6 donne également un aperçu des courants de fond dans la région intéressée.

Enfin le problème du transport du sable par l'eau peut être étudié par des moyens plus scientifiques dans lesquels on se base aussi bien sur des considérations théoriques que sur des expériences de laboratoire (chapitre 4.0).

Les trois méthodes, qui viennent d'être citées, se complètent mutuellement. Les considérations théoriques ont besoin d'un soutien empirique. Inversement, la recherche dans la nature ne peut servir à des travaux scientifiques que si elle est combinée à une recherche expérimentale d'orientation générale plus théorique.

Au paragraphe 5.1, on étudie les résultats concernant les changements de volume des estuaires, observés durant une longue période. Dans ce chapitre, on en arrive à la conclusion qu'actuellement, le Westerschelde et l'Oosterschelde donnent du sable à la région côtière, tandis que le Brouwershavense Gat et le Haringvliet reçoivent du sable de la mer. On ne sait pas encore grand'chose concernant l'apport de sable le long de la côte et de sable venant de la mer. Pourtant, grâce à la présence du système Decca, pour la détermination des points (2.2.2.3), il est maintenant possible de faire fréquemment des sondages dans la région côtière, en même temps qu'une information directe sur le mouvement du sable peut être obtenue au moyen de traceurs radio-actifs (3.3 et 5.3).

Ainsi, grâce à l'amélioration des possibilités d'investigation, on a pu entreprendre plus activement les recherches sur les mouvements des sables dans la région côtière. A l'aide d'études sédimentologiques, on essaie également d'expliquer les autres phénomènes qui ont lieu dans cette même région. A l'aide des observations qui ont été effectuées dans le Brielse Gat (5.1), on a déjà pu se faire une idée sur les transformations qui se produiront à l'avenir dans la région côtière.

Il est très probable que les profonds chenaux dans le delta sous-marin s'ensableront, tandis que se développera petit à petit une nouvelle configuration de chenaux et de bancs, s'étendant parallèlement à la côte. Il est possible aussi qu'à cause de ce développement, la partie la plus avancée des îles soit soumise à une attaque plus violente. Selon les prévisions, ces phénomènes s'accompliront à un rythme relativement lent si bien que l'on pourra attendre, pour prendre des dispositions éventuelles, que la nécessité s'en fasse sentir. Il faudra faire encore bien des recherches et des études avant de pouvoir formuler un jugement définitif sur cette évolution. Il sera indispensable de suivre de très près l'adaptation de la région côtière à la nouvelle marche des courants, pendant et après les travaux de fermeture, à l'aide de sondages dans la région de delta sous-marin et à l'aide de mesures sur les rives et sur la plage, comme il a été décrit au chapitre 2.3, fig. 2.3.9.

Dans la région située à l'intérieur des barrages, il ne se produira plus de courants ayant une certaine importance, du moins en ce qui concerne les estuaires méridionaux. Par suite, les mouvements de sable cesseront également dans cette région.

Dans les périodes qui s'écouleront entre la fermeture du Grevelingen, celle du Volkerak et celle de l'Oosterschelde l'état des courants subira des modifications importantes sur le trajet Volkerak-Krammer-Zijpe. Le lit de cette région est actuellement très mobile, comme le montrent les études du déplacement des chenaux dont il a été question au 2.3.3. La recherche des déplacements de sable dans cette région est d'une importance capitale, en raison du développement des chenaux dans cette importante voie de navigation, l'exposition du nouveau barrage de Grevelingen et des digues existant déjà dans le Zijpe. A l'aide des données disponibles, on essaie de se faire une idée sur les modifications futures; un programme de sondages fréquents sera effectué pendant et après l'exécution des travaux.

Dans les estuaires du nord, l'état des courants se modifiera après la fermeture du Haringvliet. Comme il est dit au chapitre 5.4, le problème des déplacements de sable dans les eaux intermédiaires des estuaires du nord est étudié approximativement au moyen de calculs de transports. Ici, on en est arrivé à la conclusion que le Noord et le Dordtse Kil seront soumis à une usure plus grande. Etant donné que, dans ce cas, un approfondissement ne signifie pas une réduction de vitesse, parce qu'ici les forces de la marée augmenteront, il sera probablement nécessaire de prendre des mesures pour enrayer cette usure.

Cependant la présence d'argile dans le lit de ces rivières pourrait justifier l'ajournement de ces mesures éventuelles jusqu'à ce que la nécessité s'en fasse sentir. Il sera néanmoins nécessaire de faire fréquemment des sondages dans les rivières menacées et la région avoisinante, afin de suivre l'évolution de très près.

Les auteurs sont R. H. J. Morra Ing., Ir. H. M. Oudshoorn, Ir. J. N. Svašek et Ir. F. J. de Vos

## 1.0 SAMENSTELLING VAN DE BIJDRAGE

### 1.1 Inleiding

Door de deltawerken wordt krachtig ingegrepen in het stromingsregime van het betrokken gebied van getijrivieren, zeearmen en daaraan grenzende kustwateren. Op de benedenrivieren wordt het getij verzwakt; uit het te vormen Zeeuwse Meer wordt het getij geheel gebannen; in het zeegebied voor de afsluitingsdammen verdwijnt de invloed, die de door de zeegaten in- en uittrekkende stromen thans daarin uitoefenen.

Ook tijdens de diverse uitvoeringsfasen van het Deltaplan zullen belangrijke veranderingen in de getijbeweging kunnen optreden, zij het van plaatselijke en tijdelijke aard.

De geulen in het deltagebied hebben over het algemeen een zeer beweeglijke zandbodem, die zich gemakkelijk naar de stroom voegt. Het is dus te verwachten, dat zich door de bovengenoemde wijzigingen in de stromingstoestand ook veranderingen in de bodemfiguratie der betrokken stroombeddingen zullen voltrekken.

In het kustgebied zullen deze waarschijnlijk het meest ingrijpend zijn en in grote lijnen tot een heroriëntering van de kustlijn voeren, waarbij o.a. de bestaande waaivormige geulenstelsels zullen verzanden.

In de betrokken riviertakken en zeearmen zullen de hydrografische veranderingen over het geheel genomen minder grote afmetingen aannemen, maar plaatselijk kunnen ze toch wel van betrekkelijk groot belang zijn. Zo zal bijv. de Noord door stroomtoeneming met uitschuring worden bedreigd en voorts moet in het Zijpe gedurende de fase, die is gelegen tussen de afsluiting van de Grevelingen en het Volkerak enerzijds en van de Oosterschelde anderzijds, tijdelijk een stroomtoeneming worden verwacht, waartegen eventueel voorzieningen moeten worden getroffen.

Het is duidelijk, dat er inzicht nodig is in de wijze, waarop deze verplaatsingen door de getijstroom worden veroorzaakt, om enigszins te kunnen voorspellen hoe zich de waterstaatkundige toestand zal wijzigen en in welk tempo dit zal geschieden. Dit inzicht kan worden verdiept door een zorgvuldige bestudering van de veranderingen, die zich onder bekende omstandigheden reeds aan de stroomstelsels van het deltagebied hebben voltrokken en nog voltrekken. Deze kennis is bovendien van groot belang omdat men moet weten hoe de hydrografische toestand in de gebieden, waar de afsluitingswerken moeten worden gemaakt, zich nog zal wijzigen tijdens de ontwerpfase, die aan de uitvoering dier werken voorafgaat. Een dergelijk ontwerp vergt immers een aantal jaren studie, waarbij van een bepaalde configuratie van het betrokken gebied moet worden uitgegaan; wijzigt zich deze van jaar tot jaar belangrijk, dan moet hiermede bij de opzet der plannen rekening worden gehouden. Het is een gelukkige omstandigheid, dat de morfologie der zeegaten over het algemeen slechts betrekkelijk langzaam verandert, wat de grote lijnen betreft; er zijn echter ook gebieden (bijv. het gebied van samenkomst van Grevelingen, Zijpe en Volkerak), waar de veranderingen zich in zodanig tempo voltrekken, dat het ontwerp daaraan moet worden aangepast.

De hydrografische veranderingen gaan gepaard met zandverplaatsingen. Deze vormen reeds tientallen jaren een onderwerp van intensief onderzoek door de Rijkswaterstaat [9].

### 1.2 Inhoud van de bijdrage

In de eerste plaats zijn de veranderingen onderzocht van de configuratie der stroombeddingen, die door de zandverplaatsingen worden veroorzaakt en die uit de peilkaarten kunnen worden afgeleid. Zulk een onderzoek is het gemakkelijkste, doordat het (in eerste instantie) niet het ingewikkelde probleem van de factoren, die het zandtransport door turbulente stroming beheersen, behoeft op te lossen, doch alleen het eindresultaat, nl. de verdiepingen en de verondiepingen van rivier- en zeebodem moet registreren. Door zorgvuldige bestudering van de op deze wijze verkregen empirische gegevens kunnen langs indirecte weg toch vaak aanwijzingen worden verkregen omtrent het eigenlijke mechanisme van het zandtransport (2.0).

In de tweede plaats is onderzocht op welke wijze het zand door de getijstromen wordt verplaatst. Daarbij is getracht door directe meting van de zandbewegingen en van de stromingen, die deze veroorzaken, meer rechtstreekse informatie te verkrijgen over de processen, die daarbij een rol spelen. Meettechnisch ondervindt deze methode grote moeilijkheden. Zij bevindt zich nog in het stadium van

ontwikkeling. In diverse gevallen werden op deze wijze toch reeds belangrijke kwalitatieve resultaten verkregen (3.0).

In de derde plaats is het probleem van het zandtransport door water langs meer algemene wetenschappelijke weg benaderd, waarbij zowel op theoretische beschouwingen als op experimenteel laboratoriumonderzoek werd voortgebouwd (4.0).

De drie genoemde werkwijzen vullen elkander aan. De theoretische beschouwingen behoeven enig empirisch houvast, terwijl anderzijds het onderzoek in de natuur pas in combinatie met een meer algemeen georiënteerd theoretisch experimenteel onderzoek voor een wetenschappelijke bewerking toegankelijk wordt.

In 5.0 wordt een kort overzicht gegeven van het onderzoek, dat ter zake tot op heden door of vanwege de Rijkswaterstaat, in het bijzonder in het deltagebied, is verricht volgens de bovenomschreven methoden.

In 6.0 worden enige slotbeschouwingen gegeven omtrent de verrichte onderzoekingen en de voortzetting hiervan in verband met de problemen, die zullen ontstaan door de uitvoering van de deltawerken.

### 1.3 Verantwoording

De onderzoekingen, die aan een belangrijk gedeelte van deze bijdrage ten grondslag liggen, zijn onder leiding van Dr. Ir. J. van Veen uitgevoerd door zijn medewerkers R. H. J. Morra Ing. en J. Haring.

Deze bijdrage is samengesteld door R. H. J. Morra Ing., Ir. H. M. Oudshoorn, Ir. J. N. Svašek en Ir. F. J. de Vos.

## 2.0 STUDIE VAN DE ZANDBEWEGING DOOR MIDDEL VAN LODINGEN

### 2.1 Voorgeschiedenis

#### 2.1.1 *Studies Westerschelde*

De eerste stimulans tot de ontwikkeling van het onderzoek naar de zandbeweging werd gegeven in 1929 door de toen in Brussel wonende raadgevend ingenieur Ir. G. P. NIJHOFF. In een nota, die NIJHOFF op verzoek van het Departement van Waterstaat had opgemaakt, wees hij op de noodzakelijkheid van een systematisch onderzoek van de Westerschelde in verband met de toegankelijkheid van de Antwerpse haven.

Nog in 1929 reageerde de toen fungerende Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat Ir. J. A. RINGERS hierop door het instellen van de Studiedienst voor de Zeearmen, Benedenrivieren en Kusten. De Hoofdingenieur Ir. J. F. SCHÖNFELD werd met de leiding van deze dienst belast. Het werkgebied omvatte het gehele getijgebied van Nederland.

In opdracht van de Rijkswaterstaat werd door het Bureau NIJHOFF een aantal rapporten samengesteld, die uitgingen van de tot dan verschenen literatuur over onze zeearmen en kusten. Speciaal werd in deze rapporten aandacht besteed aan de materiaalverplaatsingen en de daarmee gepaard gaande diepteveranderingen, die in de laatste eeuwen in onze getijwateren zijn opgetreden.

In 1931 deden de ingenieurs G. P. NIJHOFF en B. D. H. TELLEGEN – nu in samenwerking met de geologen DR. IR. P. TESCH en DR. TH. REINHOLD – in het rapport, getiteld „Schets van de ontwikkeling der Schelde”, een poging, met behulp van geologische en historische gegevens en hydrografische kaarten antwoord te geven op de vraag of de mogelijkheid bestaat, dat het Schelde-estuarium in de toekomst belangrijke wijzigingen zal ondergaan. Voor het eerst werd hierin (op grond van een vergelijkende kaartstudie) getracht de veranderingen van de geulen en de banken te beschrijven.

Voor deze studie stonden kaarten ter beschikking uit 1817, 1825, 1842, 1865, 1875-'76, 1894-'95, 1907-'08 en 1921-'22.

In dit zeer lezenswaardig rapport komen de schrijvers tot de conclusie, dat de Westerschelde omstreeks 1600 zijn maximale getijvolume moet hebben bereikt en dat daarna door aanlanding en indijking het getijvolume voortdurend is achteruitgegaan. Voor de toekomst werd een verdere achteruitgang verwacht.

Deze vrij positieve uitspraak had het gevolg, dat de studie van de Westerschelde nu krachtig werd aangepakt. In 1933 verscheen een rapport van de ingenieur van de Rijkswaterstaat IR. I. L. KLEINJAN, getiteld „Beschouwingen en berekeningen over de ontwikkeling van de Westerschelde en haar mondingsgebied sedert 1800, op grond van de beschikbare hydrografische kaarten”.

De reeds door NIJHOFF in zijn beschouwingen betrokken kaarten werden nu aan een uitvoerige bewerking onderworpen. Bovendien was een kaart van de opneming 1931-'32 beschikbaar gekomen.

In zijn rapport komt KLEINJAN tot de slotsom, dat de uitkomsten van de inhoudsberekeningen in tegenspraak zijn met de conclusie van NIJHOFF.

Het getijvolume van het Schelde-estuarium zou vanaf 1800 juist zijn vooruitgegaan.

De tegenspraak in de uitkomsten van deze twee onderzoeken was de aanleiding, dat in de oorlogsjaren 1940-1945 de studie van de verdiepingen en verondiepingen van de mond van de Westerschelde opnieuw ter hand werd genomen door de Studiedienst van de directie Benedenrivieren van de Rijkswaterstaat onder leiding van DR. IR. J. VAN VEEN. Er werd echter een methode gevolgd, die nauwkeuriger resultaten gaf dan met de door KLEINJAN in 1933 gevolgde werkwijze mogelijk was (zie 2.2).

De uitkomsten van deze nieuwe berekeningen zijn vergeleken met de resultaten van NIJHOFF en KLEINJAN.

Uit deze vergelijkende studie bleek nu, dat de tegenspraak in de uitkomsten van de twee oude onderzoeken slechts schijnbaar was. De beschouwingen van NIJHOFF hadden nl. betrekking op het gebied beneden H.W., terwijl de berekeningen van KLEINJAN zich beperkten tot de inhoud beneden G.L.W. De grote zandverplaatsingen, die tussen G.L.W. en H.W. optraden, bleken verantwoordelijk te zijn voor de gevonden verschillen.

Met deze conclusie was de bruikbaarheid van de methode van onderzoek vastgesteld, terwijl tevens een inzicht was verkregen in het grote belang van de juiste keuze van het vergelijkingsvlak.

### 2.1.2 *Studies deltagebied*

Daar de vergelijkende kaartstudies en inhoudsberekeningen van de Westerschelde betrouwbare resultaten opleverden, werden na 1943 de onderzoeken geleidelijk uitgebreid tot het gehele deltagebied.

Behalve de inhoudsveranderingen werden voor de belangrijkste geulen ook de veranderingen in het doorlatingsvermogen van de dwarsprofielen in de beschouwingen betrokken. Het doorlatingsvermogen werd hier gedefinieerd als:

$$\Sigma bh^{3/2},$$

waarin  $b$  = eenheid van breedte,  $h$  = waterdiepte.

In tabel 2.1.1 is de voortgang van de onderzoeken weergegeven. Voor elk bestudeerd gebied is hier aangegeven over welke periode voldoende betrouwbaar kaartmateriaal beschikbaar was. Ook werd het jaar vermeld, waarin over het desbetreffende gebied het eerste rapport is verschenen.

In deze tabel is de stand van het onderzoek in het jaar 1958 weergegeven. De studies worden voortgezet.

## 2.2 **Verwerking van de gegevens**

### 2.2.1 *Vergelijking van de oude en de nieuwe methode*

De methode, die door KLEINJAN voor de Westerschelde werd toegepast, beruiste op de bepaling van de inhoud van een zeevat in horizontale lagen, waarbij de oppervlakte binnen een bepaalde dieptelijn door middel van planimetreren werd bepaald. De gemiddelde diepte binnen een dieptelijn werd geschat aan de hand van de op de peilkaart aangegeven dieptecijfers. Bij een nadere beschouwing rezen er enige bezwaren tegen de toepassing van deze methode.

Op de kaarten, waarop de dieptelijnen moeten worden getekend, kan, indien slechts weinig dieptecijfers aanwezig zijn, de ligging van deze lijnen slechts met een zeer beperkte nauwkeurigheid worden bepaald. In vele gevallen worden door de dieptelijnen langgerekte oppervlakken omsloten, waarvan het planimetreren niet raadzaam is, daar dan gemakkelijk relatief grote fouten geïntroduceerd kunnen worden.

Tevens kunnen bij het schatten van de gemiddelde diepte binnen de dieptelijnen uit de beschikbare dieptecijfers belangrijke fouten worden gemaakt. Deze overwegingen hebben er toe geleid, dat bij het in

1943 begonnen onderzoek naar de inhoudsveranderingen van het gehele zuidwestelijke getijgebied tot een andere werkwijze is overgegaan. Hiervoor werd gekozen de methode, bestaande uit het tekenen en vergelijken van de oppervlakten van dwarsprofielen. Deze kunnen namelijk met tamelijk grote nauwkeurigheid uit de peilkaarten worden afgeleid, doordat men op grond van inzicht en ervaring het verloop van het dwarsprofiel ook op plaatsen, waar weinig dieptecijfers ter beschikking zijn, vrij goed zal kunnen schatten. De methode van het vergelijken van de profieloppervlakten is voor alle in de tabel 2.1.1 genoemde gebieden toegepast.

Tabel 2.1.1  
Overzicht rapporten inhoudsveranderingen

Jaar le rapport	Onderwerp	Bestudeerde periode
1943	Scheldemond (Westerschelde) . . . . .	1823-1931
1946	Hellegat <sup>1)</sup> , Haringvliet . . . . .	1842-1955
	Zeegat van Goeree . . . . .	1823-1955
1947	Oosterschelde . . . . .	1827-1953
	Brouwershavense Gat . . . . .	1860-1954
	Keten-Mastgat-Zijpe . . . . .	1885-1954
1948	Kustgebied Goeree-Walcheren . . . . .	1872-1950
	Hollands Diep . . . . .	1870-1952
	Zandkreek-Veerse Gat . . . . .	1878-1952
	Krammer-Volkerak . . . . .	1870-1959
1949	Buitenbankengebied . . . . .	1894 (1924)-1954
	Westerschelde . . . . .	1878-1952
1951	Merweden, Amer, Hollands Diep . . . . .	1920-1958
1952	Mond Brielse Maas . . . . .	1951-1957
	Slaak <sup>2)</sup> - Nieuwe Vaarwater <sup>2)</sup> . . . . .	1950-1954
	Noord - Dordtse Kil . . . . .	1921-1955
1953	Oude Maas . . . . .	1909-1955
1954	Brabantse Vaarwater <sup>3)</sup> - Witte Tonnen Vlije <sup>3)</sup> . . . . .	1951-1955
1955	Brabantse Biesbos . . . . .	1943-1955
	Spoorbrug Moerdijk . . . . .	1946-1954
	Rotterdamse Waterweg . . . . .	1917-1958

<sup>1)</sup> Deze geul ligt in vak 16 op figuur 2.2.1.

<sup>2)</sup> Deze geulen liggen in vak 19 op figuur 2.2.1.

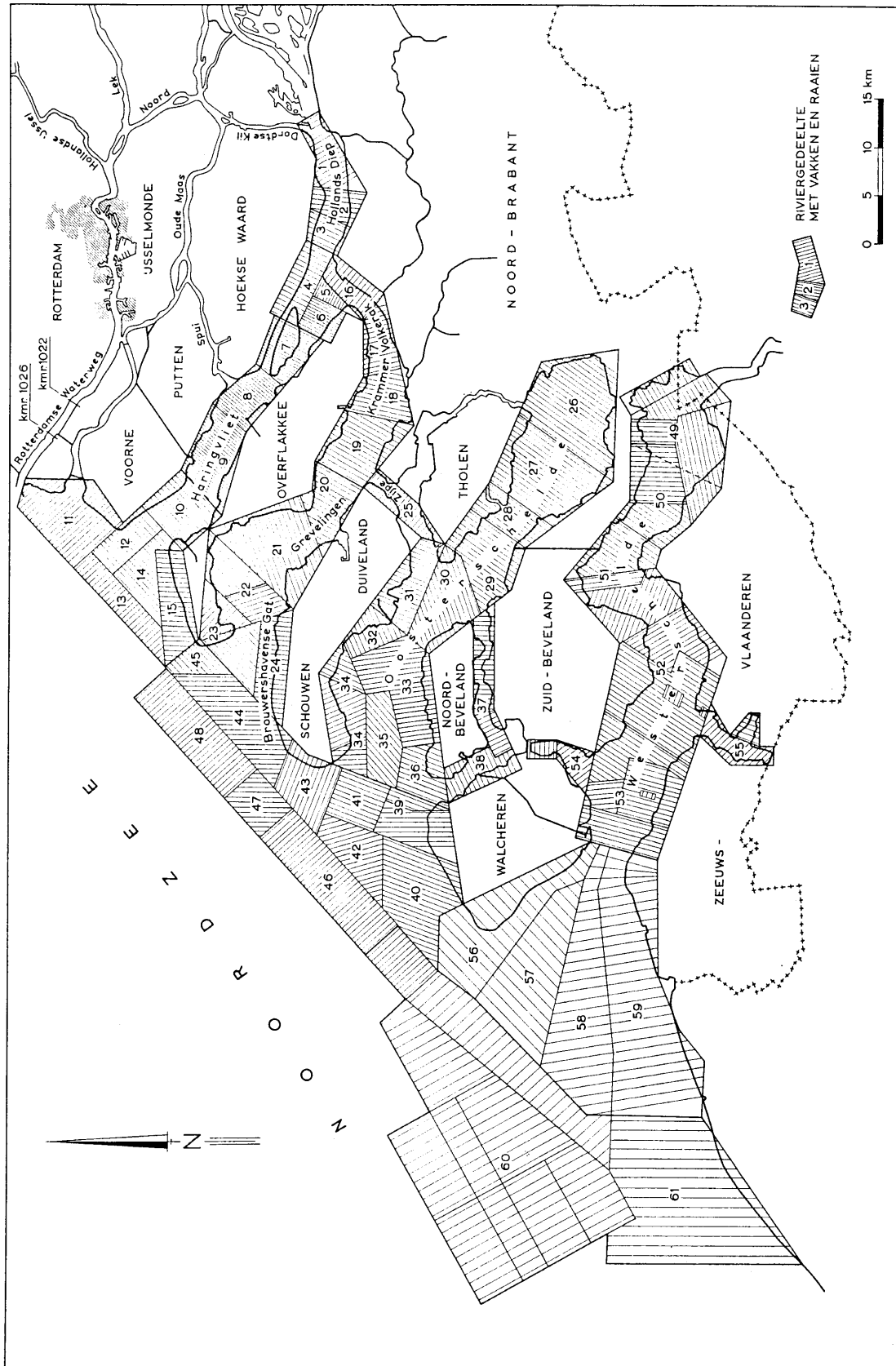
<sup>3)</sup> Deze geulen liggen in de vakken 29 en 30 op figuur 2.2.1.

Voor elk te onderzoeken gebied werd steeds begonnen met het opzetten van een vakverdeling, waarbij van de hoekpunten zo nauwkeurig mogelijk de coördinaten t.o.v. Amersfoort werden bepaald. Vervolgens werden de vakken door raaien onderverdeeld. In het begin werden raaien op onderlinge afstanden van 1 km toegepast. Later is deze afstand gehalveerd, terwijl voor het Haringvliet en het Hellegatgebied zelfs raaiafstanden van 300 m zijn gebruikt. Voor de Merweden, de Noord, de Dordtse Kil, de Oude Maas en het Spui bedroeg de afstand 200 m. De raaien werden zo goed mogelijk loodrecht op de geulen geprojecteerd. In figuur 2.2.1 is deze vakverdeling voor het gebied van de zeearmen en het buitenbankengebied aangegeven. Eveneens werden de gebruikte raaien aangegeven. Uit proefberekeningen in verschillende gebieden is gebleken, dat een verdere verdichting, eventueel gepaard gaande met een wijziging van het raaiennet, de uitkomsten der inhoudsberekeningen niet essentieel beïnvloedt.

### 2.2.2 Gegevens en hun nauwkeurigheid

Als kaartmateriaal stonden voor de inhoudsberekening ter beschikking:

1. hydrografische kaarten en minuutbladen van het Ministerie van Marine;
2. lodingkaarten van de Rijkswaterstaat.



Figuur 2.2.1. Vakindeling inhoudsberekeningen

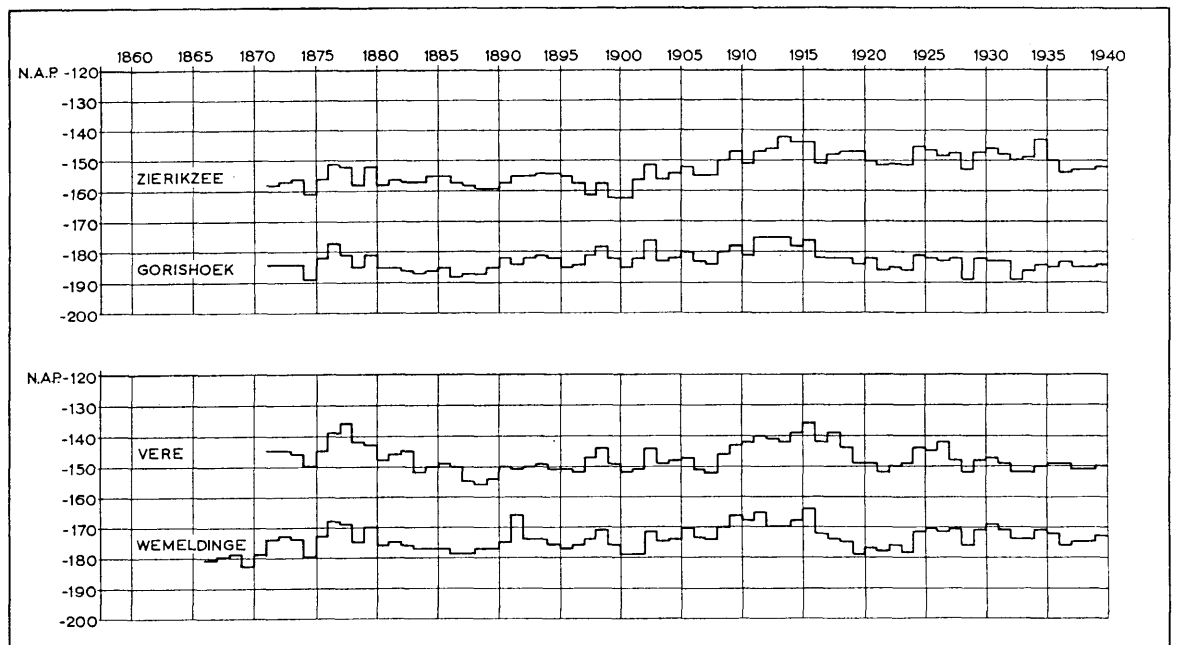


### 2.2.2.1 Hydrografische kaarten en minuutbladen

Door de hydrografische diensten worden reeds sinds lang – zij het met aanzienlijke tussenpozen – de vaargeulen en ondiepten ten behoeve van de scheepvaart door opmetingen vastgesteld en in kaart gebracht. De oudste bruikbare kaart voor het Nederlandse kustgebied dateert uit de Franse tijd. Het is de „Carte réduite des côtes des Pays-Bas”, die door de Franse hydrograaf BEAUTEMPS BEAUPRÉ is gemaakt en gepubliceerd is in 1817. De opnemingen voor deze kaart zijn verricht in het tijdvak tussen 1799 en 1811.

De hydrografische kaarten geven als gidsen voor de scheepvaart vooral informatie over de ondiepste plaatsen. Voor de minuutbladen, die aan de gedrukte hydrografische kaarten ten grondslag liggen, geldt deze eigenschap in mindere mate.

In het algemeen waren van de lodingen van vóór 1933 deze minuutbladen niet meer aanwezig, zodat voor de onderzoekingen naar de inhoudsveranderingen in deze jaren van de gedrukte hydrografische kaarten gebruik moest worden gemaakt. Op deze kaarten komen aanzienlijk minder dieptecijfers voor, terwijl de vermelde cijfers bovendien de ondiepst geregistreerde plaatsen weergeven.



Figuur 2.2.2. Jaargemiddelden van G.L.W.-standen in cm ten opzichte van N.A.P.

Bij de bestudering van het hydrografische kaartenmateriaal bleek eveneens een moeilijkheid te worden gevormd door de keuze van het reductievlak. De diepten op de Franse kaart van BEAUTEMPS BEAUPRÉ waren uitgedrukt ten opzichte van het vlak ter hoogte van het gemiddelde van een serie tijdens de equinoctale getijden waargenomen laagste laagwaterstanden. Latere kaarten hadden als reductiepeil het G.L.W. en de kaarten van 1933 meestal het N.A.P., terwijl na 1933 het G.L.L.W.S. wordt gebruikt.

Ten einde voor de studie van de verdiepingen en verondiepingen voor de gehele bestudeerde periode een zelfde reductievlak te verkrijgen, zijn alle kaarten herleid tot het N.A.P.-vlak. De diepten van de kaarten van vóór 1933 zijn herleid door gebruikmaking van de uit de jaargegevens van de waterstanden berekende G.L.W.-waarden ten opzichte van N.A.P. De diepten van de kaarten van de periode na 1933 zijn herleid met behulp van reductiekaarten, verschaft door de Hydrografische Dienst van het Ministerie van Marine.

Bij deze bewerking van de dieptecijfers doen zich nog enige moeilijkheden voor ten aanzien van reductie ten opzichte van N.A.P., namelijk:

- a. Bij de bepaling van de correctie van de diepten van de kaarten ten opzichte van N.A.P. is een reductievlak toegepast, berekend naar een G.L.W.-stand, die bepaald is over een ruime periode vóór het tot stand komen van de kaart. Ter illustratie van de wijzigingen van de G.L.W.-standen ten opzichte van N.A.P. zijn deze voor een viertal waarnemingsstations langs de Oosterschelde en het Veerse Gat voor de periode 1860–1940 gegeven in figuur 2.2.2. Hieruit blijkt, dat in de reductie van G.L.W. tot N.A.P. een fout van de orde van grootte van 1 dm kan schuilen.
- b. Bij de reductie naar N.A.P. wordt een bron van onzekerheid gevormd door de variatie van het N.A.P.-vlak ten opzichte van de gemiddelde zeestand. Wanneer de wijzigingen van het N.A.P.-vlak, zoals dit door de N.A.P.-steen te Amsterdam wordt bepaald, geheel dezelfde zouden zijn als die, welke de bodem in het beschouwde gebied ondergaat door de seculaire bodembeweging, dan zou de seculaire bodembeweging geheel uit de berekeningen zijn geëlimineerd, aangezien de diepten in dat geval zouden zijn bepaald ten opzichte van een even snel meebewegend N.A.P.-vlak. In werkelijkheid zullen echter afwijkingen voorkomen, o.a. door het feit, dat de beweging van het N.A.P.-vlak ook door een plaatselijke zetting onder de N.A.P.-steen te Amsterdam kan zijn beïnvloed.
- c. Het N.A.P.-vlak is niet overal nauwkeurig bekend, aangezien – zeker in het Zeeuwse eilandengebied – in het overbrengen van het N.A.P. en door het van tijd tot tijd corrigeren van het nulpunt van de peilschalen vermoedelijk fouten zijn geslopen in de orde van grootte van 1 dm.

#### 2.2.2.2 *Rijkswaterstaatslodingen*

Het bleek vooral voor de zeearmen noodzakelijk, peilingen te verrichten, die meer op de waterbouwkundige belangen waren gericht dan bij de hydrografische opnemingen het geval is. Door de aard van hun doelstelling waren de hydrografische opnemingen speciaal gericht op de geulen en werd slechts betrekkelijk weinig aandacht besteed aan de ondiepten en droogvallende gebieden. Bovendien wordt bij de hydrografische opnemingen niet gebruik gemaakt van een vast raaiensstelsel, dat voor iedere opvolgende loding weer wordt toegepast.

Dit heeft het voordeel, dat eventuele obstakels voor de scheepvaart, die bij een eerste opname gemist zijn, bij een volgende ontdekt kunnen worden. Voor de vergelijking van dwarsprofielen in verband met inhoudsberekeningen verdient de toepassing van een vast raaiensstelsel echter de voorkeur.

Omstreeks 1933 is de Rijkswaterstaat begonnen met het verrichten van uitgebreide lodingen. Deze lodingen werden zoveel mogelijk volgens een vast raaiensstelsel uitgevoerd, terwijl de gebieden tussen H.W. en L.W. eveneens in de opnemingen werden betrokken.

De frequentie van de opnemingen werd aangepast aan de beweeglijkheid van de gebieden. Gebieden met zeer sterke wisselingen in de bodemfiguratie werden enige malen per jaar opgenomen.

Ook voor detailonderzoekingen worden de lodingen soms zeer frequent uitgevoerd. Zo wordt bijv. de Rotterdamse Waterweg tweemaal per jaar gepeild, mede in verband met scheepvaartbelangen. De drie Merwedden, de Noord en de Dordtse Kil zijn gedurende een jaar eens per 14 dagen opgenomen om inzicht te verkrijgen in bodemveranderingen op korte termijn.

#### 2.2.2.3 *Onnauwkeurigheden bij het uitvoeren van lodingen*

Uiteraard komen in het gebruikte kaartmateriaal fouten voor door de ontoereikende methoden van peilen en de onzuiverheid der plaatsbepaling en waterstandsbeplating.

Hoewel het zeker is, dat de gebruikte methoden van peilen, plaatsbepaling en waterstandsaflezing steeds beter zijn geworden en dus de oude gegevens minder nauwkeurig zijn dan de nieuwere, kan toch worden aangenomen, dat een vergelijking van de berekende inhouden van de steeds veranderende geulen en zeearmen waarde heeft, ook al moet men voorzichtig zijn met het trekken van conclusies. De gevonden resultaten betreffende de verdieping of verondieping der geulen of zeearmen tonen inderdaad vaak een duidelijke tendens. Zekerheid omtrent die tendens in vakken met dubieuze diepteveranderingen zou men pas kunnen verkrijgen door voortgaande studie van de nieuwe peilkaarten en door daarbij tevens de twee andere methoden in te schakelen: het directe meten van het materiaaltransport en de zg. zandtransportberekening met de moderne formules. Vooral voor de Westerschelde is dit van belang, daar dit water open blijft.

Als foutenbronnen, die bij vergelijking van opeenvolgende peilingen een rol spelen, kunnen worden genoemd:

1. onnauwkeurigheden in de dieptebepaling;
2. onnauwkeurigheden in de plaatsbepaling;
3. onnauwkeurigheden in de waterstandsbeplating.

Deze onderwerpen zullen achtereenvolgens worden behandeld.

#### *De dieptebeplating*

Vroeger werden de lodingen met het handlood uitgevoerd. Dit handlood bestond uit een gewicht aan een draad, waarmee op de tast de diepte van de bodem werd bepaald. Vooral bij grotere diepten vereist deze methode van peilen ervaren personeel. De onzekere factoren bij deze methode zijn: de stand, waarmee het langwerpige peillood op de bodem rust; de bocht, waarin de draad gaat staan onder invloed van stroom; de verplaatsing van het vaartuig en het subjectieve element bij de peiler. De intrede van het echolood tussen 1930 en 1935 moet dan ook als een grote vooruitgang worden gezien. Hierbij wordt de diepte bepaald door tijdmeting van een aan boord uitgezonden en weer ontvangen trilling, die door de bodem wordt teruggekaatst.

De bezwaren, aan het handlood verbonden, worden hiermede opgevangen. Bovendien wordt een vrijwel continue registratie van het bodemprofiel verkregen, terwijl de tijdwinst aanzienlijk is. Het uitgezonden signaal plant zich in een kegelvormige bundel met een tophoek tot  $40^\circ$  naar de bodem voort. De aldus waargenomen diepte is ongeveer de gemiddelde diepte van het grondvlak van deze kegel. Hoe groter diepte en/of hoe groter oneffenheden (bijv. steile taluds, bodemribbels) des te grotere onnauwkeurigheden men kan verwachten. Als gemiddeld systematisch verschil kan worden gesteld, dat bij diepten van 5 m het handlood 1 dm grotere diepte aanwijst dan het echolood, bij grotere diepten kan dit oplopen tot 3 dm en meer.

#### *De plaatsbeplating*

Bij de vergelijking van de oppervlakte van profielen kunnen kleine fouten in de plaatsbeplating grote afwijkingen ten gevolge hebben. Dit geldt voornamelijk op steile taluds, waar een klein verschil in afstand een grote diepteverandering ten gevolge heeft. In vlakke gebieden heeft een dergelijke fout veel minder betekenis.

De plaatsbeplating in een raai werd vroeger op korte afstanden verricht met behulp van een afstandslijn. Deze afstandslijn is echter slechts bruikbaar over korte afstanden in verband met het doorhangen van de lijn. Deze methode is thans vervangen door de toepassing van optische afstandsmeters.

Op grote afstanden wordt de plaats in de raai bepaald door het meten van de hoek, waaronder twee kenbare punten vanuit de waarnemingsplaats worden gezien. Hierbij wordt er van uitgegaan, dat het vaartuig zich exact in de uitgezette raai bevindt.

Een mogelijke foutenbron in de plaatsbeplating is dus gelegen in de afwijkingen tussen de uitgezette raai en de in werkelijkheid door het lodingsvaartuig gevaren lijn. In de brede zeearmen en het kustgebied is het veelal niet mogelijk een vast raaiensstelsel uit te zetten. Hier wordt de plaats bepaald met behulp van de Snelliusmeting. Bij alle hydrografische opnamen is deze methode toegepast. Bij grote afstanden tot de kenbare punten en bij ongunstige snijdingen kunnen echter ook met deze methode belangrijke fouten worden gemaakt.

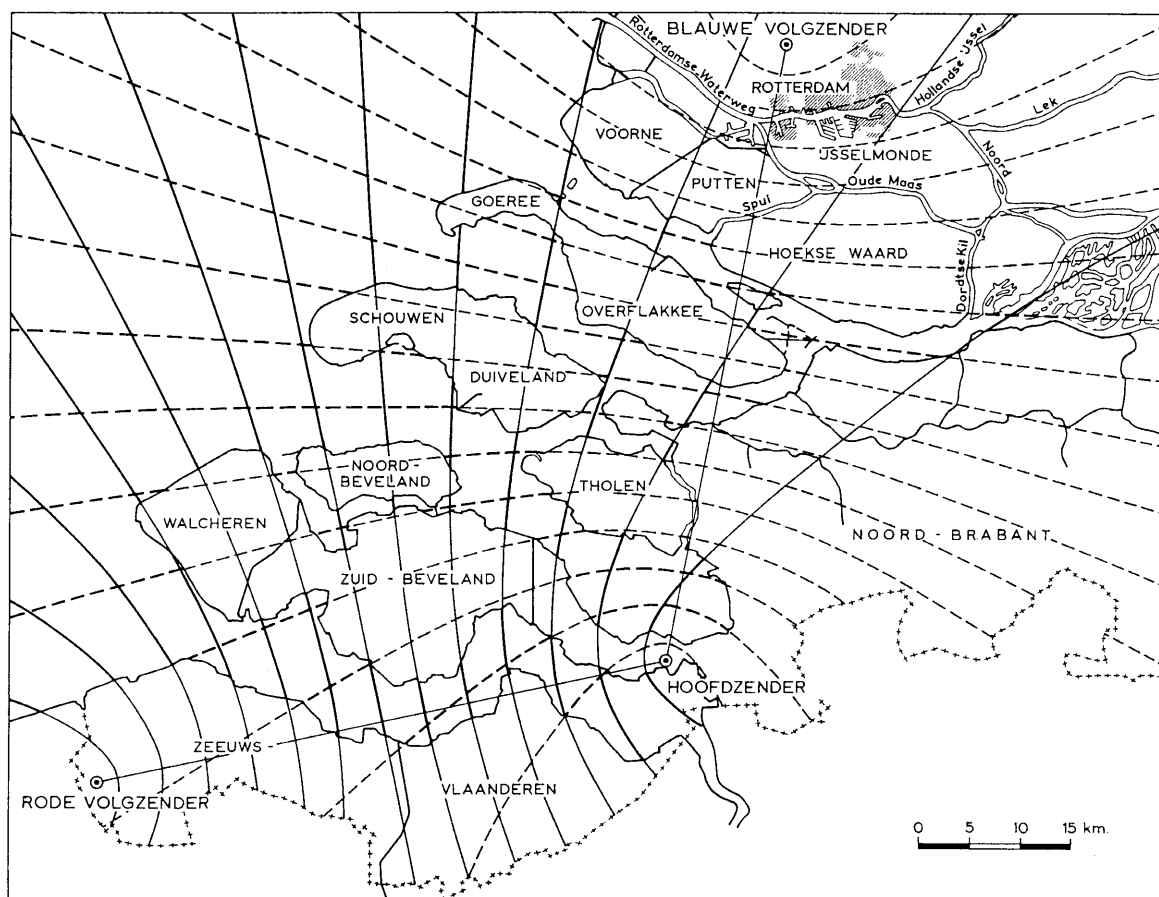
Bij de brede zeearmen zoals Oosterschelde en Brouwershavense Gat en vooral in het kustgebied vóór de zeegaten zijn peilingen op deze wijze zeer moeilijk uit te voeren, doordat men zelden voldoende helder zicht heeft om langs visuele weg de daar voorkomende zeer grote afstanden te overbruggen. Daarbij komt, dat hier goede werkbaarheid (kalme zee) vaak samentreft met slecht zicht (heilige atmosfeer).

Het peilen van deze gebieden bleef daarom schaars en een vast raaiensstelsel ontbrak. Ook voor de scheepvaart zijn de hydrografische opnamen hier weinig frequent, daar de betreffende wateren in dit opzicht slechts van secundair belang zijn.

Voor de deltawerken is echter juist de studie van deze gebieden van groot belang en de betrekkelijk geringe hydrografische kennis, die hierover bestaat, dient thans te worden aangevuld. Het is dan ook nodig de mondingsgebieden der zeegaten zo frequent mogelijk en liefst volgens een vast raaiensstelsel te gaan opnemen.

Het is een gelukkige omstandigheid, dat juist nu ook de middelen ter beschikking zijn gekomen om dit mogelijk te maken. In de Tweede Wereldoorlog werd nl. ten behoeve van de militaire operaties ter zee en in de lucht een aantal radiografische systemen ontwikkeld, waarmee het mogelijk is geworden, betrekkelijk nauwkeurige plaatsbepalingen te verrichten tot op grote afstanden van de betrokken radiopeilbakens. Zulke systemen worden thans op vele plaatsen in de wereld voor de scheepvaart gebruikt. Zij worden ook voor hydrografische opnemingen toegepast.

Een dergelijk plaatsbepalingssysteem, dat is ontwikkeld door de Decca Navigator Company Ltd. te Londen is onlangs door de Rijkswaterstaat aangeschaft voor het deltagebied. In figuur 2.2.3 is de situatie aangegeven van de drie zenders (1 hoofdzender en 2 volgzenders), met behulp waarvan de plaatsbepaling geschiedt, en een schema van het door hen bepaalde patroon van hyperbolen, die de meetkundige plaatsen voorstellen van alle punten, waar de radiogolven van twee zenders onder gelijke faseverschillen worden opgevangen. [8]



Figuur 2.2.3. Hyperbolennet Decca-plaatsbepalingssysteem

Door dit hyperbolennet is het mogelijk op nauwkeurige en snelle wijze de plaats van de opnemingsvaartuigen tijdens het loden te bepalen; door de peilraaien te laten samenvallen met de hyperbolen, wordt de plaatsbepaling het eenvoudigst en ook het nauwkeurigst, zodat de plaats van de zenders zodanig is bepaald, dat de hyperbolen inderdaad zoveel mogelijk als peilraaien kunnen worden gebruikt.

In 1959 werd de eerste volledige opname van het kustgebied met behulp van dit Decca-plaatsbepalingssysteem verricht. Er wordt naar gestreefd deze ieder jaar ten minste éénmaal te herhalen en tevens enige raaien een aantal malen per jaar op te nemen. Op deze wijze wordt zoveel mogelijk kennis vergaard omtrent het huidige mechanisme der zandverplaatsingen, voordat daar door de afsluitingswerken grote verstoringen kunnen gaan optreden. Inzicht in de bestaande toestand is immers nood-

zakelijk, ten einde eventuele veranderingen, die door de werken kunnen worden veroorzaakt, te kunnen onderkennen en begrijpen.

#### *De waterstandsbepaling*

Voor de reductie van de waargenomen waterdiepte ten opzichte van N.A.P. moet de waterstand ten tijde van de waarneming bekend zijn. Hiervoor worden de bestaande registrerende peilschalen en tijdelijk speciaal hiervoor opgestelde veelal visueel waargenomen peilschalen gebruikt. Er kunnen echter vooral op de platengebieden vrij aanzienlijke verschillen optreden tussen de waterstand bij het lodingspunt en de plaats van de peilschaal. Ook kunnen in het kustgebied, waar slechts weinig peilschalen aanwezig zijn, door faseverschillen in het verticale getij onnauwkeurigheden optreden. Thans wordt gewerkt aan de plaatsing van registrerende peilschalen op de golfpalen in het kustgebied. Deze peilschalen zullen langs radiografische weg de waterstandsgegevens overbrengen naar de vaste wal. Hierdoor zullen de reducties van de lodingen in het kustgebied en de mondingen van de zeearmen veel betrouwbaarder worden.

#### *2.2.3 Voorbeeld van kubering van profielen*

Voor het gebied van de zeearmen en de buitenbanken is de werkwijze voor de bepaling van de inhoudsveranderingen als volgt geweest.

Na de berekening van de coördinaten van de hoekpunten van het net werden het net en alle raaien op een krimpvrij constructieblad uitgezet. Voor elke raai werd met behulp van de op de kaart aanwezige dieptecijfers een dwarsprofiel getekend. Bij het uitzetten van de dwarsprofielen werd met de kaartafwijkingen (hetzij krimp of rek) rekening gehouden.

De overeenkomstige profielen van twee te vergelijken peiljaren werden op elkaar getekend en de positieve en de negatieve verschillen werden alle afzonderlijk geplanimetreerd. Slechts de verschillen werden gemeten. Ter controle werden ook steeds de profieloppervlakken van het eerste en het laatste jaar van opening bepaald.

De door planimetreren in elke raai gevonden profielverschillen zijn vermenigvuldigd met de raai-vakbreedte (=onderlinge raaiafstand). Dit gaf bij benadering de inhoudsverandering in een strook ter breedte van de raai-breedte rondom de beschouwde raai. Deze inhoudsverandering is slechts bepaald voor zover gelegen beneden N.A.P.

Het bepalen van de verdiepingen en verondiepingen tussen N.A.P. en G.H.W. was veelal niet goed mogelijk, doordat boven N.A.P. te weinig of in het geheel geen dieptecijfers bekend waren. Voor de Westerschelde zijn deze beschikbaar vanaf 1878, voor het Verdronken Land van Zuid-Beveland vanaf 1933 en voor de Hellegatplaten vanaf 1947. Sinds 1952 wordt in het gehele beschouwde gebied bij de periodieke lodingen ook steeds het gedeelte tussen N.A.P. en G.H.W. opgenomen.

Behalve de inhoudsverandering is voor elk vak de gemiddelde diepte-variantie per raai-vak bepaald, volgens de formule:

$$\text{gemiddelde ver(on)dieping in cm} = \frac{\text{inhoudsverandering in m}^3 \times 100}{\text{wateroppervlakte op N.A.P. in m}^2}$$

Ten einde vergelijkbare diepte-varianties te verkrijgen, is voor alle beschouwde perioden in een bepaald vak dezelfde natte oppervlakte aangehouden.

Hieruit blijkt, dat de inhoudsveranderingen van een vak een meer absolute waarde hebben dan de veranderingen der gemiddelde diepte.

De werkwijze zal hieronder verder worden toegelicht aan de hand van een aantal gegevens, ontleend aan het onderzoek betreffende de Oosterschelde.

Op de bijlagen IV. 6-2.2.1 en 2.2.2 zijn voor de vakken 26 en 29 (zie figuur 2.2.1) en voor de jaren 1872/'73, 1933 en 1951/'52 de profielen getekend ten opzichte van N.A.P. Zoals uit tabel 2.1.1 blijkt, bestrijkt het gehele onderzoek van de Oosterschelde het tijdvak vanaf 1827.

Van de twee beschouwde vakken zijn vervolgens voor elk van de peilingen de inhouden van alle raai-vakken (breedte 500 m) en voor de perioden tussen de verschillende peilingen de inhoudsveranderingen bepaald. In tabel 2.2.1 zijn de totalen van alle raai-vakken vermeld.

De natte oppervlakte is bepaald met behulp van het gemiddelde van de natte raailengten op N.A.P. in 1827 en 1933.

Tabel 2.2.1  
Inhoudsveranderingen vakken 26 en 29 Oosterschelde

Vak	Water- opper- vlakke op N.A.P. in ha	Waterinhoud in mjn. m <sup>3</sup> beneden N.A.P.			Verdieping in het tijdvak (+) Verondieping in het tijdvak (—)					
		1872/'73	1933	1951/'52	1872/'73–1933		1933–1951/'52		1872/'73–1951/'52	
					in mjn. m <sup>3</sup>	in cm	in mjn. m <sup>3</sup>	in cm	in mjn. m <sup>3</sup>	in cm
26	5397	90,7	105,2	91,4	+ 14,5	+ 27	— 13,8	— 25,5	+ 0,7	+ 1,3
29	2892	255,3	258,6	291,8	+ 3,3	+ 11	+ 33,2	+ 115	+ 36,5	+ 126

Op grond van deze natte oppervlakten zijn de diepteveranderingen in cm als gemiddelde waarden berekend.

Men zie hiervoor de grafieken voor de vakken van de Oosterschelde nrs. 26 t/m 36 van de bijlagen IV.6-2.2.1 en 2.2.2. Daar de oude peilkaarten het onbetrouwbaarst zijn, dient men vooral op het verloop der lijnen na 1900 te letten.

### 2.3 Verplaatsing van oevers en geulen

Naast de algemene gedragingen van een riviergedeelte, zoals deze volgen uit de bepaling der inhoudsveranderingen, kunnen uit kaartstudies nog andere belangrijke gegevens worden afgeleid.

Het is denkbaar, dat een bepaald riviergedeelte qua inhoud weinig verandert, terwijl zich toch niet te verwaarlozen wijzigingen in het geulenverloop voordoen. Dit kan blijken, wanneer men een serie opeenvolgende peilkaarten (zg. film) samenstelt.

De figuren 2.3.1 tot en met 2.3.8 geven een voorbeeld van een film, die met behulp van de hydrografische opnemingen van de betreffende gebieden kan worden gemaakt. Deze bestaat uit een aantal opeenvolgende configuraties van het Krammer- en Grevelingengebied gedurende de periode van omstreeks 1850 tot omstreeks 1950.

Aan de hand van dergelijke films kan de ligging van de geulassen ten tijde van de opvolgende lodingen in een kaart worden ingetekend (bijlage IV.6-2.3.1).

Het systeem van de wijzigingen in de ligging van de geulen en de vorming van nieuwe geulen is van groot belang voor de kennis van het betrokken gebied.

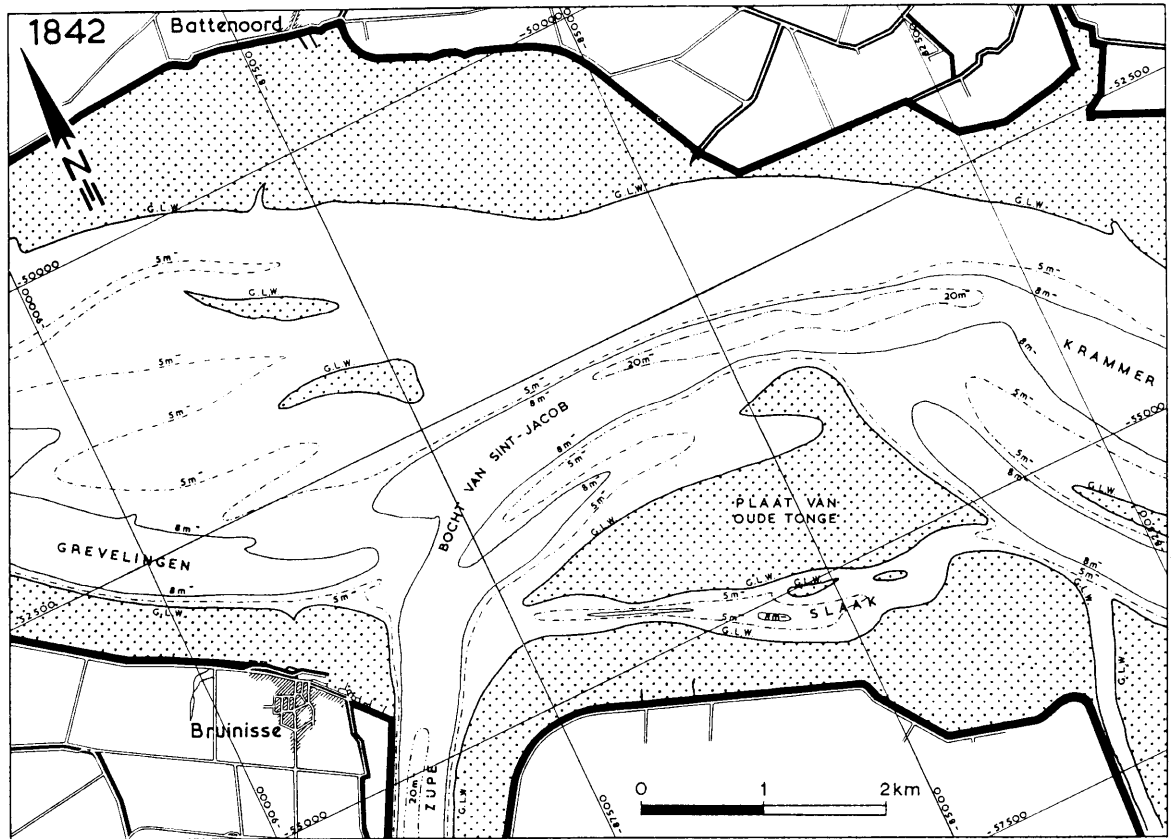
Voor de studie naar de gedragingen van de oevers verstrekken de oeverlodingen van de provincie Zeeland belangrijke gegevens.

In deze provincie, waar de zorg voor het behoud van de oevers der waterkeringen reeds van ouds veel moeilijkheden gaf, werden van overheidswege de betrokken oeverbeheerders verplicht tot het jaarlijks doen verrichten van oeverpeilingen. In 1879 werden hiervoor door de Gedeputeerde Staten van Zeeland uitvoerige voorschriften gegeven. Deze peilingen, die zich tot op een afstand van enkele honderden meters buiten de oever uitstrekten en waarbij de tussenruimten der raaien veelal minder dan 200 m waren, vormen een tamelijk dicht waarnemingsnet, waaruit thans na ruim  $\frac{3}{4}$  eeuw van jaarlijkse opname een gedetailleerd beeld is verkregen van de veranderingen, die zich langs de betrokken oevers en stranden hebben voltrokken.

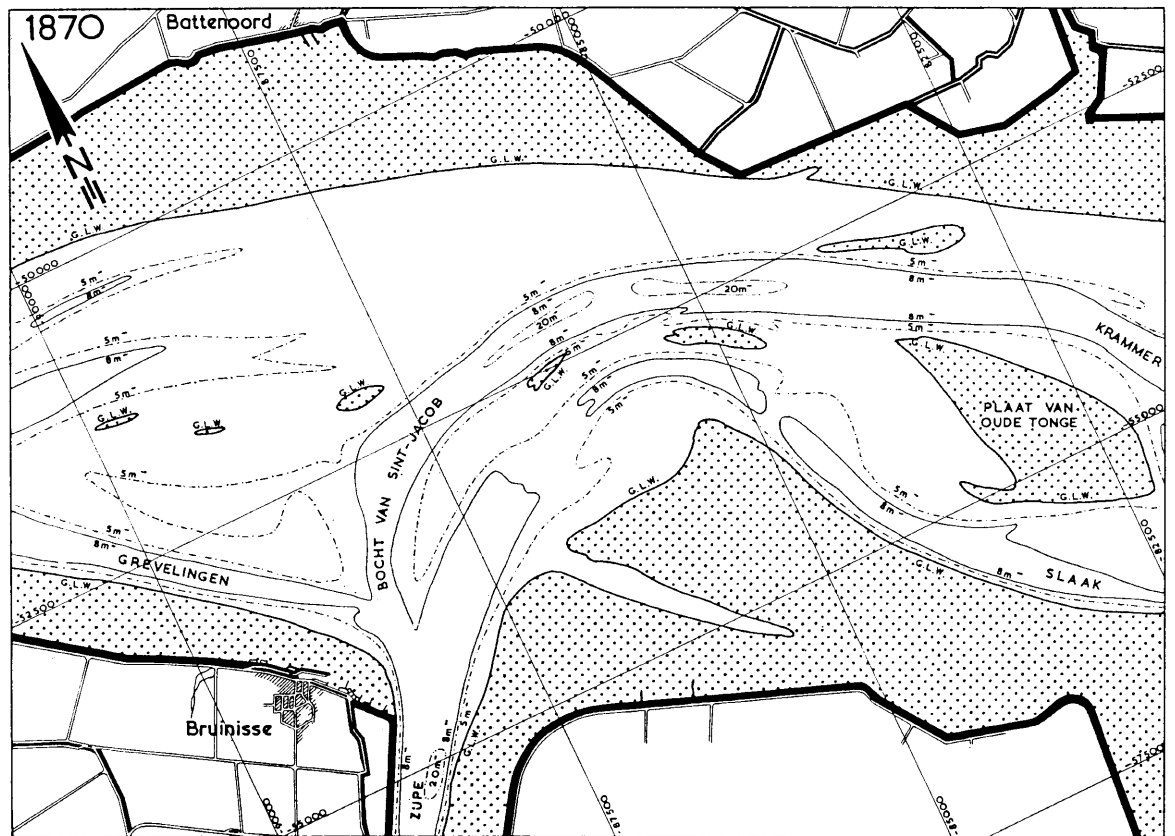
De oeverpeilingen bestrijken echter slechts een betrekkelijk smalle strook langs de kust; wat er buiten deze strook in de stroombedding gebeurt, blijft daarbij buiten beschouwing.

Reeds van het begin af werden door de betrokken oeverbeheerders in Zeeland in het peilsysteem enige raaien opgenomen, die een breder gedeelte van de stroombedding bestreken, de zg. doorlodings-raaien; meestal reiken deze echter nog niet van oever tot oever.

Met behulp van deze oeverlodingen en de recente totale waterstaatslodingen zijn voor vele Zeeuwse oevers zg. bliksemgrafieken samengesteld. Op deze grafieken, waarvan een voorbeeld is gegeven in figuur 2.3.9, is de ligging van de verschillende dieptelijnen ten opzichte van de oever in de tijd uitgezet, waarbij de tijdas loodrecht op de raairichting is gekozen. Aan de hand van deze bliksemgrafieken kunnen belangrijke gegevens over de gedragingen van de oevers worden afgeleid.

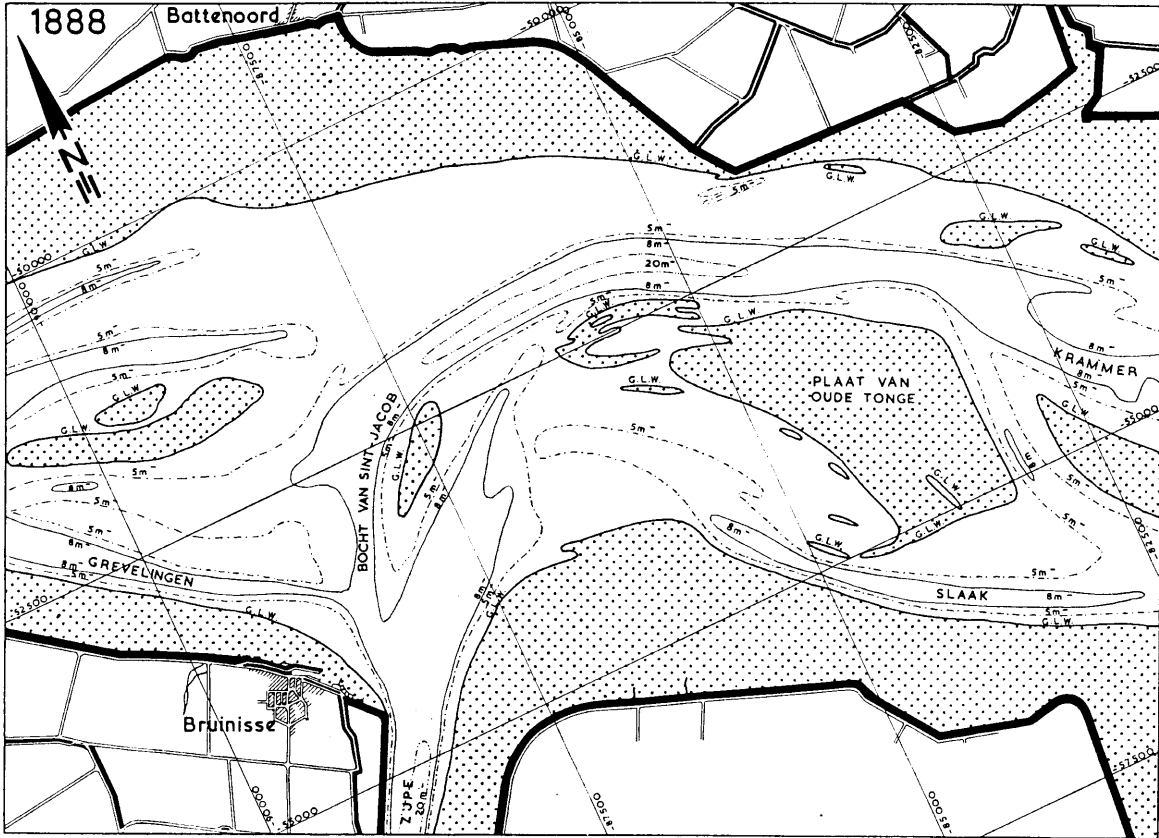


Figuur 2.3.1.

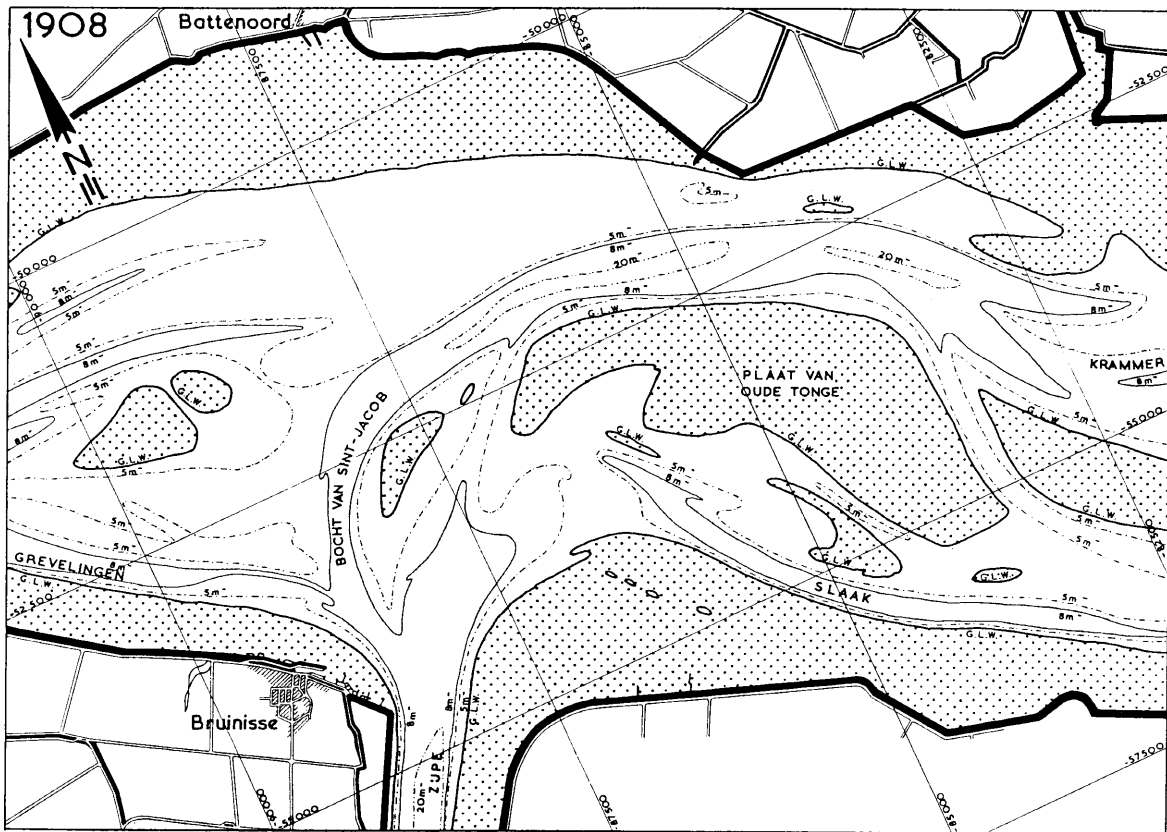


Figuur 2.3.2.

Figuur 2.3.1 t/m 2.3.8. Hydrografische film van de ontwikkeling van het Krammer- en Grevelingengebied

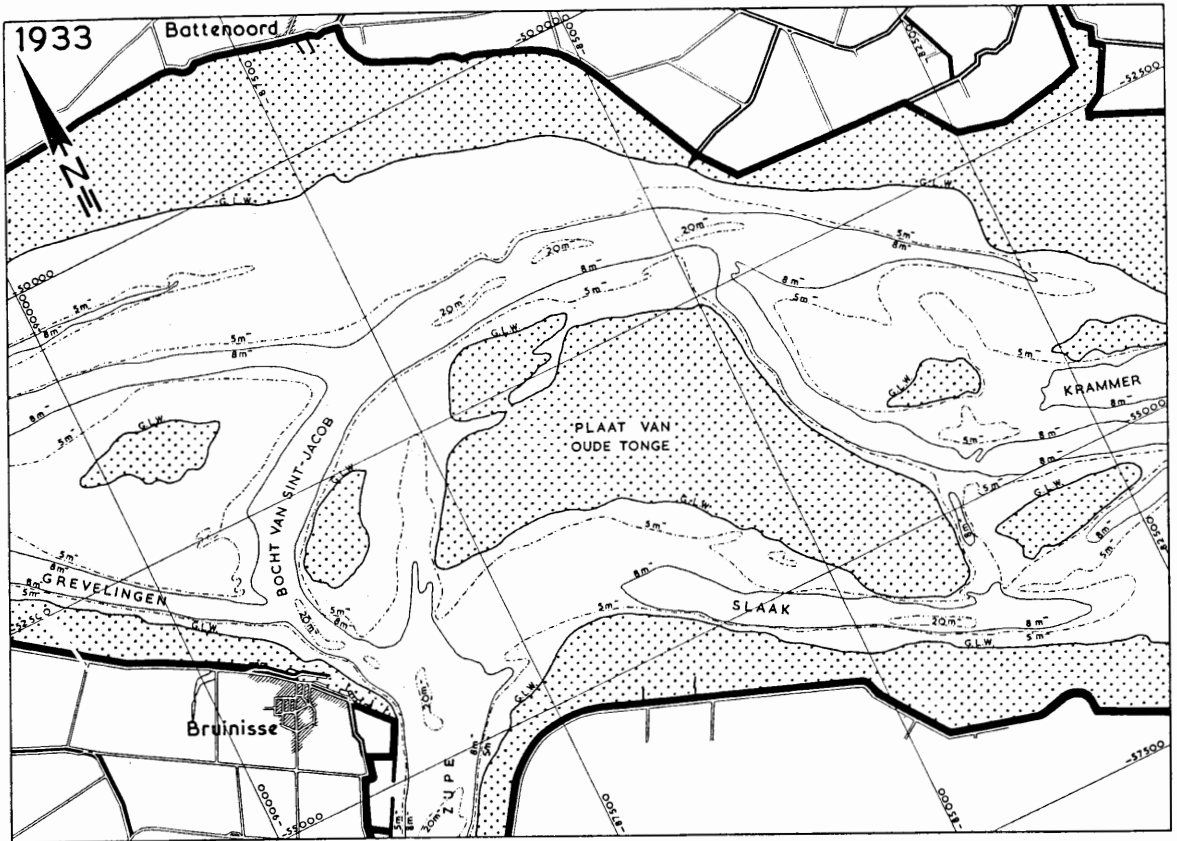


Figuur 2.3.3.

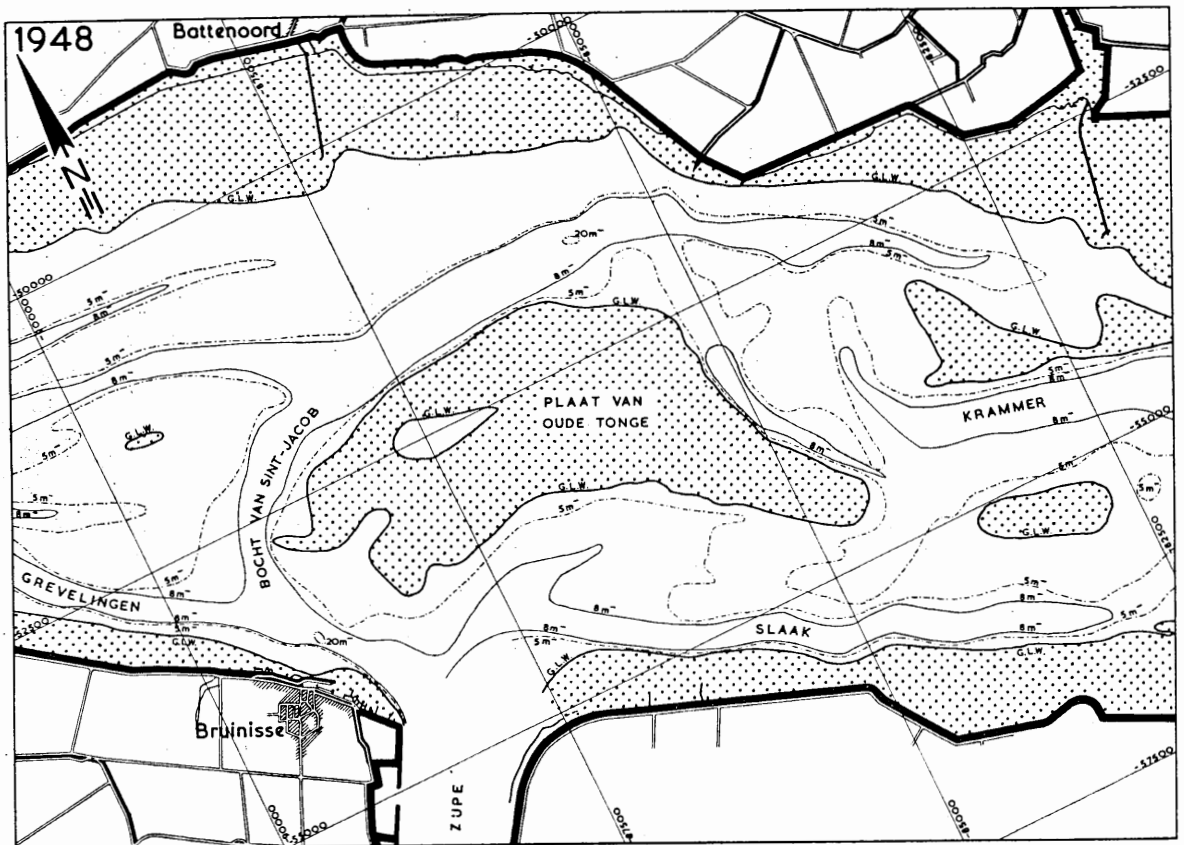


Figuur 2.3.4.

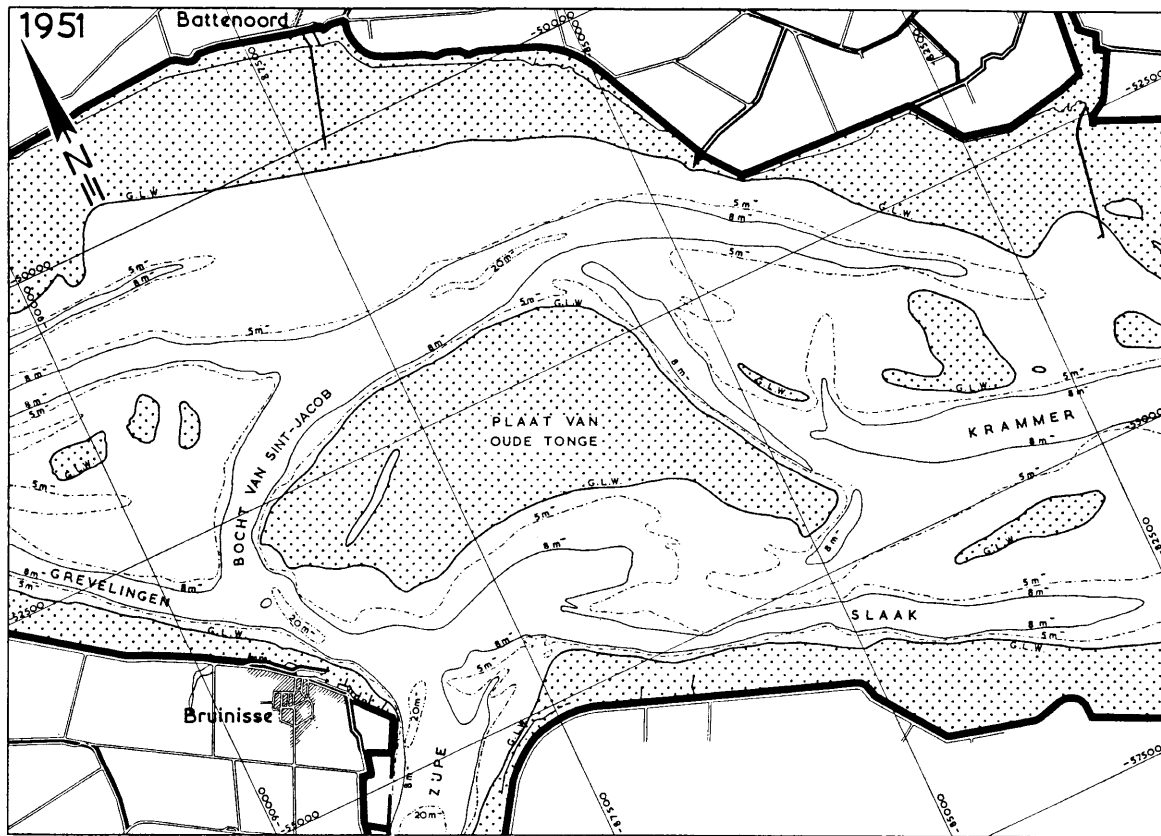




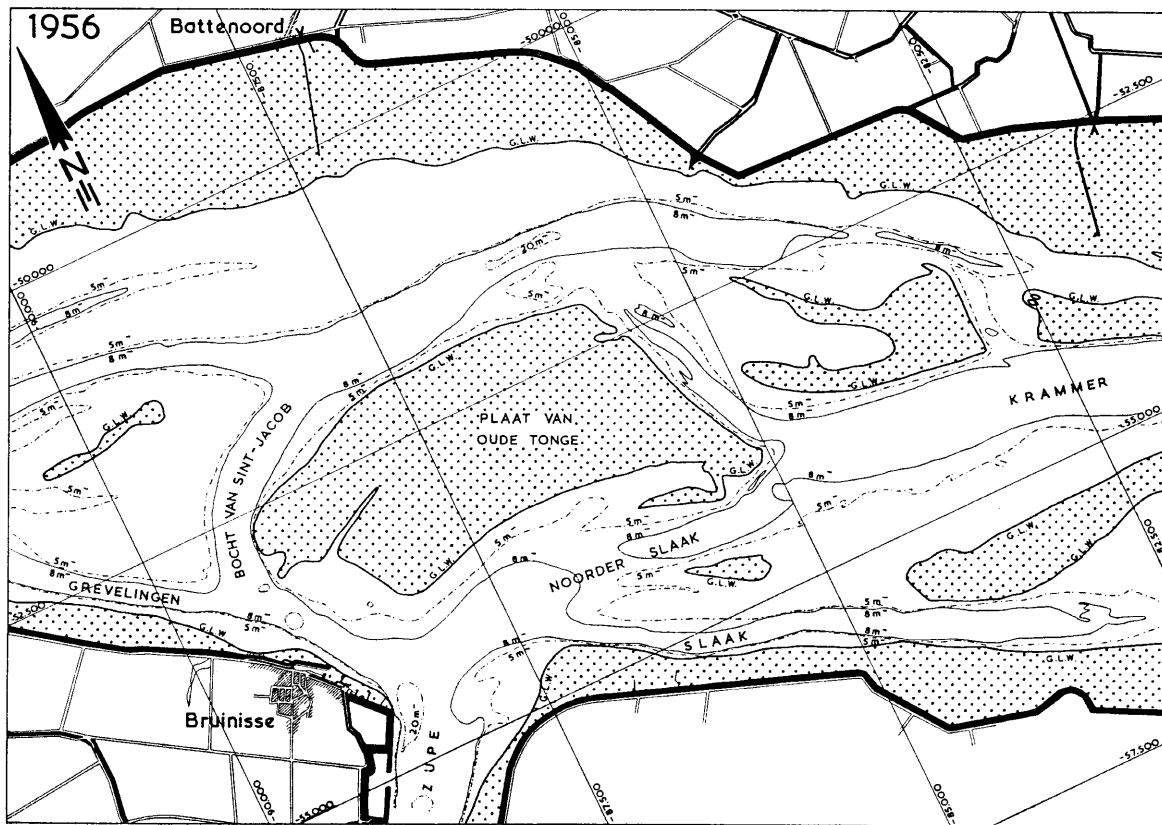
Figuur 2.3.5.



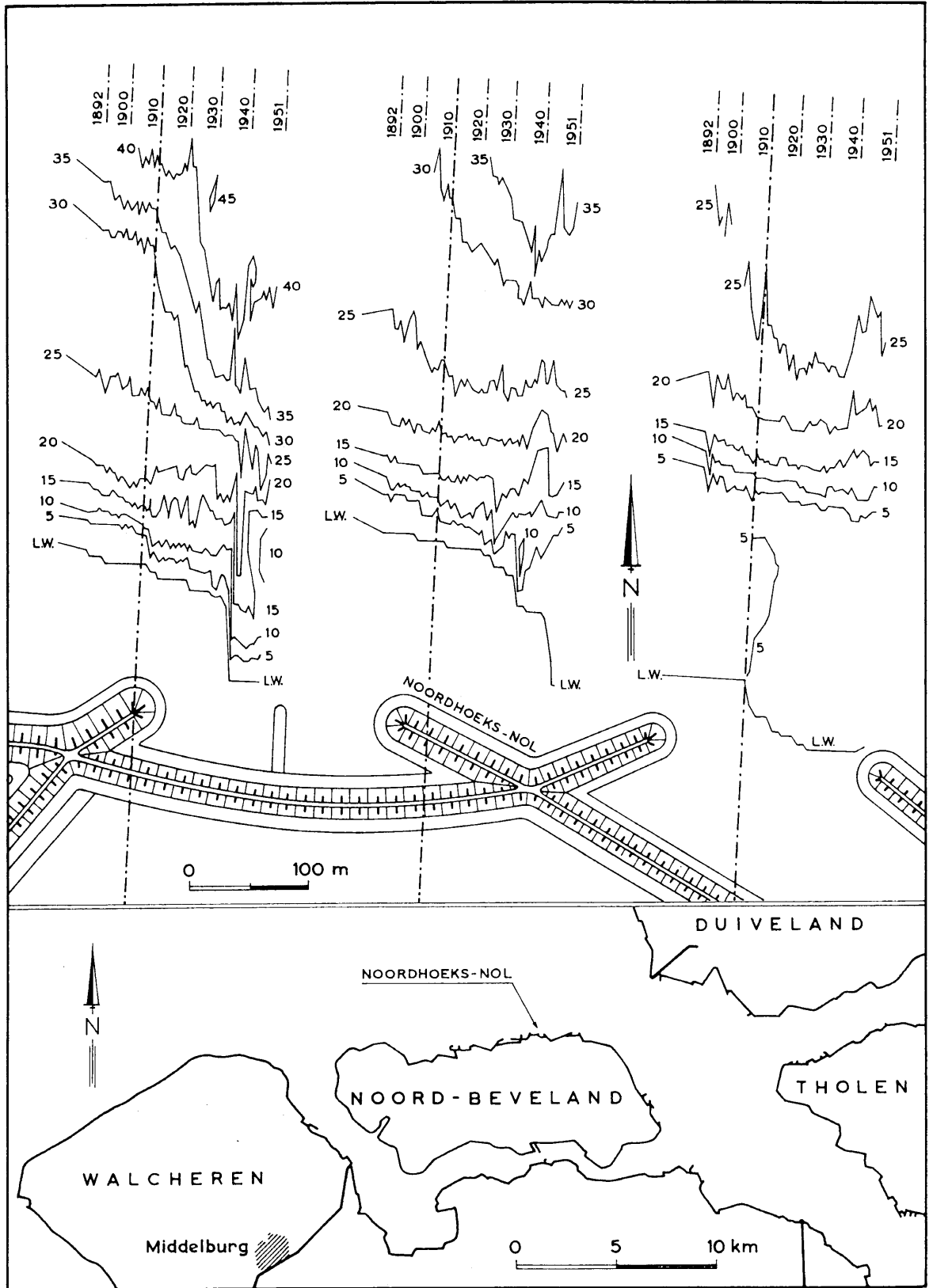
Figuur 2.3.6.



Figuur 2.3.7.



Figuur 2.3.8.



Figuur 2.3.9. Voorbeeld „bliksemgrafieken”

### 3.0 DIRECTE METING VAN HET ZANDTRANSPORT

#### 3.1 Inleiding

Door de bestudering van de veranderingen in de bodemligging volgens de methode van de inhoudsberekeningen wordt slechts een indruk gekregen van de resulterende zandverplaatsingen van of naar een riviervak over een veelal relatief lange periode tussen twee opvolgende lodingen.

De totale zandverplaatsingen zijn echter vele malen groter dan blijkt uit de voorgaande rechtstreeks uit de inhoudsbepalingen volgt. Er zijn nl. zandverplaatsingen, die wel tot een wijziging van de configuratie leiden, maar niet tot een inhoudsverandering van het betrokken gebied; men denke hier bijv. aan een verschuiving van een stroomgeul, zonder dat deze daarbij verdiept of verondiept.

Een indruk van laatstbedoelde verplaatsingen verkrijgt men door bestudering van de in 2.3 genoemde hydrografische films. Een globale berekening leert hieruit, dat bijv. in het Brouwershavense Gat en de Grevelingen door de verplaatsing van de geulen en banken sedimentverschuivingen plaatsvinden van dezelfde orde van grootte als de resulterende inhoudsverandering van het gehele deltagebied in dezelfde tijdseenheid.

Ook dit laatste getal geeft nog niet de juiste orde van grootte van de totale zandbeweging weer. Immers, het proces van de zandbeweging in een getijgebied is meestal een heen en weer schuiven van door de stroom in beweging gebracht materiaal, alternerend in eb- en vloedrichting. Het zijn alleen de resulterende overschotten aan zandtransport in één der beide richtingen, die zich verraden door veranderingen van de bodemfiguratie en dus door peilingen kunnen worden opgemeten en berekend. De totale hoeveelheid materiaal, die in beweging wordt gebracht en verplaatst, zal weer een veelvoud zijn van laatstgenoemde hoeveelheden.

Van de grootte van deze totale hoeveelheden getransporteerd materiaal kan slechts een indruk worden verkregen door de directe meting van het zand, dat in beweging is.

#### 3.2 Meting van het zandtransport met behulp van zandvangers

De bodem van de getijrivieren en zeearmen in het deltagebied bestaat voornamelijk uit fijn zeezand, dat bij geringe stroomsnelheden in beweging komt. Naast de grootte van de stroomsnelheden nabij de bodem bepaalt tevens de turbulentie van de stroom in belangrijke mate de aard en de hoeveelheid van het zandtransport.

Indien de turbulente fluctuaties relatief gering zijn, overweegt het rollend transport langs de bodem. Naarmate de turbulentie toeneemt, komt het veelvuldiger voor, dat de zandkorrels van de bodem worden gelicht en steeds grotere sprongen maken. Men spreekt dan van zwevend transport. In een zeer turbulente stroom komen meetbare concentraties van de zwevende zandkorrels in het gehele profiel van de rivier voor. De concentratie van de zandkorrels neemt echter met de diepte toe en een duidelijke grens tussen het rollend en het zwevend transport is niet aanwezig. In gebieden, waar de orbitaalbeweging van golven bij de bodem nog merkbaar is, is het zwevend transport belangrijk groter dan in gebieden met dezelfde stroomsnelheden en geen golf.

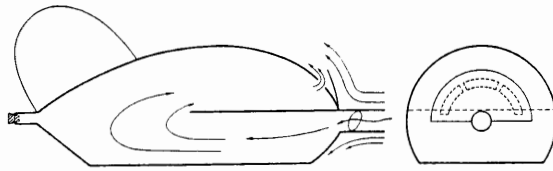
Door onregelmatigheden in het stroombeeld en door de turbulente snelheidsfluctuaties treden grote variaties op in de hoeveelheid bewegend bodemmateriaal. Een betrouwbare bepaling van de hoeveelheid getransporteerd materiaal kan dan ook slechts worden verkregen uit doorlopende metingen van rollend en zwevend transport.

Instrumenten, die een betrouwbare doorlopende informatie omtrent de zandbeweging geven, zijn nog niet ontwikkeld en zullen vermoedelijk nog lang op zich laten wachten. Thans is men nog aangewezen op methoden, waarbij het zandtransport over een bepaalde tijd geïntegreerd wordt gemeten.

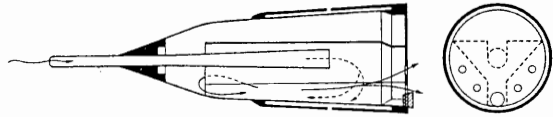
Naarmate de integratietijd langer wordt, gaan meer en meer details van het mechanisme verloren en wordt de interpretatie van de meetresultaten moeilijker.

Er zijn in de loop der jaren verschillende instrumenten voor de meting van het zandtransport ontwikkeld. Daarbij kunnen worden onderscheiden instrumenten, die het rollend bodemtransport meten, en instrumenten, die de verplaatsing van het in water opgenomen zwevende zand bepalen.

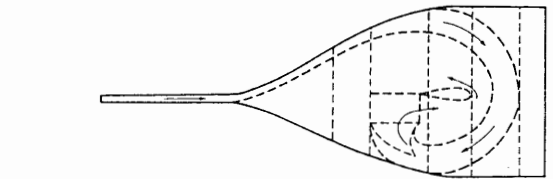
Het eerste instrument, dat in Nederland met succes voor het meten van zwevend zandtransport is toegepast, is de zg. zandvanger (figuur 3.2.1), die omstreeks 1920 werd ontworpen door IR. J. J. CANTER CREMERS: door een kleine tuit stroomt het water hier in een veel wijdere ruimte en verliest daarbij veel



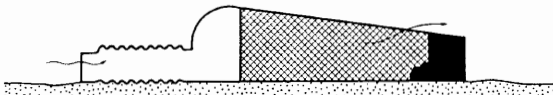
Figuur 3.2.1. Zandtransportmeter „Canter Cremers”



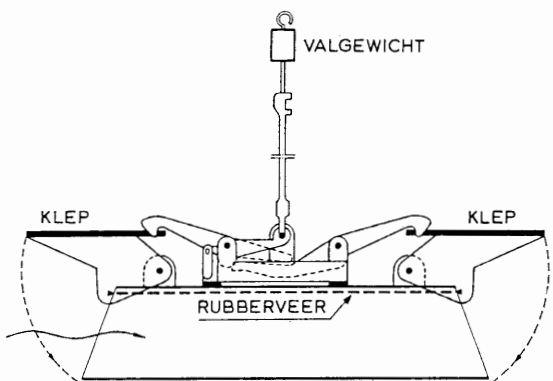
Figuur 3.2.2. Zandtransportmeter „Delftse Fles”



Figuur 3.2.3. Bodemtransportmeter „Sphinx”



Figuur 3.2.4. Bodemtransportmeter „Arnhem”



Figuur 3.2.5. Zandgehaltemeter

snelheid. Door deze stroomverlamming komt het meegevoerde zand tot bezinking, terwijl het water de ruimte door een andere opening weer verlaat.

Later zijn nog door het Waterloopkundig Laboratorium te Delft een aantal zandtransportmeters ontwikkeld. De „Delftse Fles” voor de bepaling van het zwevend transport werkt volgens hetzelfde stroomverlamingsprincipe (figuur 3.2.2).

Voor de meting van het bodemtransport wordt gebruik gemaakt van de „Delftse Fles” met neerwaarts gebogen tuit, de „Sphinx” (figuur 3.2.3), en de BTMA (Bodemtransportmeter „Arnhem”) (figuur 3.2.4). De „Arnhem” bestaat in hoofdzaak uit een gazen kooi, die het zand uit de waterstroom opvangt.

De bodemtransportmeters zijn verend opgehangen in een raamwerk, waarmee zij voorzichtig en zonder schokken op de bodem kunnen worden geplaatst, zodat plaatselijke verstoringen van de zandbodem zoveel mogelijk zijn uitgesloten.

Behalve de bovengenoemde transportmeters, is een instrument ontwikkeld, waarmee het zandgehalte van het stromende water wordt bepaald. Deze zg. gehaltemeter, ontwikkeld door VAN VEEN, bestaat uit één of meerdere boven elkaar geplaatste bakken, die in geopende stand in het water worden neergelaten en dan door een verensysteem plotseling kunnen worden gesloten (fig. 3.2.5). Op deze wijze wordt een monster genomen, waarvan het zandgehalte door bezinking kan worden bepaald. De zandtransportmetingen met de bovengenoemde instrumenten verschaffen slechts gegevens over de toestand in het punt, waar het instrument zich bevindt.

Om met behulp van deze metingen tot een betrouwbaar gemiddelde van de gehele doorsnede van de rivierbedding te komen, zou men dus met een zeer groot aantal van deze instrumenten tegelijk moeten werken, hetgeen als een groot bezwaar voor deze methode van rechtstreekse meting mag worden aangemerkt. Voorts zouden deze metingen op dezelfde plaats ook vaker moeten worden herhaald, om enigermate tot een gemiddelde waarde voor langere perioden te kunnen geraken. De grootste beperking, die de hier beschreven instrumenten voor metingen in het onderhavige geval hebben, is echter gelegen in het feit, dat hiermede bezwaarlijk bij krachtige golfbeweging kan worden gemeten; het is zeker niet mogelijk dan het rollend zandtransport te bepalen, daar het instrument niet met de nodige voorzichtigheid op de bodem kan worden geplaatst. Bij stormten slotte moet het meten, vooral met een groot aantal schepen, vrijwel uitgesloten worden geacht. Nu is het echter juist van het grootste belang, rechtstreeks informaties te krijgen over de zandbeweging in het kustgebied bij zeer zware golfslag, aangezien

het vermoeden bestaat, dat juist dan de grootste zandverplaatsingen geschieden. De oplossing van dit probleem is gezocht in het gebruik van „tracers”: gemerkte materialen, waarvan de verplaatsingen gemakkelijk kunnen worden gevolgd.

### 3.3 Metingen van het zandtransport met gemerkte zandkorrels („tracers”)

Bij de toepassing van tracers wordt een bekende hoeveelheid gemerkt zand op een bepaald punt van de bodem aan het plaatselijke beweeglijke bodemmateriaal toegevoegd. Na verloop van tijd wordt het gemerkte materiaal weer opgespoord en dan kunnen de verplaatsingen, die het onder invloed van de waterbeweging heeft ondergaan, worden vastgesteld [1].

Indien de tracer dezelfde transporteigenschappen bezit als het plaatselijke zand, is zijn verspreiding representatief voor de beweging van het normale bodemmateriaal.

Omstreeks 1930 werden in deze richting enige proeven genomen door de Rijkswaterstaat. Daarbij werd als tracer gebruikt gemalen pannemeel, dat door de kleur van het plaatselijke zand is te onderscheiden. De proeven betroffen een onderzoek naar de verplaatsingen van zandribbels op bij eb droogvallende zandplaten en waren gemakkelijk uitvoerbaar, doordat de tracer bij laagwater in den droge kon worden aangebracht en de verspreiding van de korrels ook weer bij drooggevalen plaat kon worden waargenomen.

Doordat echter het toegepaste materiaal bij een verspreiding van enige betekenis reeds niet meer kon worden opgespoord, kon met deze methode slechts een beperkt resultaat worden geboekt.

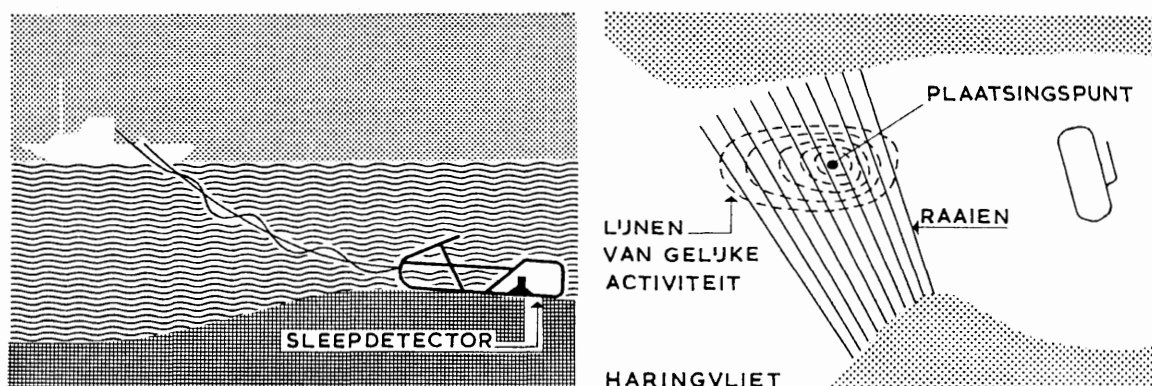
Het onderzoek met tracers kon pas weer in ernstige overweging worden genomen toen na de Tweede Wereldoorlog de toepassing van radioactief gemerkt materiaal als tracer op velerlei terrein ingang begon te vinden. Het succes van de tracers dankt men vooral aan de omstandigheid, dat men de radioactiviteit in zeer geringe concentraties kan meten en dus het tracer materiaal na een betrekkelijk grote verspreiding nog kan opsporen.

In Nederland wordt als tracer materiaal gebruikt een natuurlijke zandsoort: „greensand” of glauconietzand, dat de eigenschap heeft meerwaardige ionen, die in oplossing er mee in contact zijn gebracht, blijvend in het kristalrooster op te nemen. Een geschikte radioactieve isotoop, die op deze wijze in het kristalrooster van greensand kan worden opgenomen, is het driewaardige scandium  $Sc^{46}$ . Deze isotoop heeft een halveringstijd van 85 dagen, zodat metingen in een zelfde gebied na ongeveer een jaar kunnen worden herhaald, zonder dat de resultaten door de voorgaande metingen worden beïnvloed.

Zoals uit laboratoriumproeven is gebleken, heeft het greensand dezelfde transporteigenschappen als gewoon zeezand. De relatief geringe hardheid van greensand kan worden verbeterd door het gloeien van dit materiaal tot ca.  $750^{\circ}C$ .

De tracer kan in betrekkelijk grote hoeveelheden worden vervaardigd. Tot dusver zijn maximale hoeveelheden van ca. 100 kg gemerkt zand op de zeebodem gedeponerd.

Het meten van de verspreiding van de tracer over de bodem geschiedt met een detector, die in een slee langs de bodem wordt gesleept door een meetvlet (figuur 3.3.1), of met een puntdetector, die vanaf een stilliggend schip op de bodem wordt neergelaten.

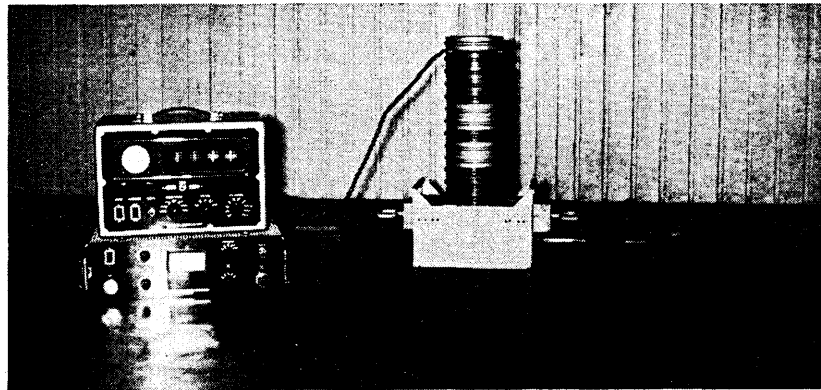


Figuur 3.3.1. Meting van de verspreiding van de „tracer” met een slee detector

De registraties van de detector geven slechts een beeld van het niveau van de radioactiviteit aan de oppervlakte van de bodem. Diep in de bodem geraakte tracerkorrels dragen tot dit niveau slechts een klein gedeelte bij, daar de straling door zand en water gedeeltelijk wordt geabsorbeerd. De absorptie neemt met de dikte van de afschermdende laag logaritmisch toe, zodat de dikte van een laag absorberend materiaal valt te bepalen, die een willekeurig stralingsniveau van een bepaald isotoop door absorptie met factor 0,5 reduceert. Deze laagdikte wordt de „halveringsdikte” van dit absorberend materiaal genoemd. De „halveringsdikte” van het met water verzadigde bodemzand bedraagt voor  $\text{Sc}^{46}$  ca. 11 cm.

Een indruk van de verdeling van de radioactieve korrels over de diepte in de bodem kan worden verkregen door het nemen van ongeroerde bodemmonsters. Hiervoor beschikt men over een boorapparaat, waarmee, afhankelijk van bodemgesteldheid, monsters tot ca. 2 m lengte gestoken kunnen worden.

De verdeling van de tracerkorrels over de diepte wordt gemeten in een laboratoriumopstelling, waarbij reeds de aanwezigheid van enige radioactieve korrels kan worden aangetoond (figuur 3.3.2).



Figuur 3.3.2. Laboratoriumopstelling voor de meting van de verticale verdeling van de „tracer”-korrels

Het aantal monsters, dat op deze wijze kan worden genomen, is echter beperkt tot 6 à 8 monsters per werkbare dag.

Grijpermonsters van de bodemoppervlakte leveren weliswaar minder informatie, maar zijn eenvoudiger te nemen en in combinatie met de waarnemingen van de sleepdetector dragen ze bij tot een waardevolle aanvulling van de steekmonsters.

De nauwkeurigheid van de metingen van de verplaatsing van de tracer wordt mede bepaald door de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling tijdens de metingen, zodat men in het algemeen gebruik maakt van het in 2.2.2.3 beschreven Decca-plaatsbepalingssysteem.

De tot dusver uitgevoerde tracermetingen geven over het algemeen een indruk van verplaatsingsrichting en van relatieve transportintensiteit van zand, dat zich in een betrekkelijk dunne uitwisselingszone nabij de bodem beweegt.

Wordt het zand door turbulentie bijv. 1 m hoog boven de bodem gebracht, dan kan het ten gevolge van de daar heersende stroomsnelheden zo ver vervoerd worden, dat na bezinking de concentratie niet meer meetbaar is.

Om praktische redenen is deze methode slechts bruikbaar, indien een integratie van de zandbeweging over een aantal getijden aanvaardbaar is. De maximale duur van een serie metingen is afhankelijk van de transportsnelheid in het meetgebied en van de hoeveelheid aangebracht radioactief materiaal per plaatsingspunt.

In het kader van de bestudering van de zandbeweging in het deltagebied vindt de methode de volgende toepassingsmogelijkheden:

- a. Het bepalen van de relatieve transportintensiteit en van de transportrichtingen aan de grenzen van een te onderzoeken gebied.
- b. Het bepalen van de invloedzone van golven bij gemengd transport door stroom en golven, vooral in de omgeving van havens en riviermonden.

Na de eerste proefmeting in het Haringvliet zijn enige metingen met succes uitgevoerd op de Maasvlakte en voor de mond van de Rotterdamse Waterweg.

In 5.3 zullen de resultaten van deze metingen nader worden beschreven.

#### 4.0 ZANDTRANSPORTBEREKENINGEN

De in het voorgaande besproken methoden van onderzoek naar de zandbeweging hebben de beperking, dat hiermee slechts een inzicht wordt verkregen in de zandverplaatsingen, die in het verleden hebben plaatsgehad of in de tegenwoordige toestand nog optreden. Het is zeer moeilijk, hieruit prognoses te maken. Wanneer in de toekomst bovendien min of meer ingrijpende wijzigingen in de stromingstoestand worden aangebracht, wordt het maken van een prognose voor de te verwachten gedragingen van de bodem een onmogelijkheid.

Na de Tweede Wereldoorlog werd in verband met de in studie zijnde plannen voor rivierafsluitingen in het noordelijk deltagebied sterk de behoefte gevoeld over een rekenmethode te beschikken, waarmee een indruk van de toekomstige bodemveranderingen kon worden verkregen.

Velen hebben reeds getracht, tot een formulering te komen van de wetten en omstandigheden, die de verplaatsing van sediment door een stroom bepalen.

De hydrodynamische factoren spelen een grote rol en deze zijn zeer geschikt voor schematisatie en vertolking in formules; bij deze bewerkingen leveren echter speciaal de turbulente bewegingen nog grote moeilijkheden, wanneer men ook deze in de formules duidelijk tot uiting wil laten komen.

De berekening van de bewegingen, die zandkorrels of andere kleine gronddeeltjes onder invloed van bepaalde krachten zullen maken, ondervindt nog grotere moeilijkheden. Grond in het algemeen en ook een zandmassa leent zich door zijn in verhouding tot water zeer heterogene samenstelling veel minder goed tot een vereenvoudigende schematisatie. De korrels zullen in vorm, afmeting en samenstelling onderling sterk kunnen verschillen, terwijl ook hun onderlinge ligging van geval tot geval een andere zal zijn; daarbij kan het desbetreffende sediment nog weer uit verschillende systemen zijn opgebouwd, waarbij b.v. combinaties van zand- en slib- of kleilagen zeer vaak voorkomen.

Nog ingewikkelder wordt het probleem, wanneer men het effect wil beschouwen van de inwerking van het vloeibare medium water, op het vaste medium grond. Het blijkt dan, dat het vaste materiaal deels geheel in het water is opgenomen en daarmee als het ware een conglomeraat vormt en deels bij zijn bewegingen onder invloed van de stroom een integrerend deel van de ondergrond blijft uitmaken. De beide uitersten worden hierbij omschreven door de termen zwevend transport enerzijds en schuivend en rollend transport anderzijds.

Het complex van factoren, dat te zamen de verplaatsing van gronddeeltjes door een waterstroom beheerst, is (nog) niet toegankelijk voor een geheel exacte fysisch-mathematische behandeling, zodat in belangrijke mate op de empirie moet worden gesteund.

In feite betekent dit, dat de formules, waarmee het zandtransport enigszins voor berekening toegankelijk wordt, moeten berusten op metingen. Daardoor is de waarde van deze formules in hoofdzaak afhankelijk van de omvang en de kwaliteit van dit waarnemingsmateriaal.

Het ligt voor de hand, dat men bij dit onderzoek van zo eenvoudig mogelijke gevallen uitgaat en dat men geleidelijk zal trachten verdere aanpassingen mogelijk te maken aan gecompliceerdere situaties.

Bij de studie van de zandbeweging in de natuur dient men daarom te beginnen op de bovenrivieren, waar de afvoer soms dagen achtereenvolgend vrijwel constant is. Als volgende stap kan getracht worden de daar gevonden formules uit te breiden voor de omstandigheden, die in een getijgebied worden aangetroffen. Daarbij zal men onder andere stuiten op de moeilijkheden, die worden veroorzaakt door de voortdurende wisselingen van de stroomsnelheden onder invloed van het getij en het feit, dat de beweging van zand in het water een verschijnsel is, dat blijkens waarnemingen enige vertraging heeft ten opzichte van de waterbeweging, die haar veroorzaakt. De invloed van de dientengevolge optredende faseverschuivingen tussen deze beide verschijnselen moet apart door metingen worden vastgesteld.

Moet men dus enerzijds beginnen bij zo eenvoudig mogelijke hydraulische omstandigheden, dan zal men ook moeten uitgaan van bodemmateriaal van zo homogeen mogelijke samenstelling.

Onderzoek in waterlopen, die een betrekkelijk heterogene bodemstructuur hebben, zijn daarom moeilijk toegankelijk voor zandtransportberekeningen voor zover althans hun bodem door erosie in



belangrijke mate aan dat transport bijdraagt. Het eenvoudigst zijn in dit opzicht geulen, waarin zich een zandmassa van weinig wisselende samenstelling beweegt, die niet in betekenende mate wordt gevoed door de erosie van lagen, die een andere samenstelling hebben. Bij de ontwikkeling en toepassing van formules voor de berekening van zandtransport diene men dan ook in dit laatste opzicht de nodige voorzichtigheid te betrachten.

Hoewel hierop in dit bestek niet nader wordt ingegaan, spreekt het vanzelf, dat het laboratorium-onderzoek een belangrijke rol speelt bij de ontwikkeling van methoden tot berekening van zandtransport door een waterstroom. In feite heeft het laboratoriumonderzoek tot dusver wellicht de belangrijkste bijdragen tot dit onderzoek geleverd en zal het dit in de toekomst ongetwijfeld nog verder blijven doen.

Een belangrijke vooruitgang voor de beschouwingsmethoden van het zandtransport betekenden de tussen 1945 en 1950 verschenen publikaties van EINSTEIN, KALINSKE en LANE [2, 4, 5, 6]. In deze publikaties werd gepoogd op grond van de moderne turbulentietheorie een meer universele rekenmethode op te zetten, zij het voor de eenvoudigst denkbare omstandigheden, nl. stationaire stromen, bodemevenwicht en zand van uniforme korrelgrootte.

Onder meer op rekentechnische gronden werd voor zandtransportberekeningen in het Nederlandse getijgebied de voorkeur gegeven aan de methode van KALINSKE met de latere modificaties. Hierbij wordt het zandtransport geschematiseerd in een rollend en in het voor het getijgebied zo belangrijke zwevend transport.

De voor het rollend transport opgestelde formule luidt:

$$\frac{G}{\bar{U}d\gamma_g} = \frac{2p}{3} \cdot \frac{\bar{U}_g}{\bar{U}}$$

Hierin is:

$G$  = drooggewicht van het getransporteerde zand per eenheid van breedte en tijd;

$d$  = korreldiameter;

$\gamma_g$  = specifieke gewicht van het zand;

$p$  = gedeelte van bodem per eenheid van oppervlakte, dat de schuifkracht opneemt;

$\bar{U}_g$  = gemiddelde verplaatsingssnelheid van een rollende korrel, uitgedrukt in een bekende functie van de snelheid van het water en de kritische snelheid van een korrel;

$\bar{U}$  =  $11 \sqrt{\tau_0/\rho}$ ;

$\tau_0$  = schuifkracht op de bodem per eenheid van oppervlakte.

Voor het zwevende transport is gebruik gemaakt van de formule

$$M_s = \int_0^H N_h V_h dh = \int_0^H N_0 e^{-\frac{t}{kH}h} V_h dh.$$

Hierin is:

$M_s$  = het zwevend transport per eenheid van breedte en tijd;

$N_h$  = het zandgehalte op de hoogte  $h$  boven de bodem;

$N_0$  = het zandgehalte ter plaatse van de bodem, uitgedrukt in een bekende functie van  $t$

$\tau = \frac{c}{\sqrt{gHI}}$ , waarin

$c$  = de valsnelheid van zandkorrels in stil water;

$H$  = de waterdiepte;

$I$  = het verhang;

$g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ .

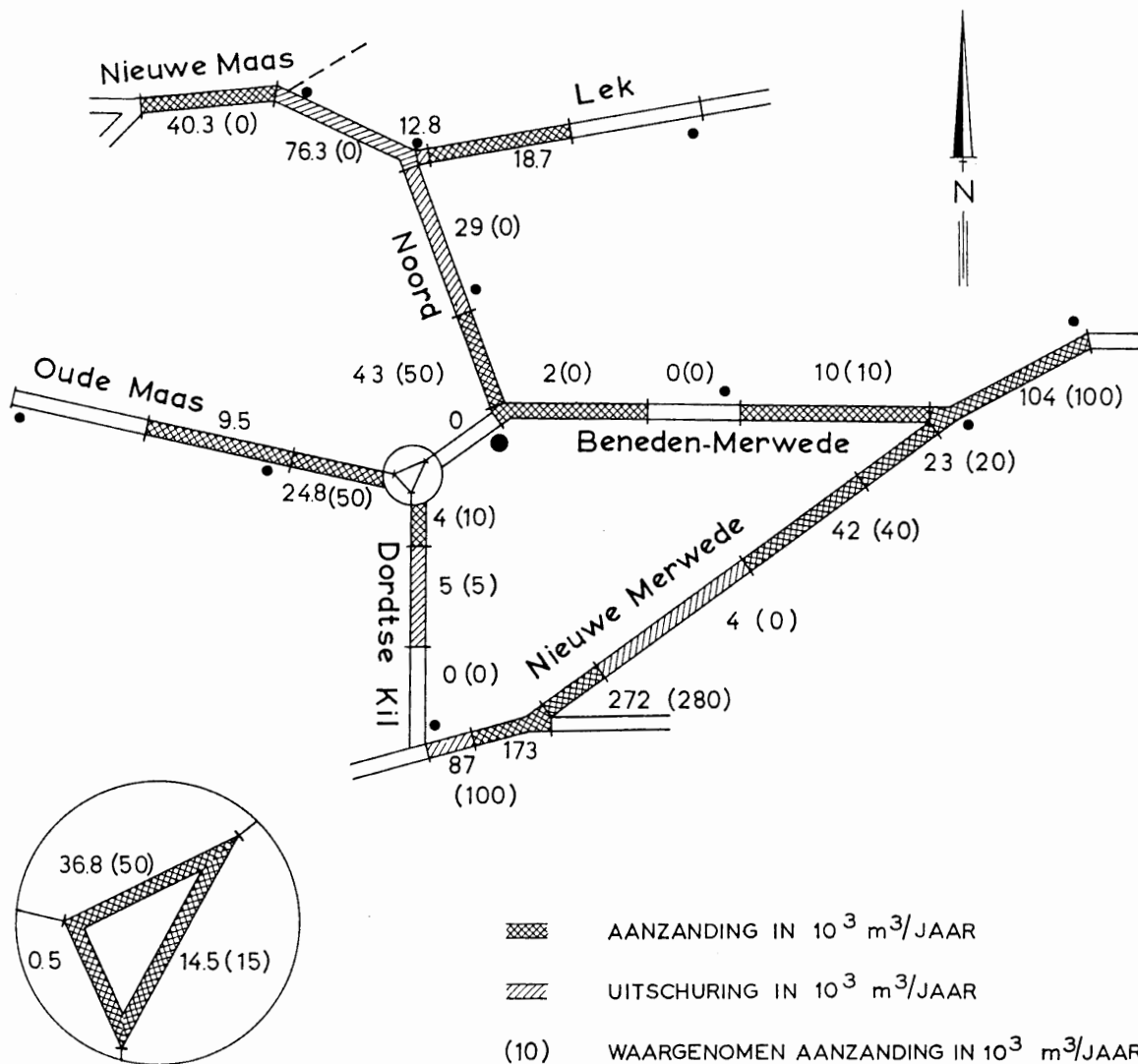
$k$  = constante van Von Kármán;

$V_h$  = watersnelheid op de hoogte  $h$  boven de bodem.

Opmerking: De gebruikte uitdrukking voor  $N_h$  mag uitsluitend gebruikt worden voor de beschouwing van het totale zwevende transport.

Voor het getijgebied moeten enkele voorwaarden worden aangenomen. De voornaamste zijn:

1. De stroomkromme wordt geschematiseerd tot een serie op elkaar volgende stationaire stromen met een duur van  $\frac{1}{3}$  à 1 uur.
2. Het verhang is in het tijgebied geen bruikbare grootheid. Om hieraan tegemoet te komen wordt de stroomsnelheid met behulp van de wet van De Chézy herleid tot een schijnbaar verhang.
3. Aanpassing van de formules aan de optredende stroomsnelheidsverdeling is somtijds nodig, waarbij beperkte dichtheidsverschillen in rekening kunnen worden gebracht.



Figuur 4.0.1. Vergelijking van de uitkomsten van de zandtransportberekeningen voor de bestaande toestand bij gemiddelde Rijnafoer te Lobith met de waargenomen inhoudsveranderingen

Het eerste onderzoek naar de mogelijkheden van toepassing van deze formule in het getijgebied richtte zich op het oostelijk gedeelte van de Oosterschelde, omdat de korrelgrootteverdeling van het bodemmateriaal hier een vrij homogeen karakter heeft en de dichtheid van het water geen noemenswaardige verschillen vertoont. De voor de berekeningen nodige basisgegevens (stroomsnelheid, diepten, korrelgrootten, vorm snelheidsverticaal) werden ontleend aan metingen.

Met behulp van de gevonden zandtransportcapaciteiten in de verschillende raaien werden van de tussengelegen gebieden de aanzandingen, c.q. uitschuringen bepaald. De uitkomsten bleken kwalitatief bevredigend overeen te stemmen met de gemeten zandtransporten op 0,10 m boven de bodem. Verder

bleek, dat kwantitatieve waarden werden gevonden, die overeenkwamen met de resultaten der kuberingen. Uit enkele aanvullende metingen bleek hierna, dat de gemeten zandgehalteverticalen geen essentiële verschillen vertoonden ten opzichte van de berekende verticalen [7].

Het optreden van dichtheidsverschillen in het water beïnvloedt de stroomverdeling in de verticaal en het turbulentiëpatroon. Blijven deze dichtheidsverschillen beperkt, dan is het mogelijk berekeningen uit te voeren. Indien grotere dichtheidsverschillen optreden, is het tot nu toe nog niet mogelijk gebleken om berekeningen hieraan aan te passen. Deze aangelegenheid vormt echter nog een onderwerp van studie.

In verband met het maken van prognoses over toekomstige toestanden werd vervolgens nagegaan in hoeverre het mogelijk was zandtransportberekeningen te maken, waarbij als basisgegevens gebruik werd gemaakt van geulschematisaties en stromingstoestanden, afkomstig van getijberekeningen<sup>1)</sup>. Hiervoor werden gekozen de wateren rondom het Eiland van Dordrecht.

Wederom bleek het, dat de bij de zandtransportberekeningen bepaalde uitschuringen en aanzandingen op bevredigende wijze in overeenstemming waren met de resultaten der kuberingen (figuur 4.0.1). De voornaamste verschillen treden op in de Noord en Nieuwe Maas, doch zijn verklaarbaar uit het feit dat de bodem van de Noord en van de Nieuwe Maas deels uit klei bestaat, waardoor de werkelijk optredende uitschuringen kleiner zullen zijn.

Hierna is een aantal variatieberekeningen uitgevoerd voor omstandigheden, zoals deze tijdens en na uitvoering van het Deltaplan zijn te verwachten. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in 5.4.

## 5.0 SAMENVATTING RESULTATEN

In het onderstaande zullen enige resultaten van de onderzoekingen naar de zandbeweging worden samengevat.

### 5.1 Uitkomsten van het onderzoek met behulp van inhoudsberekeningen

Met inachtneming van de in het voorgaande vermelde beperkingen van deze methode is een poging gedaan om met behulp van de beschikbare gegevens een inzicht te verkrijgen in de zandverplaatsingen in het gehele gebied der zuidwestelijke wateren. De doelstelling was o.a. te onderzoeken of dit gebied verdiepte of verondiepte en een zg. balans van zandverlies en zandwinst op te stellen. Hiervoor zijn de perioden 1872-1933 en 1933-1952 in beschouwing genomen.

Voor zover de gegevens voor de verschillende gebieden niet over deze perioden beschikbaar waren, zijn zij door extrapolatie of interpolatie verkregen.

De diepteveranderingen boven N.A.P. waren, zoals reeds eerder is opgemerkt, veelal niet beschikbaar, zodat deze niet in de beschouwing zijn betrokken.

De getijwateren werden verdeeld in vakken (zie figuur 2.2.1). De beschikbare gegevens van elk vak betreffende de inhouds- en diepteveranderingen beneden N.A.P. zijn samengevat op bijlage IV.6-5.1.1. Door beschouwing van de figuren wordt een goed beeld verkregen van de gedragingen van de verschillende wateren. Zo is bijvoorbeeld bij de vakken 5 en 16 de invloed van de aanleg van de Hellegatdam in 1931, bij vak 7 het verschil tussen Haringvliet (verondieping) en Vuile Gat (verdieping) en de sterke verdieping in de vakken 25 (Keten-Mastgat-Zijpe) en 36 (Roompot-Onrust) duidelijk te onderkennen.

Voor de perioden 1872-1933 en 1933-1952 zijn de gegevens voor de verschillende vakken verzameld op de figuren 5.1.1 en 5.1.2. Voor het verkrijgen van een goed overzicht van de gedragingen van de bodem zijn de vakken tot een aantal grotere gebieden samengevoegd. De daarop betrekking hebbende gegevens zijn opgenomen op de figuren 5.1.4 en 5.1.5.

Bovendien zijn de resultaten samengevat in tabel 5.1.1, verdeeld in A (zeearmen en tussenwateren, behalve de Westerschelde) en B (Westerschelde), elk met de bijbehorende bankengebieden.

In tabel 5.1.1 zijn voor de mond van de Westerschelde en het buitenbankengebied over de periode 1933-1952 geen cijfers vermeld. Voor deze gebieden zijn de onderzoekingen nog niet afgesloten.

<sup>1)</sup> Zie Bijlage IV.3

Tabel 5.1.1  
Overzicht inhoudsveranderingen 1872-1933 en 1933-1952 in mjn. m<sup>3</sup>

Naam van het gebied	Vakken	Periode 1872-1933		Periode 1933-1952	
		Zandwinst	Zandverlies	Zandwinst	Zandverlies
<b>A</b>					
Hollands Diep . . . . .	1, 2, 3, 4, 5, 6	28	—	15	—
Haringvliet . . . . .	7, 8, 9, 10	27	9	28	3
Zeegat van Goeree en Mond Brielse Maas . . .	11, 12, 13, 14, 15	32	22	34	—
Volkerak, Krammer . . . . .	16, 17, 18, 19	24	—	—	24
Grevelingen, Brouwershavense Gat . . . . .	20, 21, 22, 23, 24	21	7	12	—
Keten, Mastgat, Zijpe . . . . .	25	—	22	—	10
Oosterschelde . . . . .	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36	17	239	21	119
Zandkreek-Veerse Gat . . . . .	37, 38	24	6	4	2
Buitenbanken gebied Goeree-Walcheren . . . .	39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48	152 <sup>1)</sup>	84 <sup>1)</sup>	64 <sup>1)</sup>	35 <sup>1)</sup>
Totaal . . . . .		325	402	178	193
<b>B</b>					
Westerschelde . . . . .	49, 50, 51, 52, 53	31	48	38	21
Braakman, Sloe . . . . .	54, 55	32	—	3	—
Mond Westerschelde . . . . .	56, 57, 58, 59	—	249		
Buitenbankengebied . . . . .	60, 61	278 <sup>1)</sup>	203 <sup>1)</sup>		
Totaal . . . . .		341	500		

<sup>1)</sup> Deze gegevens zijn weinig betrouwbaar en hebben slechts informatieve waarde.

Zoals blijkt uit de tabel, benaderen de totaalcijfers voor zandwinst en zandverlies voor de gebieden, genoemd onder A, elkaar meer dan die voor de gebieden, genoemd onder B. In beide gevallen overweegt het zandverlies.

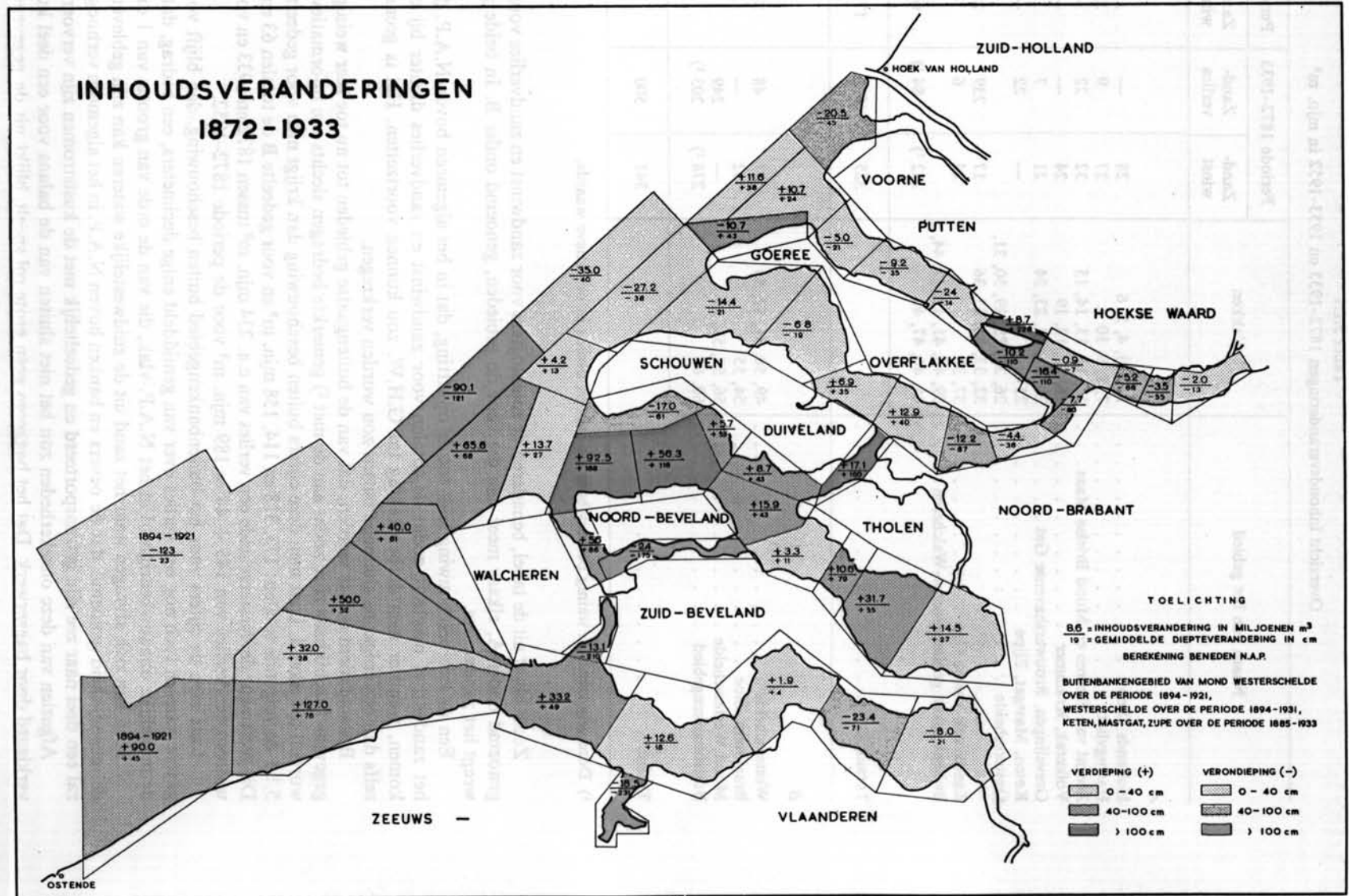
Een nadere beschouwing leidt tot de opvatting, dat in het algemeen boven N.A.P. de aanzanding het zandverlies overtreft, zodat de totalen voor zandwinst en zandverlies dichter bij elkaar zouden komen, wanneer men de berekening tot G.H.W. zou kunnen voortzetten. Het is geenszins zeker of zelfs dan een enigszins sluitende balans zou worden verkregen.

Bedacht dient ook te worden, dat van de buitengaatsse gebieden tot nu toe zeer weinig betrouwbare gegevens beschikbaar zijn, zodat aan de met <sup>1)</sup> gemerkte bedragen slechts een informatieve waarde kan worden toegekend. Laat men deze cijfers buiten beschouwing dan krijgt men voor gedeelte A van tabel 5.1.1 de volgende totalen: 173, 318 en 114, 158 mjn. m<sup>3</sup> en voor gedeelte B de totalen 63 en 297 mjn. m<sup>3</sup>. Dit geeft voor de Westerschelde een verlies van c.a. 234 mjn. m<sup>3</sup> tussen 1872 en 1933 en voor de overige wateren een verlies van 145 + 44 = 189 mjn. m<sup>3</sup> voor de periode 1872-1952.

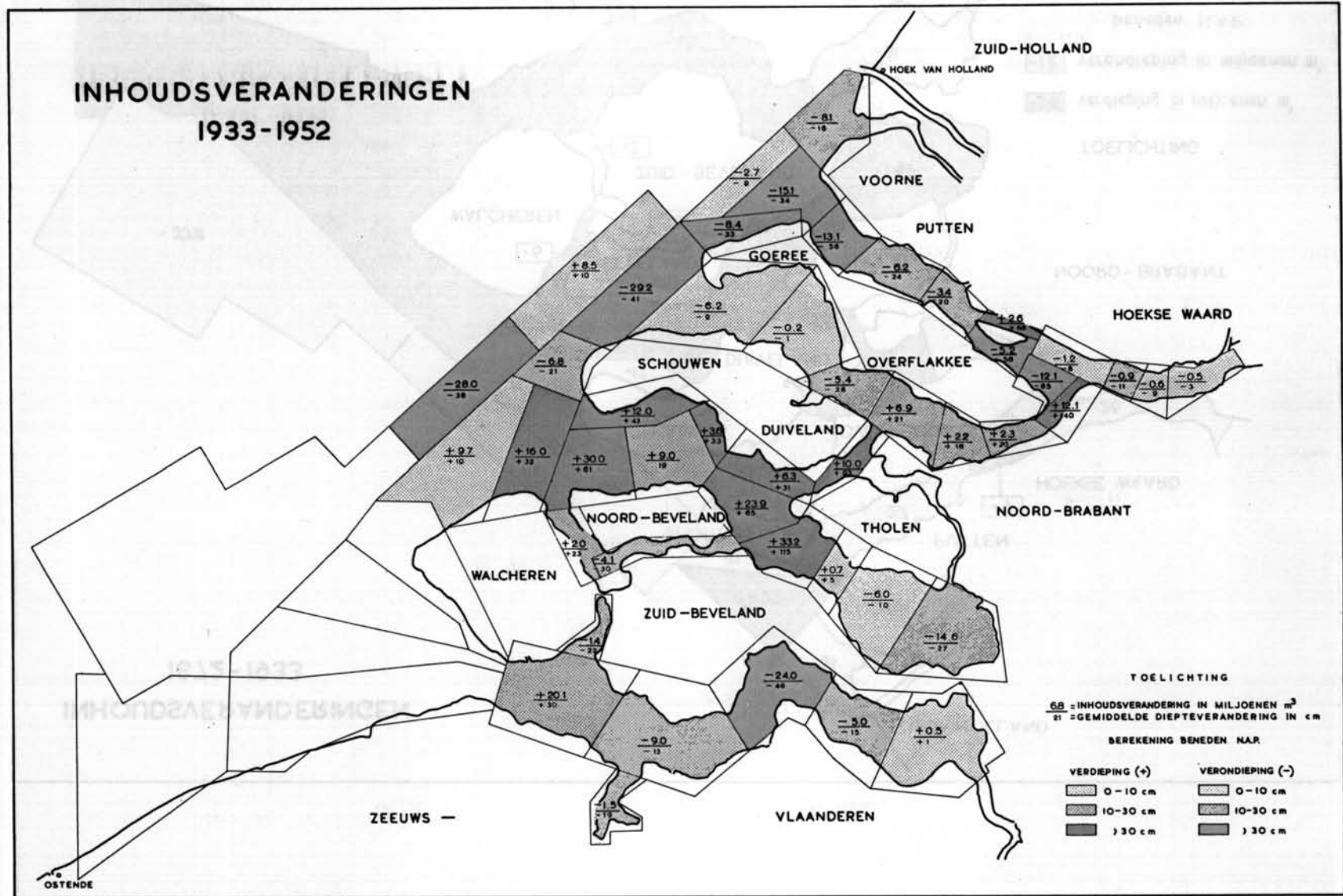
Laat men de cijfers voor het buitenbankengebied buiten beschouwing, dan blijft voor de binnengaatsse wateren toch nog een verlies over van gemiddeld enige decimeters, een bedrag, dat groter is dan de mogelijke onnauwkeurigheid in het N.A.P.-vlak, die van de orde van grootte van 1 dm is.

Men kan zich afvragen waar het zand uit de zuidwestelijke wateren kan zijn gebleven. Reeds werd de mogelijkheid genoemd, dat de oevers en banken boven N.A.P. in het algemeen verhoogd zijn. Verder zal een deel naar zee zijn getransporteerd en gedeeltelijk met de kuststromen zijn vervoerd.

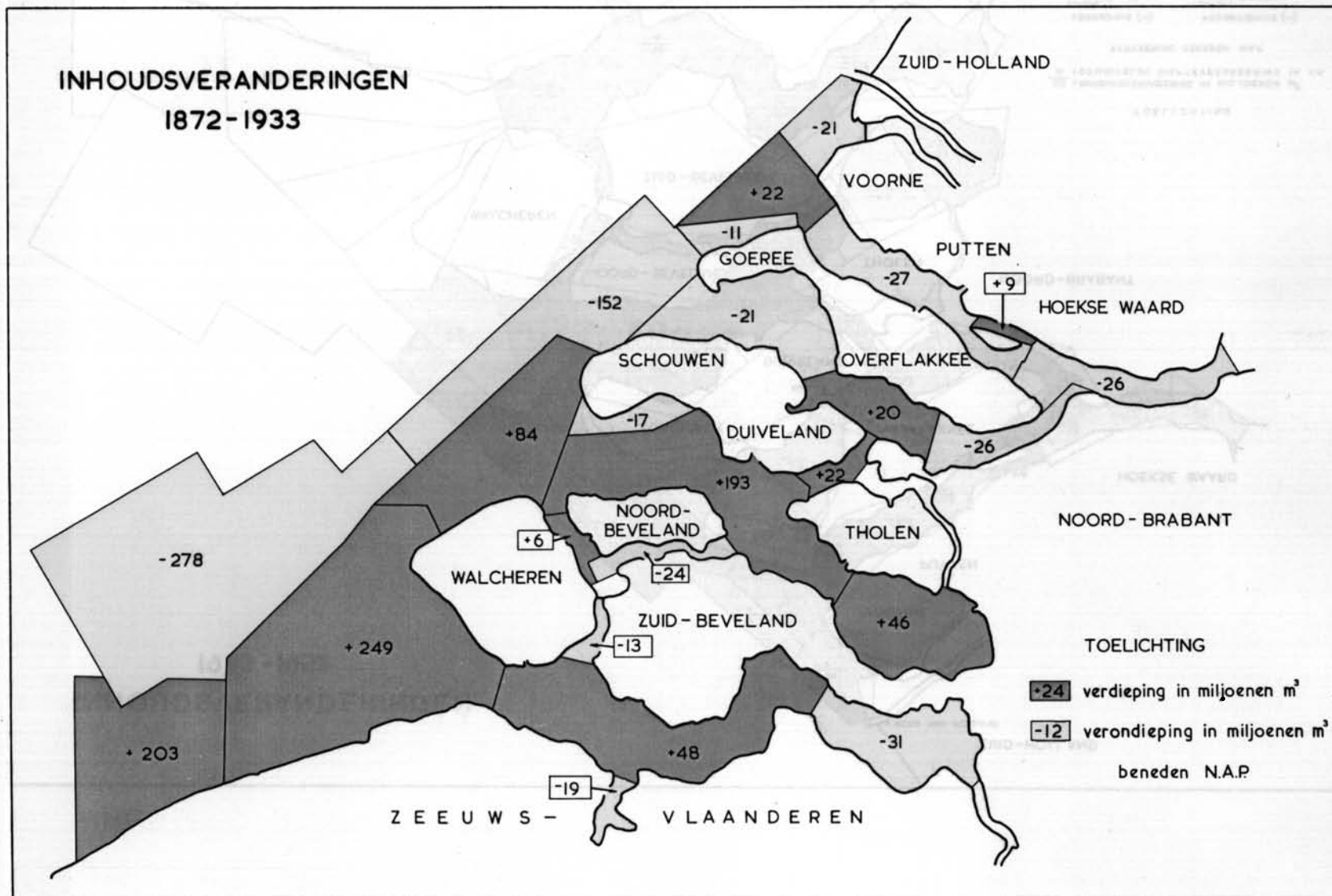
Afgezien van deze onzekerheden zou het niet sluiten van de balans voor een deel kunnen worden verklaard door baggerwerk. Dat het baggeren geen grote rol speelt, blijkt uit de gegevens op blz. 364.



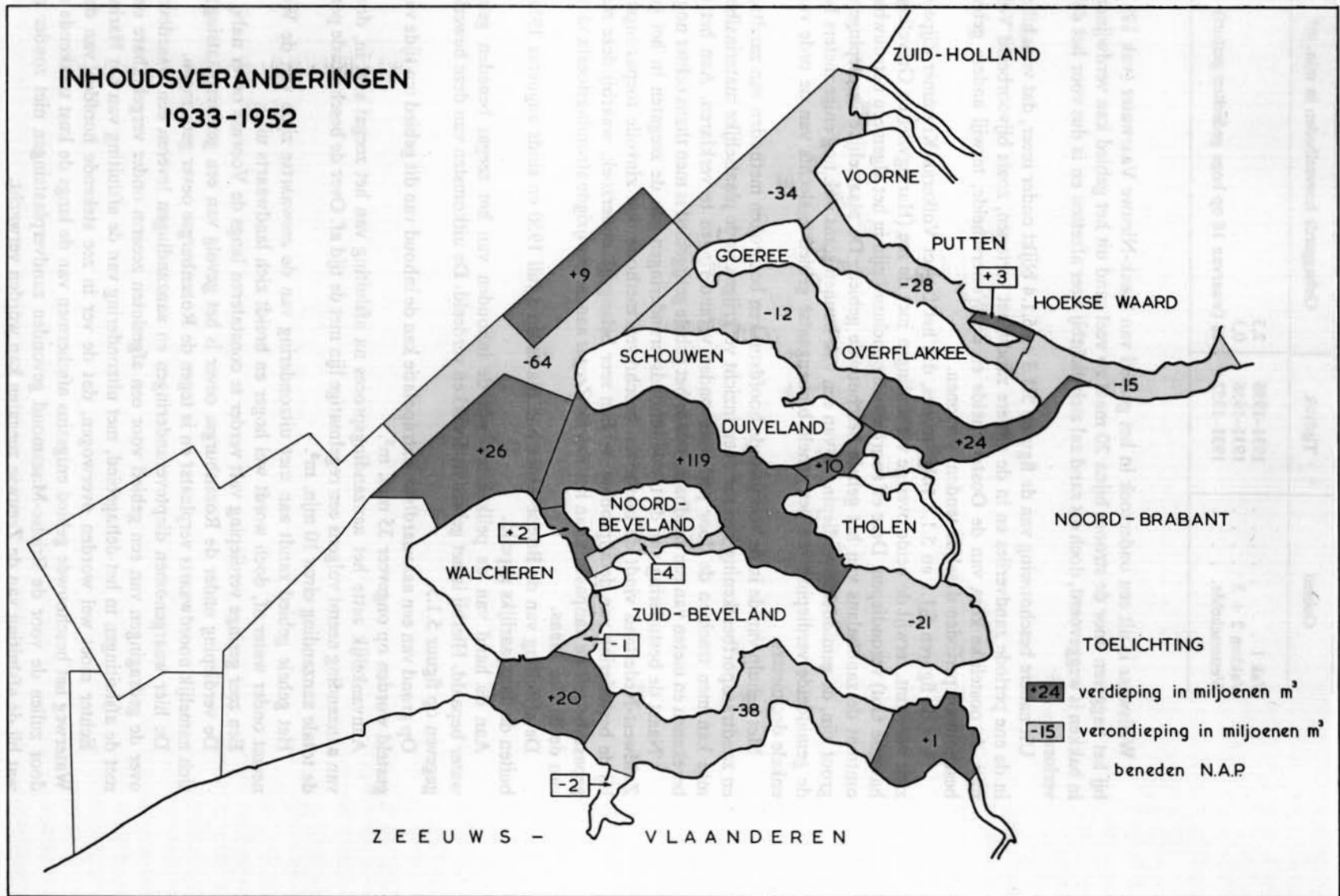
Figuur 5.1.1



Figuur 5.1.2



Figuur 5.1.3



Figuur 5.1.4



Gebied	Tijdvak	Gebaggerde hoeveelheden in mjn. m <sup>3</sup>
Vak 1 . . . . .	1931-1956	2,3
Vakken 2 + 3 . . . . .	1931-1956	0,3
Westerschelde. . . . .	1931-1952	28 (waarvan 16 op hoge gedeelten gestort)

Weliswaar is uit een onderzoek in het gebied van Slaak-Nieuwe Vaarwater (vak 19) gebleken, dat bij het baggeren door de stroom bijna 20 maal zo veel zand uit het gebied kan verdwijnen dan hetgeen in bakken is weggevoerd, doch dit zand zal zich dichtbij weer afzetten en is dus voor het deltagebied niet verloren.

Uit nadere beschouwing van de figuren 5.1.3 en 5.1.4 blijkt onder meer, dat verschillende gebieden in de ene periode zandverlies en in de andere zandwinst vertonen, zoals bijvoorbeeld Volkerak-Krammer, de oostelijke kom van de Oosterschelde en de Westerschelde, terwijl andere gebieden in beide beschouwde perioden dezelfde tendens vertonen.

Uit de figuren 5.1.1 en 5.1.3 volgt tevens, dat het traject Volkerak-Krammer-Zijpe-Oosterschelde zich verruimt, terwijl de beide overige verbindingen met de zee (Haringvliet en Grevelingen-Brouwershavense Gat) verondiepen. Deze en soortgelijke conclusies zijn in het algemeen betrouwbaarder dan die omtrent de zandbalans van het gehele beschouwde gebied. De plaatselijke verdiepingen kunnen zeer groot zijn, de gemiddelde verdiepingen van een vak kunnen soms ook nog enige meters bedragen, doch de gemiddelde verdieping van het gehele binnengaats gebied is slechts van de orde van grootte van enkele decimeters.

Met behulp van de in de voorgaande hoofdstukken besproken methoden van zandtransportmeting en zandtransportberekening kan men een inzicht verkrijgen in de plaatselijke materiaalbeweging. Hiermee kan men trachten de door peilen gevonden veranderingen te verklaren. Aan het op deze wijze berekenen en meten van een zandbalans voor het gehele getijgebied is men thans echter nog geenszins toe.

Naast de bestudering van de totale inhoudsveranderingen van de zeegaten in het getijgebied van Zuidwest-Nederland vindt de hierboven beschreven methode ook zinvolle toepassingsmogelijkheden bij de bestudering van detailproblemen. Een zeer belangrijk onderzoek, waarbij deze methode is toegepast, betreft de aanpassing van het *Brielse Zeegat* aan de gewijzigde stromingstoestand na de afsluiting van de Brielse Maas.

De afsluiting van de Brielse Maas had plaats op 3 juli 1950 en sinds augustus 1951 is het gebied buiten de dam jaarlijks gepeild.

Aan de hand van de peilkaarten zijn de inhouden van het zeegat beneden gemiddeld hoogwater bepaald. Hierbij is het gebied in 5 vakken verdeeld. De uitkomsten van deze bewerking zijn weergegeven op figuur 5.1.5.

Op grond van een aanvaardbare extrapolatie kan de inhoud van dit gebied ten tijde van de afsluiting gesteld worden op ongeveer 35 mjn. m<sup>3</sup>.

Aanvankelijk zette het aanzandingsproces na afsluiting van het zeegat snel in, doch de snelheid van aanzanding neemt volgens een regelmatige lijn met de tijd af. Over de beschouwde periode bedraagt de totale aanzanding circa 10 mjn. m<sup>3</sup>.

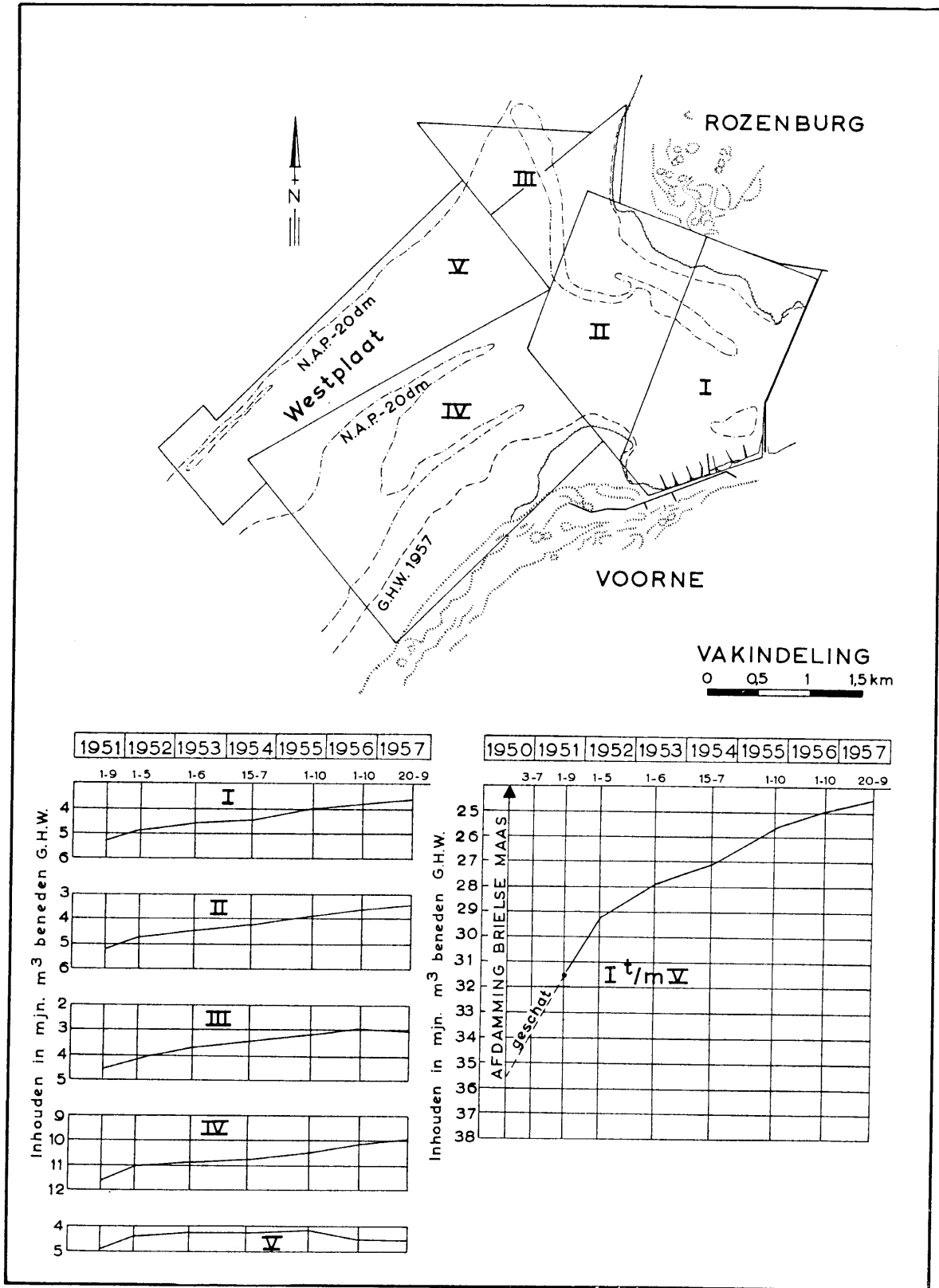
Het gehele gebied zandt aan met uitzondering van de zeewaartse zijde van de Westplaat. Deze neemt onder water af, doch wordt wel hoger en breidt zich landwaarts uit.

Een zeer geringe verdieping valt verder te constateren langs de Voornse oever nabij de dam.

De verdieping onder de Rozenburgse oever is het gevolg van een geulverplaatsing; de geul heeft zich namelijk noordwaarts verplaatst en is tegen de Rozenburgse oever gedrongen.

De hier waargenomen diepteveranderingen en aanzandingen leveren een waardevolle informatie over de gedragingen van een gebied voor een afgesloten zeearm onder vergelijkbare omstandigheden met de afsluitingen in het deltagebied, met uitzondering van de afsluiting van het Haringvliet.

Echter moet wel worden overwogen, dat de ver in zee stekende hoofden van de Rotterdamse Waterweg het beschouwde gebied enigszins afschermen van de langs de kust trekkende stromen. Hierdoor zullen de voor de Brielse-Maasmond gevonden zandverplaatsingen niet zonder meer aangeven wat bij de afsluiting van de Zeeuwse zeegaten kan worden verwacht.

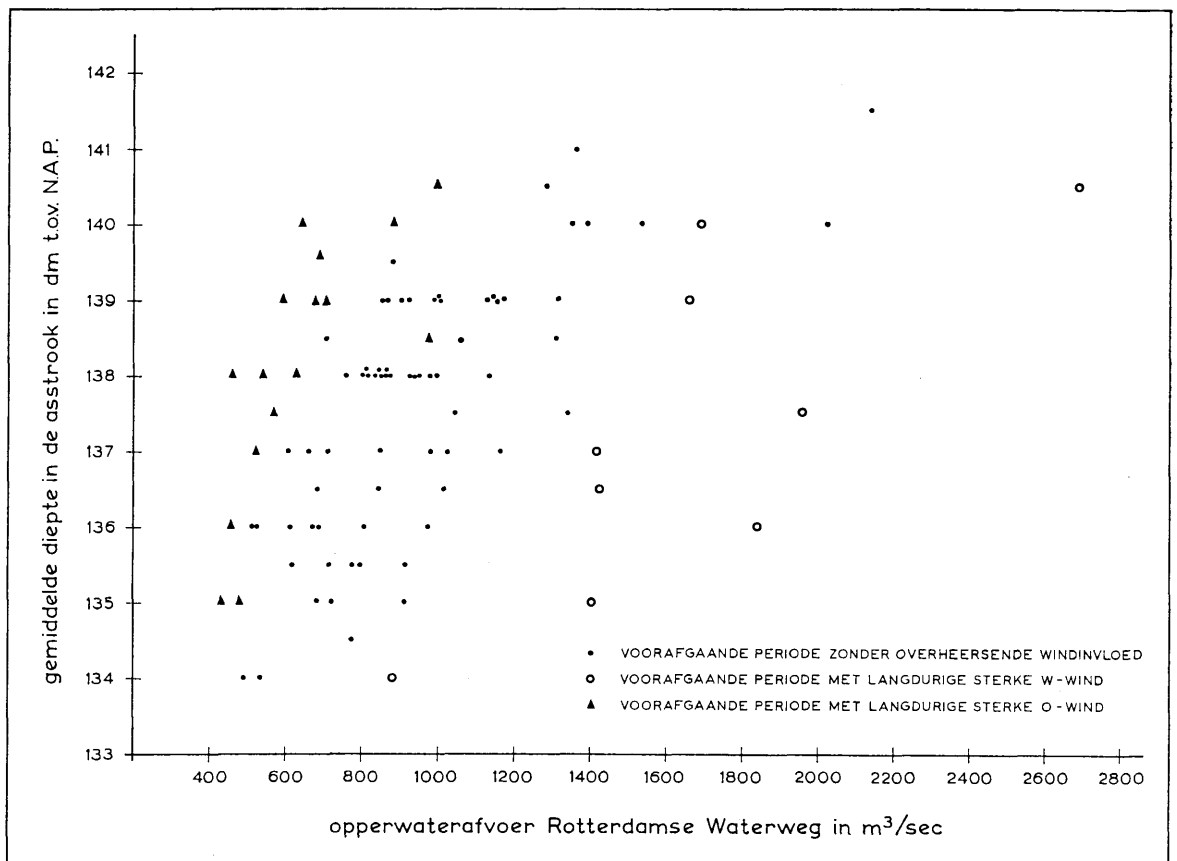


Figuur 5.1.5. Aanzandingsproces mond Brielse Maas 1950-1957

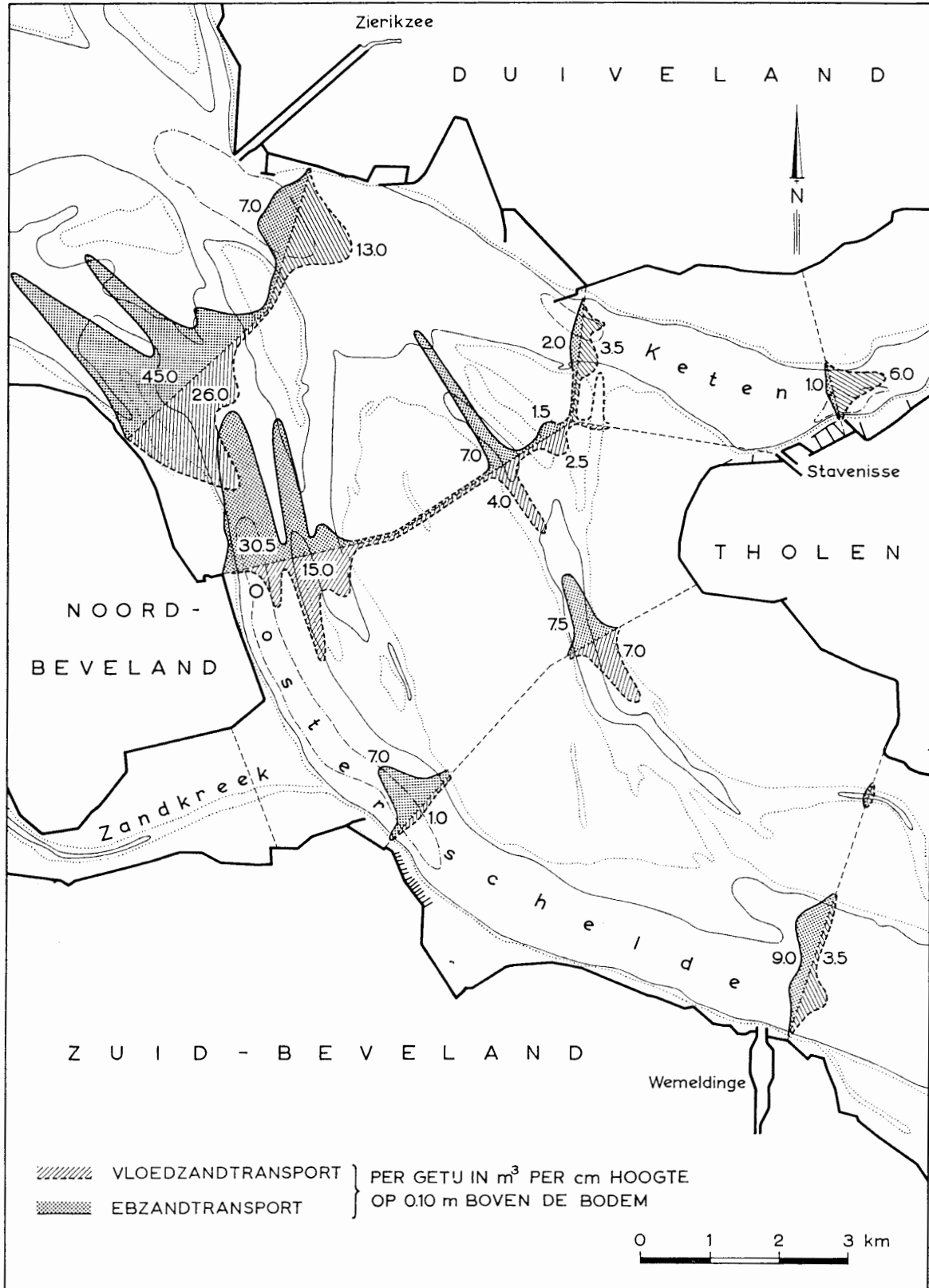
Voor de *benedenrivieren* is het moeilijker om uit de beschikbare peilkaarten een inzicht te verkrijgen in de natuurlijke zandhuishouding, daar de mens hier enkele malen betrekkelijk krachtig heeft ingegrepen. Men denke hier met name aan het graven van de Nieuwe Waterweg tussen 1865 en 1870, aan de verbeteringswerken, die omstreeks 1870 tot het ontstaan van de Nieuwe Merwede hebben geleid, aan de verdieping van de Oude Maas, aan de afsluiting van de Botlek in recentere tijd en voorts aan de vele havenbekkens, die langs de Nieuwe Maas zijn gegraven. Door deze veranderingen is het stromingsregime in deze gebieden belangrijk gewijzigd.

Voorts hebben ook de baggerwerken, die in de benedenrivieren alsook in de aangrenzende delen van de bovenrivieren zijn uitgevoerd ten behoeve van scheepvaart en zandwinning, tot verstoringen van de natuurlijke tendensen geleid.

Toch konden voor de *Rotterdamse Waterweg* door zorgvuldige bestudering van de opvolgende maandelijks peilingen bepaalde gedragingen worden onderkend, die enig systeem verraden. Uit een vergelijkende studie van langslodigen in de Rotterdamse Waterweg over de periode van 1951 tot 1958 is gebleken, dat de zandbeweging in deze belangrijke scheepvaartweg tussen Hoek van Holland en de Westgeul reageert zowel op wijzigingen van de opperwaterafvoer als op de omstandigheden in zee. In figuur 5.1.6 is voor het riviergedeelte tussen kmr. 1022 en 1026 (zie figuur 2.2.1) de gemiddelde diepte van de asstrook van de rivieren tegen de daarbij opgetreden opperwaterafvoeren uitgezet. Er zijn in figuur 5.1.6. drie groepen punten te onderscheiden, nl. de punten, waarbij gedurende de maand, die aan de loding voorafging, geen overheersende windinvloed aanwezig was en de punten, waarbij gedurende de voorafgaande maand een langdurige periode met sterke westelijke of met sterke oostelijke winden is voorgekomen. Alle drie puntengroepen vertonen de tendens, dat bij hogere rivierafvoeren grotere diepten in de rivier optreden. Bovendien ligt in de figuur de groep punten, behorend bij de overheersende



Figuur 5.1.6. Verband tussen de gemiddelde diepten in de asstrook van de Rotterdamse Waterweg tussen kmr. 1022 en 1026 en de opgetreden rivierafvoeren en weersomstandigheden



Figuur 5.2.1. Resultaat directe zandtransportmetingen Oosterschelde

oostelijke winden, boven de ongestoorde groep, hetgeen een grotere bijbehorende diepte op de Rotterdamse Waterweg betekent. Voor de waarnemingen met een voorafgaande periode met langdurige westenwinden is het omgekeerde het geval. Deze verbanden zijn in figuur 5.2.1 alleen aangegeven voor de asstrook van 100 m breedte van de rivier. Uit de halfjaarlijkse lodingen is echter aangetoond, dat het gehele dwarsprofiel van de rivier op analoge wijze reageert als de asstrook.

Voor het gebied zeewaarts van Hoek van Holland, tussen de hoofden, waar het uitwisselingsmechanisme tussen zout en zoet water een ander karakter heeft, treden deze verbanden niet op. Hier zijn de puntenwolken zodanig gespreid en gemengd, dat geen relatie te onderkennen valt.

Om de gedachten te bepalen betreffende de zandverplaatsingen, die hiermede zijn gemoeid, is becijferd, dat bijv. in het gedeelte van de Rotterdamse Waterweg benedenstrooms van de Westgeul binnen enkele maanden tijds, al naar de omstandigheden, enkele miljoenen m<sup>3</sup> zand naar zee kunnen worden afgevoerd dan wel in dit gedeelte kunnen worden geaccumuleerd.

Voor de overige riviertakken waren de beschikbare peilgegevens te schaars om ook hiervoor dergelijke systematische gedragingen te ontdekken. Daarvoor werden peilingen in het verleden te weinig frequent uitgevoerd.

Omdat het echter met het oog op de te verwachten veranderingen ten gevolge van het Deltaplan gewenst is, ook de zandverplaatsingen op de benedenrivieren beter te leren kennen dan thans het geval is, is men er toe overgegaan de frequentie der lodingen van enkele riviertakken tijdelijk op te voeren. Zo zijn in 1958 en 1959 de Noord, de Dordtse Kil, de Boven-Merwede, de Beneden-Merwede en de Nieuwe Merwede eenmaal per 14 dagen gepeild.

Uit deze lodingen is gebleken, dat de zandbeweging in dit gebied sterk afhangt van de zandaanvoer vanaf de Waal. Het is dus voor de verdere studies noodzakelijk de zandbeweging op de Waal mede in de beschouwingen te betrekken.

## 5.2 Resultaat van een directe zandtransportmeting in de Oosterschelde

Als aanvulling op het onderzoek naar de zandverplaatsingen in de zeearmen op grond van de inhoudsberekeningen is een uitgebreide directe zandtransportmeting verricht in het oostelijk gedeelte van de Oosterschelde.

Zoals reeds in 3.2 is uiteengezet, is het vrijwel onmogelijk een zandtransportmeting in het getijgebied zodanig uit te voeren, dat het gehele zandtransport wordt bepaald. Om deze reden heeft men zich er toe beperkt slechts op één of enkele hoogtes boven de bodem te meten, zodat inzicht in de verhoudingen van de eb- en vloedtransporten, alsmede in de tendensen in de algemene zandbeweging werd verkregen.

Bij het herleiden van de gemeten transporten naar het transport onder gemiddelde omstandigheden stuit men op tot nu toe onoverkomelijke moeilijkheden, gezien de zeer grote gevoeligheid van zandtransport ten aanzien van de relatief veel kleinere wijzigingen in de hydraulische omstandigheden.

Gemeten is op 0,10 m boven de bodem, steeds gedurende een geheel getij. Na herleiding van de gemeten stroomsnelheden naar gemiddelde omstandigheden is getracht de gemeten zandtransporten eveneens te herleiden door deze te laten variëren met de 4e macht van de snelheidsreductie, ten einde enigszins vergelijkbare transportcijfers te verkrijgen. De hieruit gevonden cijfers werden herleid tot profieltransporten over de diverse dwarsprofielen.

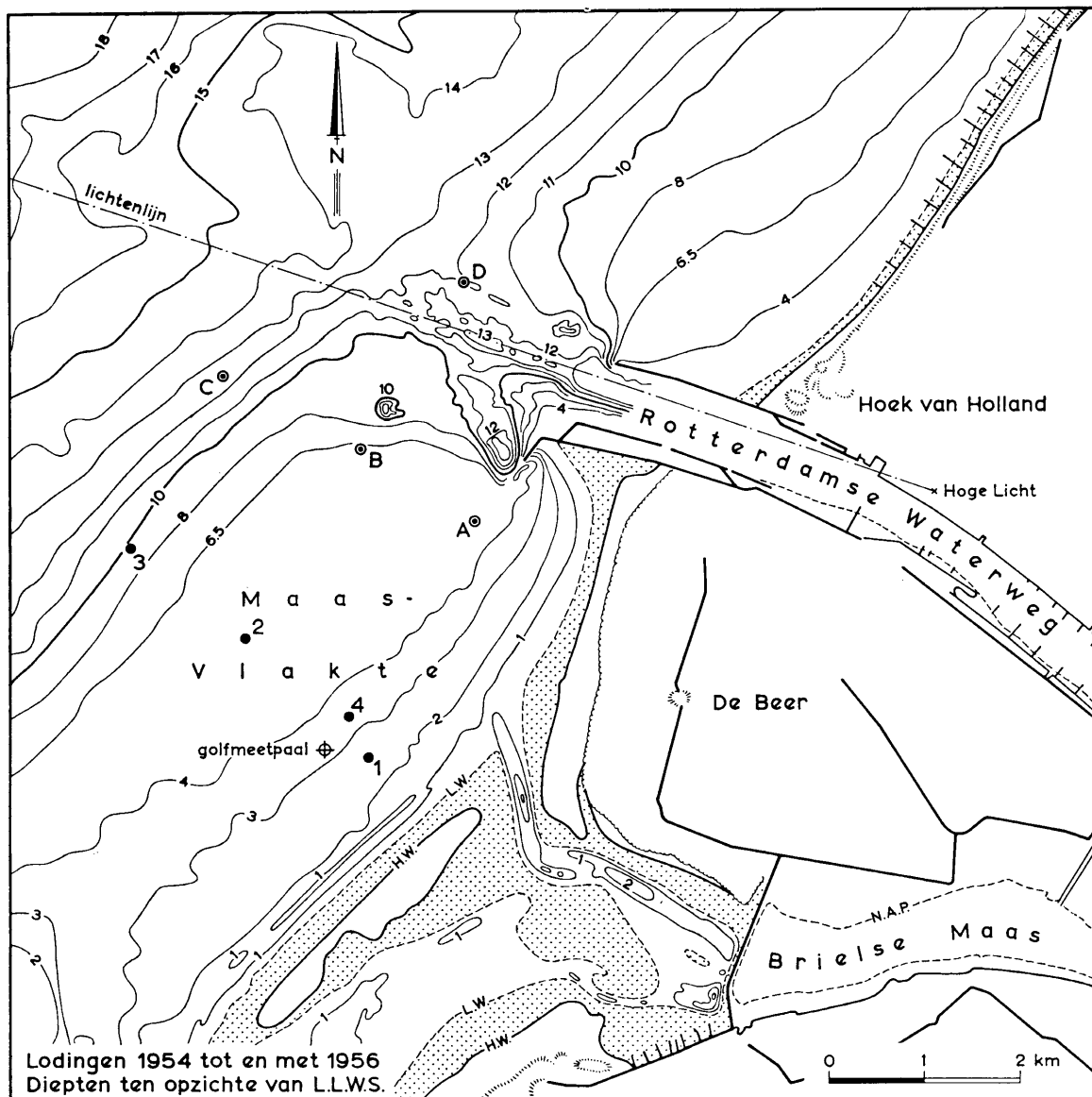
Hoewel deze cijfers dus bepaald geen totaaltransporten weergeven, zijn ze als onderling vergelijkingsmateriaal wel geschikt om inzicht in de tendensen te verkrijgen. Men kan hieruit concluderen, dat het oostelijk deel van de Oosterschelde zand verliest, en wel in westelijke en in noordelijke richting (zie figuur 5.2.1). Deze tendens is bevestigd door het in 5.1 besproken onderzoek naar de inhoudsveranderingen.

## 5.3 Inrichting en resultaten van een zandtransportmeting met behulp van radioactieve tracers in de omgeving van de mond van de Rotterdamse Waterweg

Het doel van de meting was het verkrijgen van een inzicht in de richting en de intensiteit van de zandbeweging in het bovengenoemde gebied, vooral met het oog op het ontwerp van de buitenhaven van Europoort.

De metingen werden uitgevoerd in twee fasen (figuur 5.3.1):

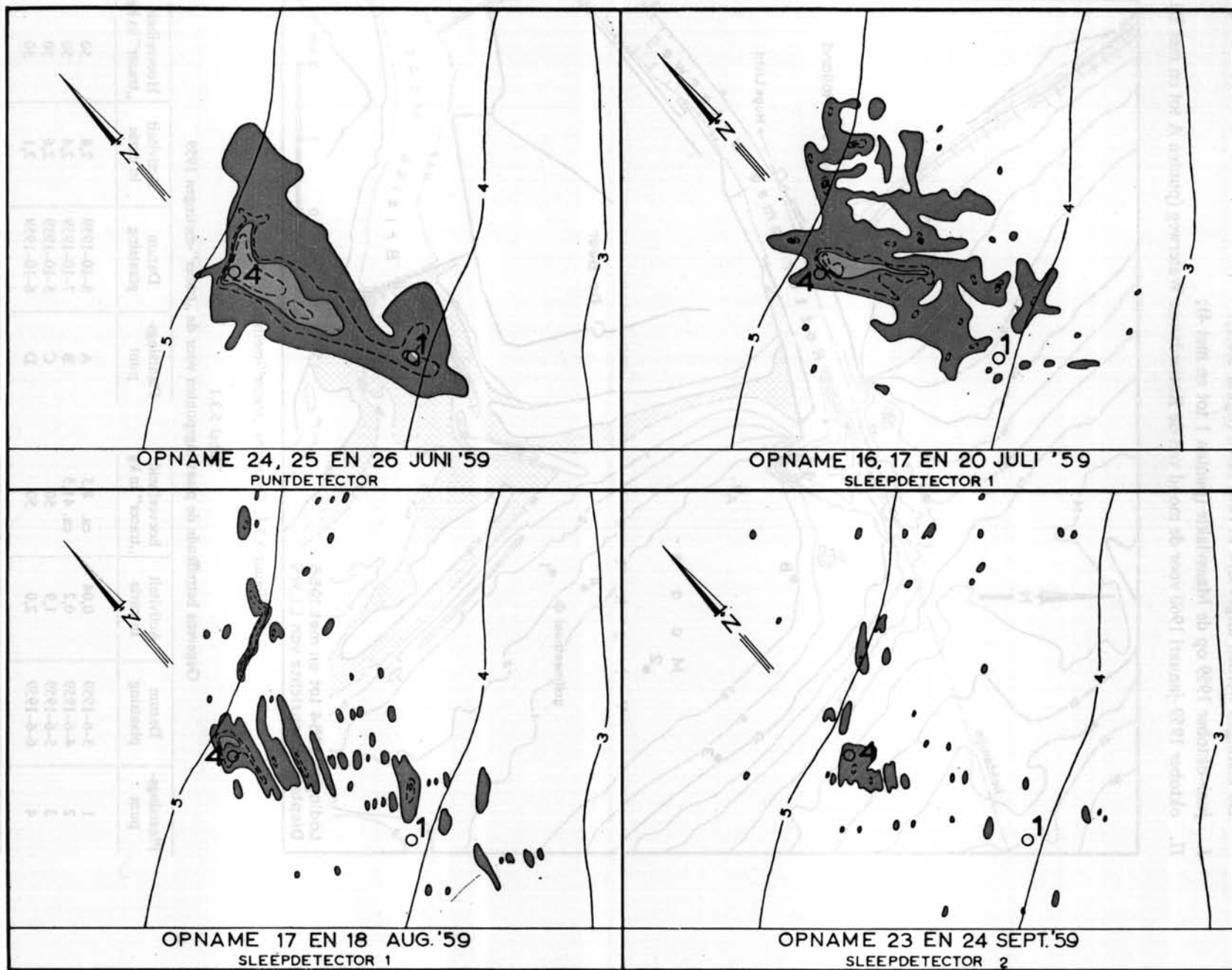
- I. juni-oktober 1959 op de Maasvlakte (punten 1 tot en met 4);
- II. oktober 1959-januari 1960 voor de mond van de Rotterdamse Waterweg (punten A tot en met D).



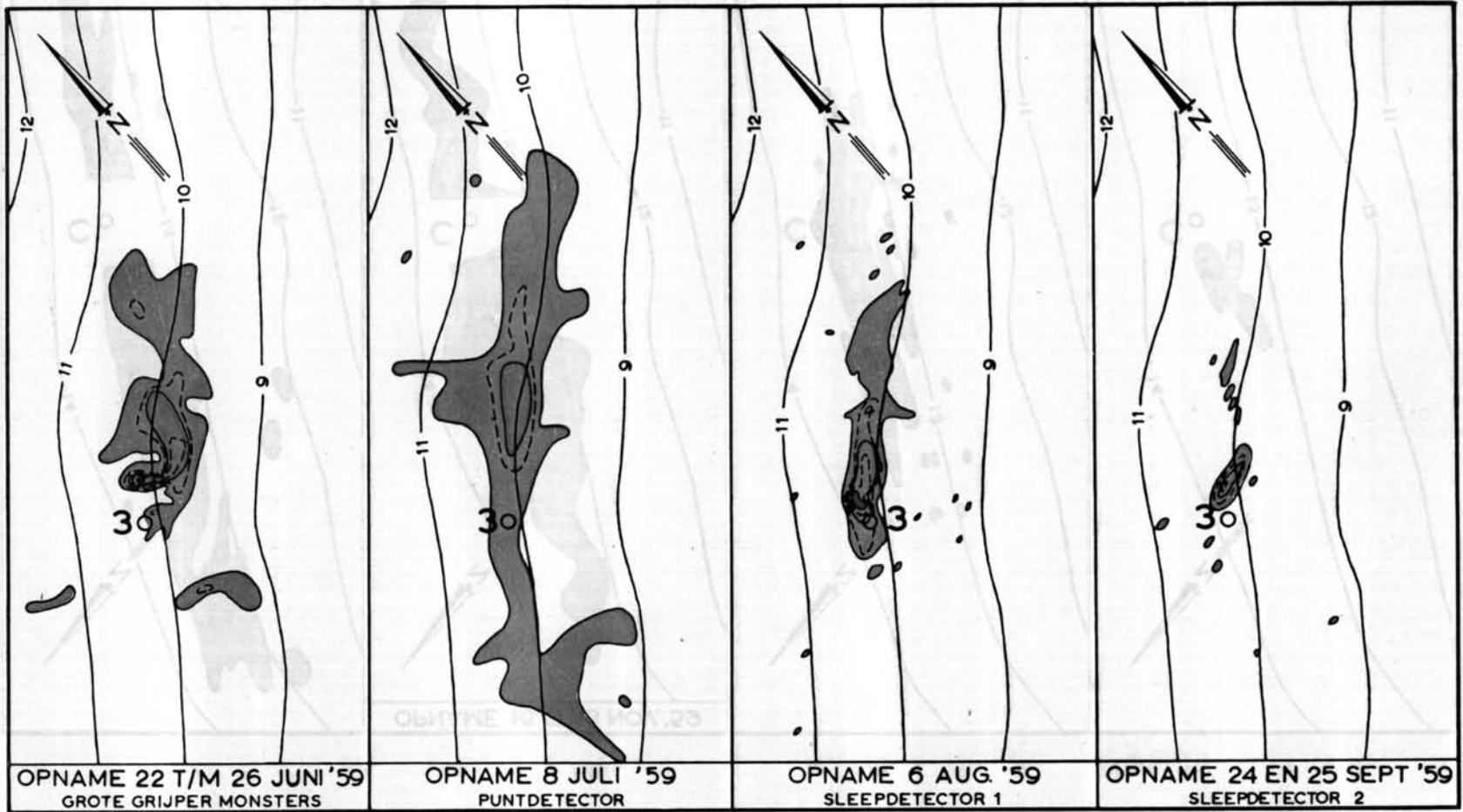
Figuur 5.3.1. Overzicht „tracer“-metingen 1959

Tabel 5.3.1  
Gegevens betreffende de plaatsingspunten voor de „tracer“-metingen 1959

Plaatsings- punt	Datum plaatsing	Activiteit in curie	hoeveelheid „tracer“ in kg	Plaatsings- punt	Datum plaatsing	Activiteit in curie	Hoeveelheid „tracer“ in kg
1	3-6-1959	0,04	ca. 8,5	A	8-10-1959	2,8	50
2	4-6-1959	0,2	ca. 41,5	B	7-10-1959	2,4	50
3	5-6-1959	1,9	50	C	5-10-1959	2,6	50
4	6-6-1959	2,0	50	D	6-10-1959	2,1	50

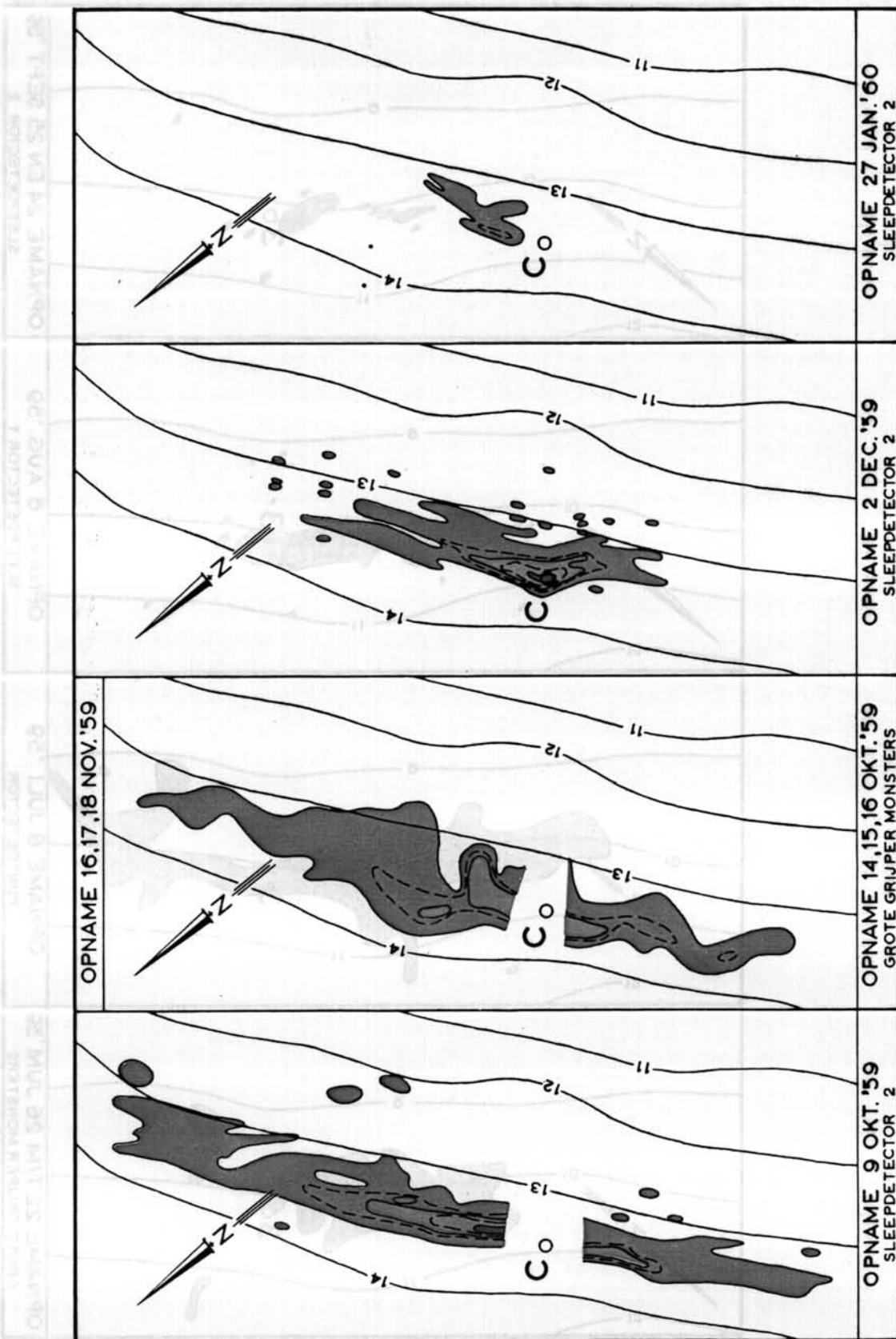


Figuur 5.3.2. Verspreiding van de "tracer" in onvolgende etadia rond de plaatsingenpunten 1 en 4

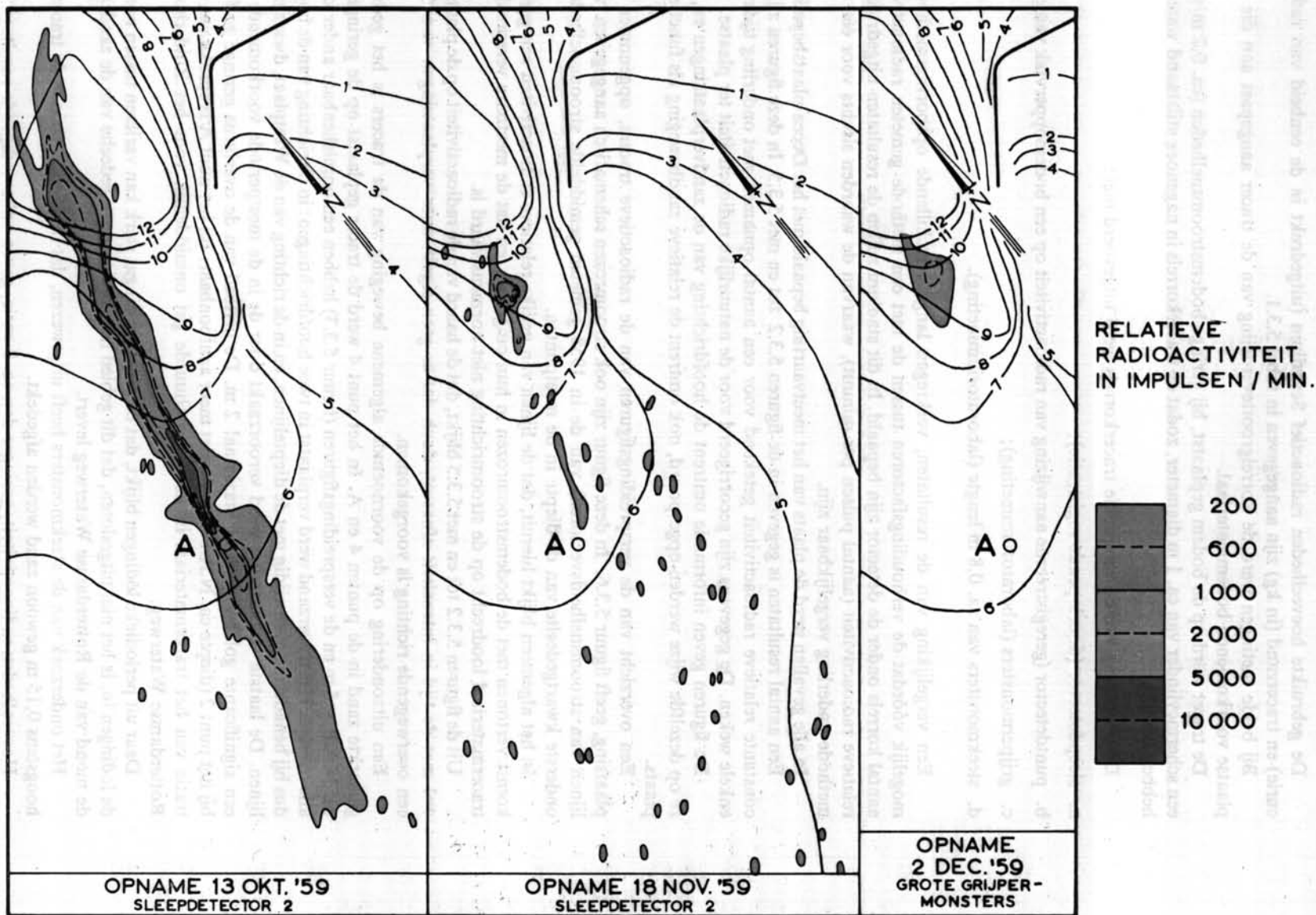


Figuur 5.3.3. Verspreiding van de „tracer” in opvolgende stadia rond het plaatsingspunt 3





Figuur 5.3.4. Verspreiding van de „tracer” in opvolgende stadia rond het plaatsingspunt C



Figuur 5.3.5. Verspreiding van de „tracer” in opevolgende stadia rond het plaatsingspunt A

De gebruikte hoeveelheden radioactief Scandium (uitgedrukt in de eenheid van radioactiviteit: curie) en tracerzand (in kg) zijn aangegeven in tabel 5.3.1.

Bij beide metingen werd de korrelgrootteverdeling van de tracer aangepast aan die van het ter plaatse voorkomende bodemmateriaal.

De tracer werd op de bodem geplaatst, bij geringe bodemstroomsnelheden (ca. 0,2 m/sec.), binnen een schermcylinder van ca. 1 m diameter, zodat de tracerkorrels in nagenoeg stilstaand water de bodem hebben bereikt.

De opsporing van de verspreide tracerkorrels werd uitgevoerd met:

- a. sleepdetector (doorlopende registratie);
- b. puntdetector (geregistreerde aanwijzing van radioactiviteit op een bodemoppervlak van ca. 0,25 m<sup>2</sup>);
- c. grijpermonsters (laboratoriummeting);
- d. steekmonsters van ca. 0,8 m lengte (laboratoriummeting).

Een vergelijking van de resultaten, verkregen langs verschillende opsporingsmethoden, is niet mogelijk vóórdat de verhoudingsfactoren tussen de met een methode gemeten radioactiviteit en het aantal korrels onder de detector zijn bepaald. In dit stadium zullen de resultaten uitgedrukt worden in relatieve radioactiviteit (aantal pulsen per minuut), waarvan de waarden slechts voor één opsporingsmethode onderling vergelijkbaar zijn.

In alle gevallen werd de plaats van het meetvaartuig bepaald met het Decca-plaatsbepalingssysteem.

Een aantal resultaten is gegeven in de figuren 5.3.2 tot en met 5.3.5. In deze figuren zijn lijnen van constante relatieve radioactiviteit getekend voor een aantal opnamen met onderling tijdsverschil van enkele weken. De gegevens zijn gecorrigeerd voor de natuurlijke radioactiviteit ter plaatse.

De figuren geven informatie omtrent de hoofdrichting van de zandverplaatsingen en, voor zover ze op dezelfde wijze werden opgespoord, ook omtrent de relatieve zandbeweging als functie van tijd en plaats.

Een overzicht van de verspreidingsfiguren van de radioactieve tracers, opgenomen kort na de plaatsing, geeft figuur 5.3.6. In deze figuur zijn ook stroomrozen schematisch aangegeven (verbindingslijnen van stroomsnelheidsvectoren) van de in 1958 gemeten gemiddelde stroomsnelheden over het onderste kwartgedeelte van de diepte in de meetpunten.

In het algemeen blijkt hieruit, dat de lijnen van gelijke relatieve radioactiviteit een goede overeenkomst vertonen met de bodemstroomrozen in hun omgeving, en dat de meetbare verspreiding van het tracer materiaal loodrecht op de stroomrichting niet noemenswaard is.

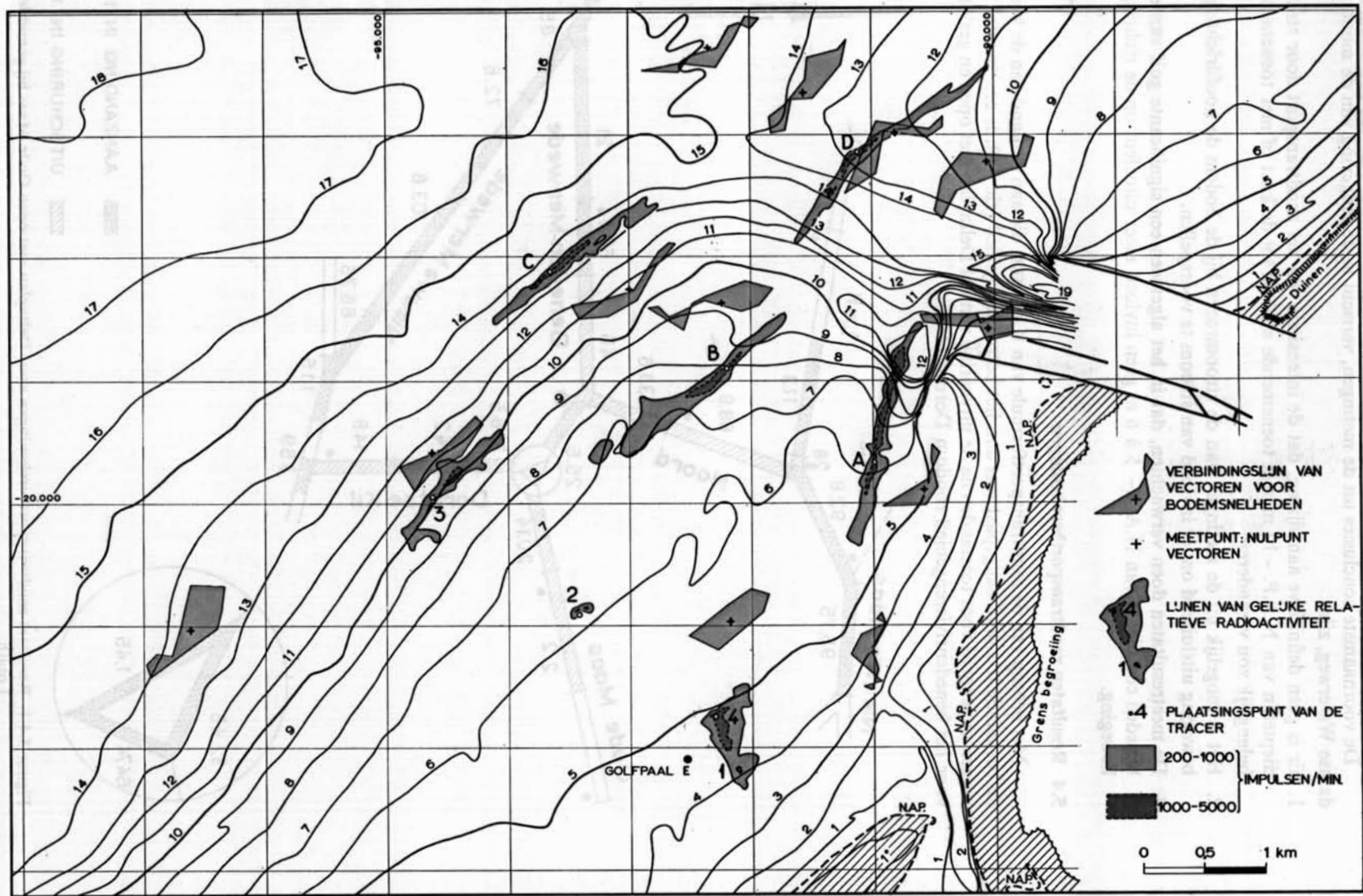
Uit de figuren 5.3.2 tot en met 5.3.5 blijkt, dat de haard van de radioactiviteit op de plaatsingspunten wel met de tijd in intensiteit afneemt, doch dat er geen significante verplaatsingen van de haard in een overwegende richting is voorgekomen.

Een uitzondering op de voornoemde algemene beweging van de tracers is het gedrag van het gemerkte zand in de punten 4 en A. In het punt 4 werd de tracer geplaatst op de geringe diepte van ca. N.A.P. - 5 m en de verspreidingsfiguren (figuur 5.3.3) hebben een onmiskenbaar ander karakter dan alle overige. Het tracerzand werd verplaatst in twee hoofdrichtingen: in de richting van de bodemstroom, dus bij benadering evenwijdig met de dieptelijnen, en in de richting van de Westplaat, dwars op de dieptelijnen. De laatste verplaatsing werd veroorzaakt door de in de meetperiode voorkomende golven met een significante golfhoogte van maximaal 2 m. De invloed van de overigens geringe golfbeweging is bij het punt 2 (diepte ca. N.A.P. - 6 m) niet meer aantoonbaar. Bij het punt A is sprake van een concentratie van het tracer materiaal in het uitgesuurde gat onmiddellijk voor het Zuiderhoofd van de Rotterdamse Waterweg.

Daar uit periodieke lodingen blijkt, dat de diepte in dit gat sterk kan variëren tussen twee opvolgende lodingen in, is het niet uitgesloten, dat dit gebied het voornaamste gedeelte van de zandaanvoer voor de mond van de Rotterdamse Waterweg levert.

Het onderzoek van de steekmonsters heeft uitgewezen, dat in de meetperiode de tracerkorrels met hoogstens 0,15 m gewoon zand werden afgedekt.

Hoeveelheden radioactiviteit, geringer dan ca. 2 curie, geven onbevredigende resultaten onder analoge omstandigheden als in het meetgebied. Hiervan getuigen de metingen in punten 1 en 2 (figuur 5.3.6).



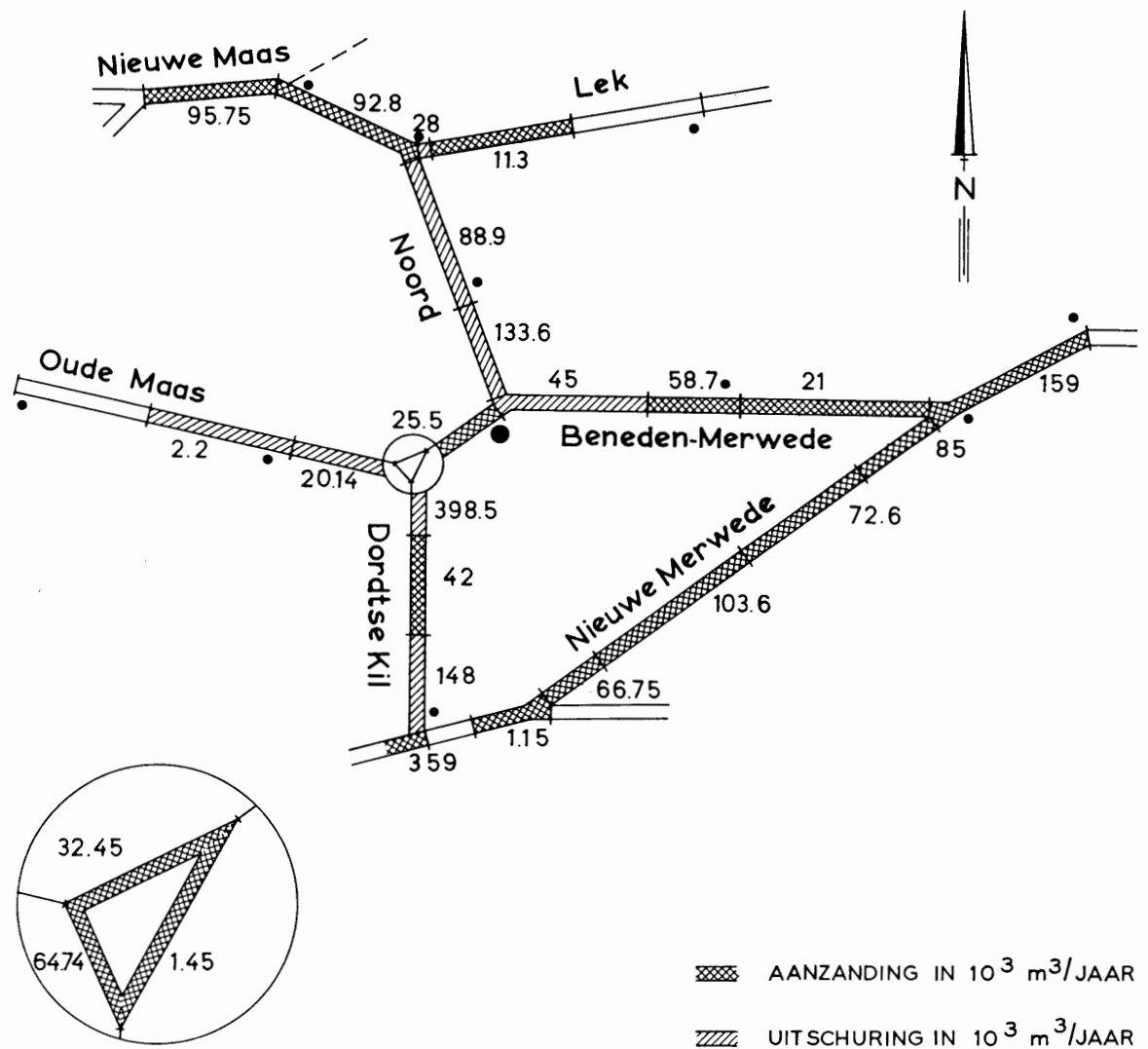
Figuur 5.3.6. Overzicht van de bodemstromen en de verspreiding van de „tracer”

De voornaamste conclusies uit de metingen, verricht in de omgeving van de mond van de Rotterdamse Waterweg, zijn:

1. Er is geen definitieve aanwijzing, dat de intensiteit van het zandtransport door stroom, binnen de dieptelijn van N.A.P. - 12 m met toenemende afstand tot de kust of met toenemende waterdiepte belangrijk zou veranderen.
2. Het is mogelijk uit de metingen van de stroomrozen bij de bodem de hoofdrichting van de zandbeweging uitsluitend onder invloed van stroom te voorspellen.
3. De meetresultaten doen verwachten, dat in het algemeen een significante golf van ca. 2 m hoogte beneden een diepte van N.A.P.- 5 à 6 m geen invloed meer uitoefent op de richting van de zandbeweging.

#### 5.4 Resultaten zandtransportberekeningen

Met behulp van de zandtransportformule van KALINSKE, die aan de hand van de berekeningen van de bestaande toestand aangepast was aan het betrokken gebied (zie 4.0), is een tweetal variatieberekeningen uitgevoerd voor toestanden na de uitvoering van het Deltaplan met open en gesloten Oude Maas voor het benedenrivierengebied rondom Dordrecht.



Figuur 5.4.1. Resultaat zandtransportberekeningen voor Deltaplan met open Oude Maas bij gemiddelde Rijnafvoer te Lobith

Hierbij is uitgegaan van een stromingstoestand, die volgde uit een getijberekening met als randvoorwaarden een gemiddeld getij in zee en een gemiddelde oppervlaktewaterafvoer.

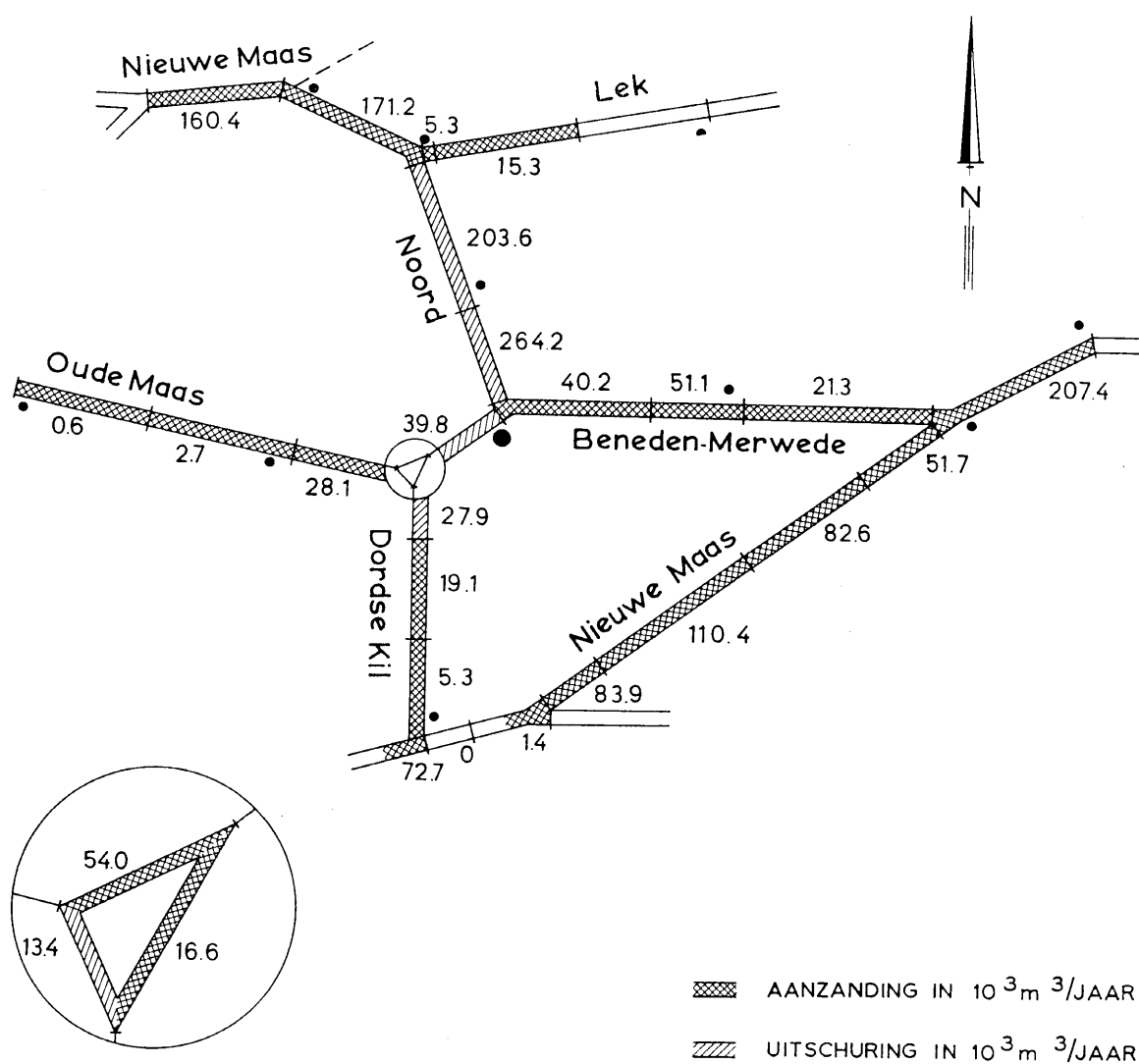
Aan de uitkomsten van deze zandtransportberekeningen moet slechts een kwalitatieve waarde worden toegekend, daar niet vaststaat, dat de tijdschaal bij de variatietoestanden dezelfde zal zijn als bij de bestaande toestand.

In de figuren 5.4.1 en 5.4.2 wordt het resultaat van de variatieberekeningen voor open en gesloten Oude Maas en gemiddelde Rijnaafvoer te Lobith gegeven voor zover het de aanzandingen en uitschuringen betreft.

Bovendien kunnen uit deze berekeningen de volgende conclusies worden getrokken:

A. Voor de toestand met open Oude Maas:

1. De zandvoeding vanaf de Waal bij Gorinchem zal iets minder worden.
2. De zandtransportcapaciteit op de drie Merweden neemt zodanig af, dat ondanks de verminderde zandaanvoer de aanzandingen op de Boven-Merwede en de Nieuwe Merwede gelijk zullen blijven, waardoor het Hollands Diep bovenstrooms van de bruggen vrijwel geen zand meer zal ontvangen.
3. De Noord en de Dordste Kil zullen aan een vrij sterke uitschuring worden blootgesteld, evenals in mindere mate de mond van de Beneden-Merwede.



Figuur 5.4.2. Resultaat zandtransportberekeningen voor Deltaplan met gesloten Oude Maas bij gemiddelde Rijnaafvoer te Lobith

## B. Voor de toestand met gesloten Oude Maas:

1. De zandvoeding vanaf de Waal bij Gorinchem zal iets minder worden.
2. De zandtransportcapaciteiten op de drie Merweden nemen zodanig af, dat ondanks de verminderde zandaanvoer de aanzandingen op de Boven-Merwede en op de Nieuwe Merwede gelijk zullen blijven, waardoor het Hollands Diep bovenstrooms van de bruggen vrijwel geen zand meer zal ontvangen.
3. De tendens tot uitschuring op de Noord is belangrijk groter dan in het vorige geval, terwijl de uitschuring op de Dordtse Kil van minder betekenis wordt.

Bij de berekeningen is van de veronderstelling uitgegaan, dat de bodem van de betrokken rivieren geheel uit zand bestaat. Aangezien in de bodem van de Noord en de Dordtse Kil naast zand ook klei voorkomt, hebben de berekende getallen vooral hier slechts een kwalitatieve waarde, daar de aanwezigheid van klei de uitschuring zal afremmen.

Dit impliceert echter, dat aangrenzende zandgebieden aan een versterkte uitschuring kunnen worden blootgesteld, zelfs wanneer de berekeningen een aanzanding doen veronderstellen.

In het algemeen kan geconcludeerd worden, dat het traject Noord-Dordtse Kil na uitvoering van het Deltaplan aan uitschuring zal worden blootgesteld. In welk tempo dit gaat, valt moeilijk te voorspellen.

Hierbij komt bovendien nog, dat de uitschurende tendens van de Noord en in mindere mate van de gehele Dordtse Kil toeneemt naarmate de Rijnafvoeren beneden de gemiddelde afvoer dalen.

Aangezien een verdieping in dit geval geen snelheidsvermindering betekent, omdat een algehele verdieping de getijvermogens doet toenemen, zullen maatregelen om de uitschuring tegen te gaan, waarschijnlijk noodzakelijk blijken.

De aanwezigheid van klei in de bodem wettigt het vertrouwen, dat men het treffen van eventuele maatregelen kan uitstellen tot de noodzaak is gebleken. Het is echter noodzakelijk de bedreigde rivieren en het aansluitende gebied frequent te peilen om de ontwikkelingen op de voet te kunnen volgen.

## 6.0 SLOTBESCHOUWINGEN

Tussen de zeegaten en het ervoor liggende kustgebied bestaat een krachtige uitwisseling van grote hoeveelheden water. Hierbij zijn gedurende een groot gedeelte van het getij de stromen loodrecht op de kust gericht, zodat de invloed van de zeegaten tot ver uit de kust merkbaar is. De stroom vertoont in dit gebied geen kenteringen, doch draait gedurende een getij rond. Deze waterbeweging veroorzaakt een belangrijke uitwisseling van zand tussen de zeegaten en het kustgebied.

In de zeegaten bevinden zich gecompliceerde systemen van geulen en banken, die aan voortdurende verplaatsingen onderhevig zijn, waarbij grote hoeveelheden zand in beweging worden gebracht. Ver in zee zijn de stromen min of meer evenwijdig aan de kust gericht en hebben de banken eveneens een oriëntering, evenwijdig aan de kust. Tussen de zeegaten en dit laatste gebied ligt de zg. onderwaterdelta, met geulensystemen, die waaivormig vanuit de zeegaten naar buiten lopen. De onderwaterdelta wordt in stand gehouden door het hierboven geschetste stroombeeld en de golfbeweging in het kustgebied, waarbij als zandbronnen optreden het langs de kust en vanuit zee aangevoerde zand en de zanduitwisseling met de zeegaten.

Na de uitvoering van de deltawerken zal de stromingstoestand in het kustgebied ingrijpend wijzigen. De loodrecht op de kust gerichte stromen zullen niet meer optreden en de zanduitwisseling met de zeegaten zal ophouden. Hierdoor zal de kust zich aan de nieuwe stromingstoestand moeten aanpassen en zal de onderwaterdelta verdwijnen.

Om tot een prognose te komen van de wijzigingen, die in het kustgebied zullen gaan optreden, is het noodzakelijk een inzicht te hebben in het tegenwoordige mechanisme van de zandbeweging.

In 5.1 zijn de resultaten behandeld betreffende het onderzoek van de inhoudsveranderingen op lange termijn van de zeegaten. In deze paragraaf werd geconcludeerd, dat thans de Westerschelde en de Oosterschelde zand aan het kustgebied afstaan, terwijl het Brouwershavense Gat en het Haringvliet zand uit zee ontvangen. Betreffende de aanvoer van zand langs de kust en vanuit zee is nog slechts zeer weinig bekend. Thans is het echter dank zij de aanwezigheid van het Decca-Plaatsbepalingssysteem (2.2.2.3)

mogelijk het kustgebied frequent te loden, terwijl directe informatie over de zandbeweging kan worden verkregen met behulp van de radioactieve tracers (5.3).

Door deze verbeterde waarnemingsmogelijkheden is het mogelijk geworden het onderzoek naar de zandbeweging in het kustgebied met kracht aan te vatten. Tevens wordt aan de hand van sedimentologische studies getracht de vormende processen in het kustgebied te verklaren. Enig inzicht in de toekomstige veranderingen in het kustgebied kan reeds worden verkregen aan de hand van de waarnemingen, die zijn verricht in het Brielse Gat (5.1). Na de afsluiting van de Brielse Maas in 1950 is het ervoor liggende kustgebied sterk aangezand, waarbij allereerst de diepe geulen, waardoor oorspronkelijk de grote hoeveelheden water van en naar de Brielse Maas stroomden, aan sterke aanzanding onderhevig waren. In het algemeen zandt het gehele gebied aan, met uitzondering van de Westplaat. Deze neemt aan de zeezijde onder water af, doch wordt hoger en breidt zich landwaarts uit.

In grote lijn wijzen de waargenomen diepteveranderingen op een zandverplaatsing naar de kust toe en op een rechttrekkende tendens van de kustlijn. Naar aanleiding van deze ervaringen mag een soortgelijke ontwikkeling ook voor de overige af te sluiten zeegaten worden verwacht. Hierbij moet echter wel de nodige voorzichtigheid bij het trekken van de conclusies in acht worden genomen in verband met de uitzonderingspositie, die door het Brielse Gat wordt ingenomen door de afscherpende werking van de nabij gelegen hoofden van de Rotterdamse Waterweg.

Het is echter zeer waarschijnlijk, dat de diepe geulen in de onderwaterdelta zullen verzanden, terwijl een nieuw geulen- en bankengebied met een strekking evenwijdig aan de kust zich zal gaan ontwikkelen. Het is mogelijk, dat door deze ontwikkeling de koppen van de eilanden aan een sterkere aanval zullen worden blootgesteld. Volgens de verwachtingen zullen deze processen zich in een betrekkelijk langzaam tempo voltrekken, zodat met het treffen van eventuele maatregelen gewacht zal kunnen worden tot de noodzaak hiervoor is gebleken. Er zal echter nog veel onderzoek en studie moeten worden verricht, alvorens over deze ontwikkelingen definitieve uitspraken kunnen worden gedaan.

Het zal noodzakelijk zijn de aanpassing van het kustgebied aan de nieuwe stromingstoestand tijdens en na de afsluitingswerkzaamheden op de voet te volgen aan de hand van lodingen in het gebied van de onderwaterdelta en van oever- en strandmetingen, zoals beschreven in 2.3.

Daar de verstoring van de zandbeweging in de tegenwoordige toestand eventueel ook invloed zal hebben in de aangrenzende gebieden van de Westerschelde en de schone kust van Zuid-Holland, is het wenselijk deze gebieden mede in de onderzoekingen te betrekken. Door de hiervoor beschreven verwachtingen betreffende de aanzandingen in de monden van de zeegaten voor de afsluitingsdammen, zullen moeilijkheden kunnen ontstaan bij het op diepte houden van de uitwateringsgeul van de Haringvlietssluisen. Dit probleem is het onderwerp van een nader onderzoek, waarbij onder meer wordt nagegaan in hoeverre deze geul door de optredende stroomsnelheden bij spuien op diepte kan worden gehouden.

In het gebied, dat binnen de afsluitingen is gelegen, zullen voor zover het Zuidelijk bekken betreft, geen stromen van enige betekenis meer optreden, waardoor tevens de zandbewegingen in dit gebied zullen ophouden.

In de periode, die is gelegen tussen de afsluiting van de Grevelingen, het Volkerak en de Oosterschelde, zal echter de stromingstoestand op het traject Volkerak-Krammer-Zijpe belangrijk wijzigen. De bodem in dit gebied is thans zeer beweeglijk, zoals blijkt uit het onderzoek naar de geulverplaatsingen, dat is besproken in 2.3.3. Het onderzoek naar de zandverplaatsingen in dit gebied is van groot belang in verband met de ontwikkeling van de geulen in deze belangrijke scheepvaartroute en de aanval op de Grevelingendam en de bestaande waterkeringen van het Zijpe. Aan de hand van de beschikbare gegevens wordt getracht een indruk te krijgen van de te verwachten wijzigingen, terwijl tijdens en na de uitvoering van de werken een frequent lodingsprogramma zal worden uitgevoerd.

In het Noordelijk bekken zal de stromingstoestand na de afsluiting van het Haringvliet zich wijzigen. Zoals in 5.4 is besproken, is het probleem van de zandverplaatsingen in de tussenwateren in het Noordelijk bekken benaderd met behulp van zandtransportberekeningen. Hier werd geconcludeerd, dat de Noord en de Dordtse Kil aan uitschuring bloot zullen worden gesteld.

Aangezien een verdieping in dit geval geen snelheidsbeperking betekent, omdat hierdoor de getijvermogens zullen toenemen, zullen maatregelen om de uitschuring tegen te gaan waarschijnlijk noodzakelijk blijken.

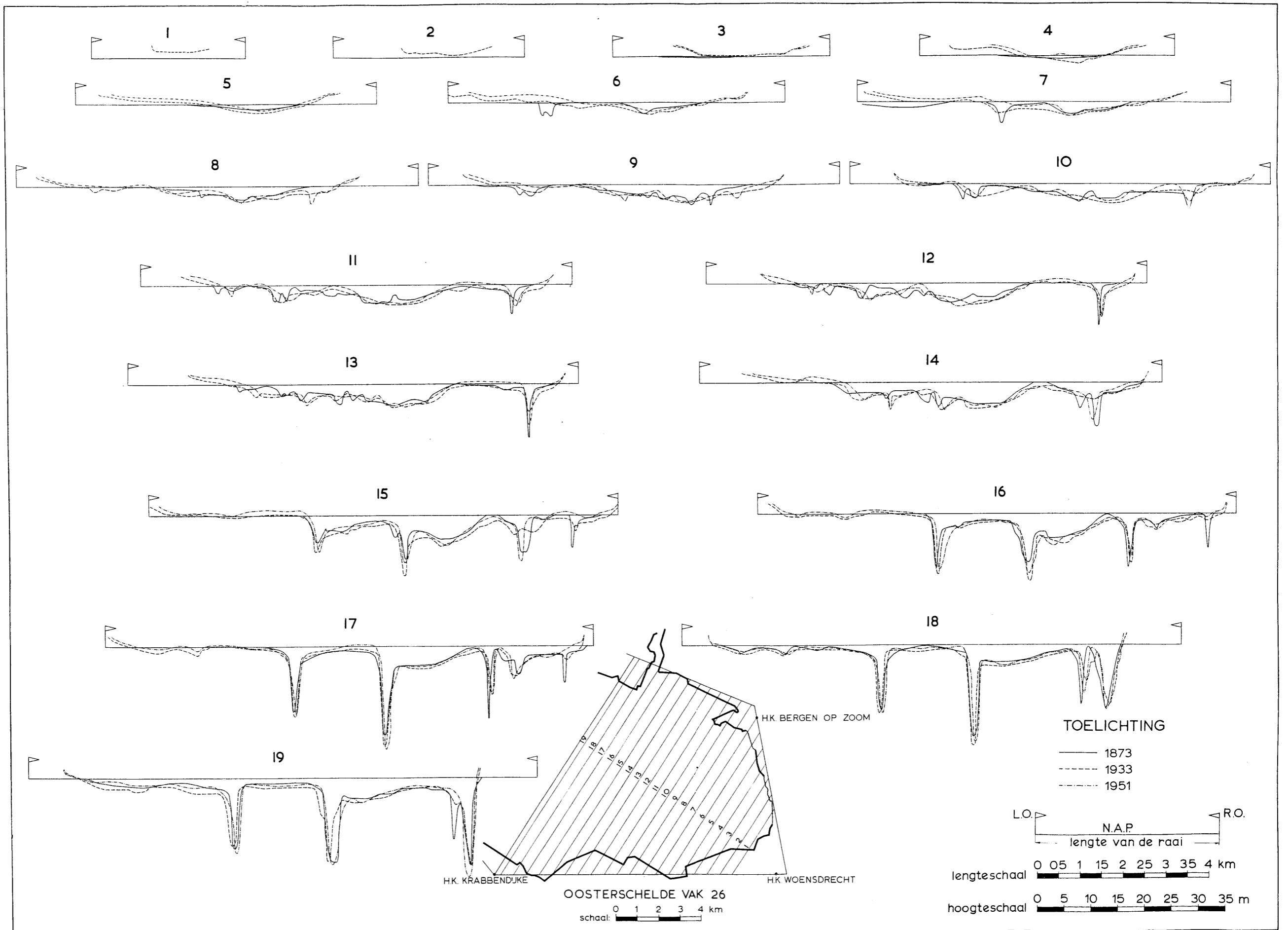
De aanwezigheid van klei in de bodem van deze rivieren wettigt echter het vertrouwen, dat men het treffen van eventuele maatregelen kan uitstellen tot de noodzaak is gebleken. Het is evenwel nood-



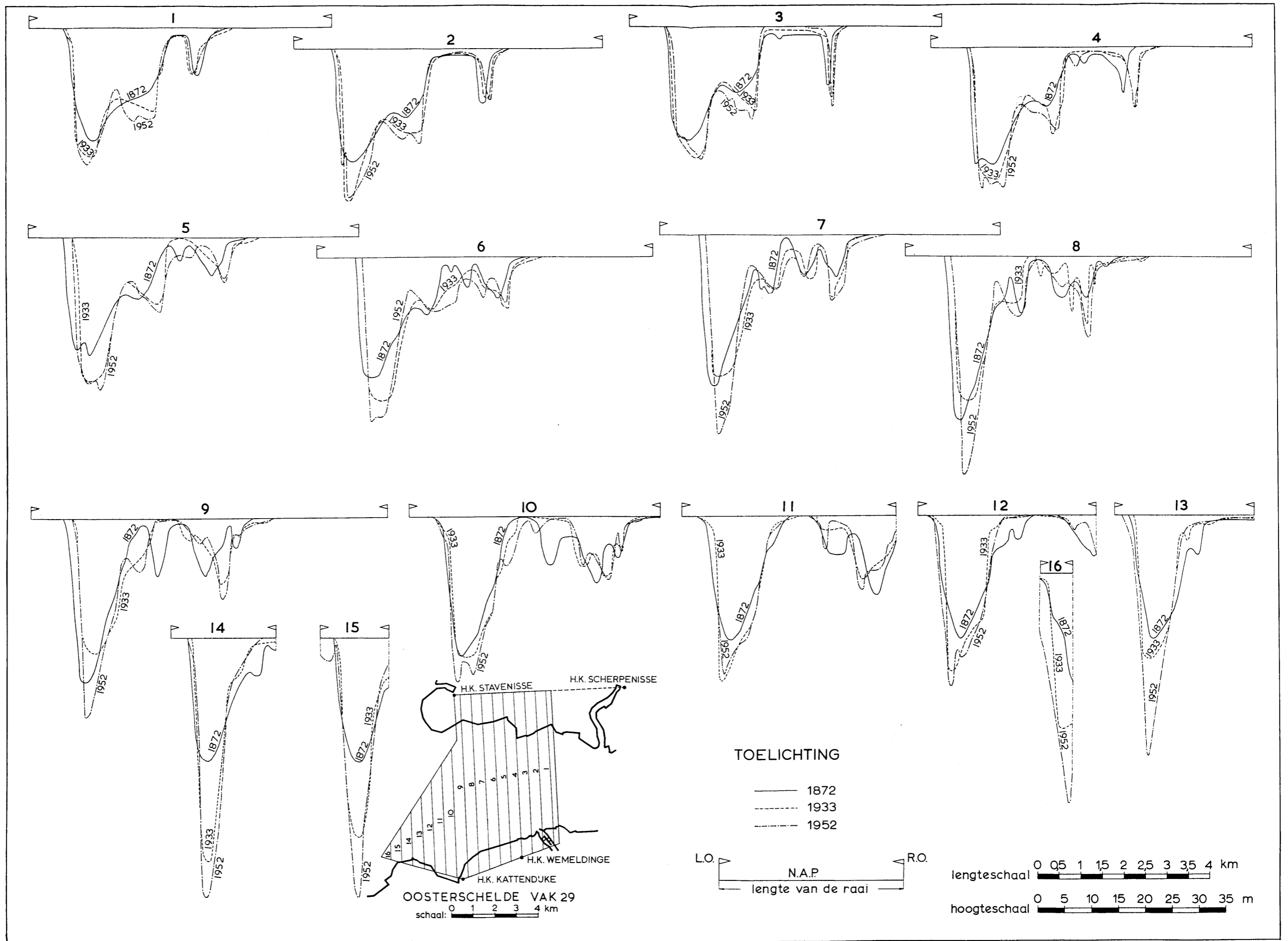
zakelijk de bedreigde rivieren en het aansluitende gebied frequent te peilen om de ontwikkelingen op de voet te kunnen volgen.

Ook voor de stromingstoestand op de Rotterdamse Waterweg zal de afsluiting van het Haringvliet consequenties hebben. Het getijvolume op deze belangrijke zeescheepvaartweg zal afnemen, hetgeen een tendens tot aanzanding ten gevolge zal kunnen hebben.

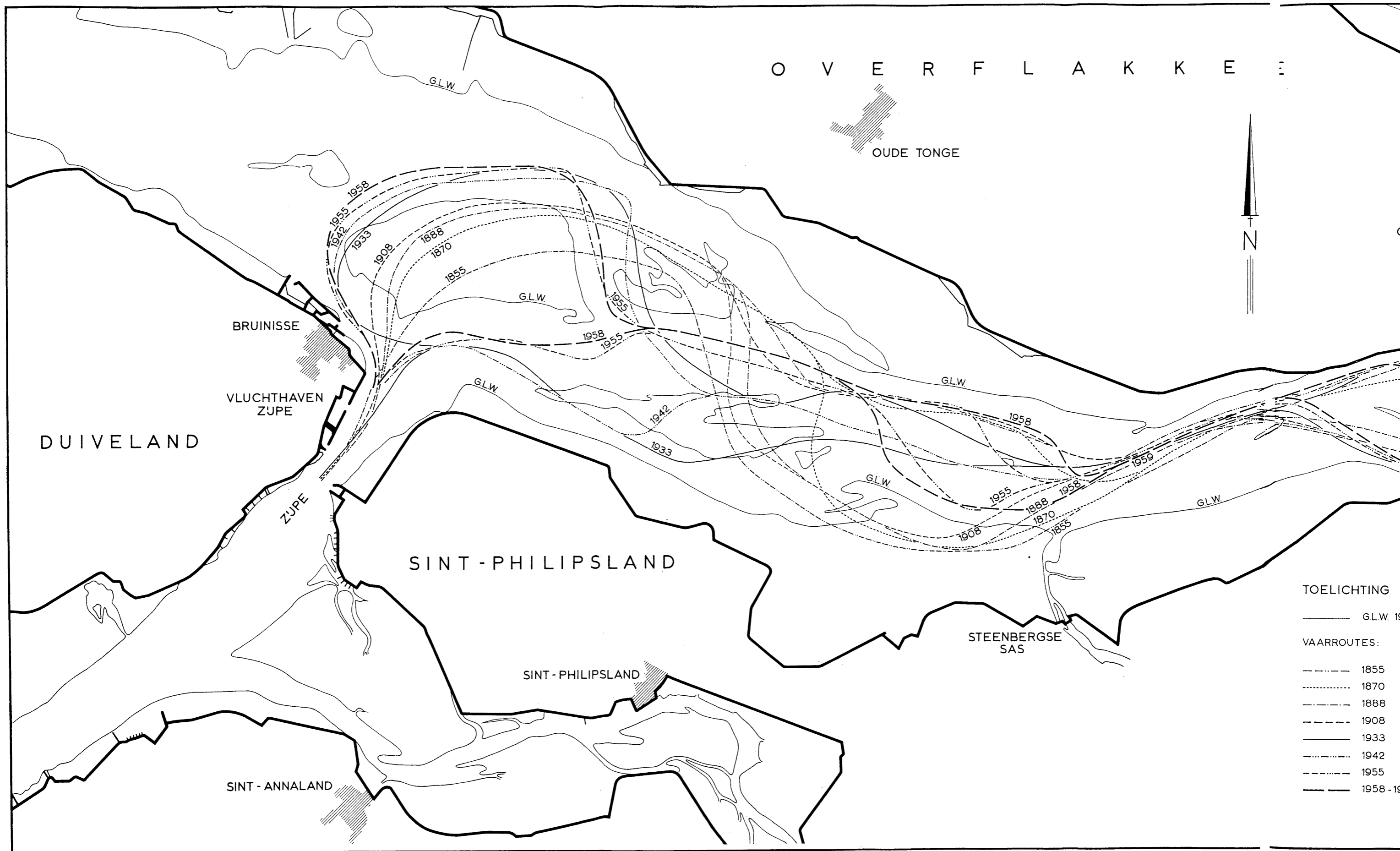
Hiertegenover staat echter, dat de opperwaterafvoer langs deze rivier gemiddeld dezelfde orde van grootte blijft behouden, zodat de verhouding van eb- tot vloedvolume zal toenemen, terwijl bovendien de tegenwoordige allerlaagste afvoeren langs de Rotterdamse Waterweg door de afsluiting van het Haringvliet niet meer op zullen treden. In 5.1 is besproken, dat juist bij deze lage afvoeren thans grote hoeveelheden zand de Rotterdamse Waterweg binnenkomen. Het vermoeden bestaat, dat deze omstandigheden de aanzandende tendens door de verkleining van het getijvolume zullen kunnen compenseren. Over dit onderwerp zal echter nog een nadere studie moeten worden gemaakt.



Profielen Oosterschelde vak 26 voor de jaren 1873, 1933 en 1951



Profielen Oosterschelde vak 29 voor de jaren 1872, 1933 en 1952



O V E R F L A K K E

OUDE TONGE



DUIVELAND

BRUINISSE  
VLUCHTHAVEN  
ZUPE

ZUPE

SINT-PHILIPSLAND

SINT-PHILIPSLAND

SINT-ANNALAND

STEENBERGSE  
SAS

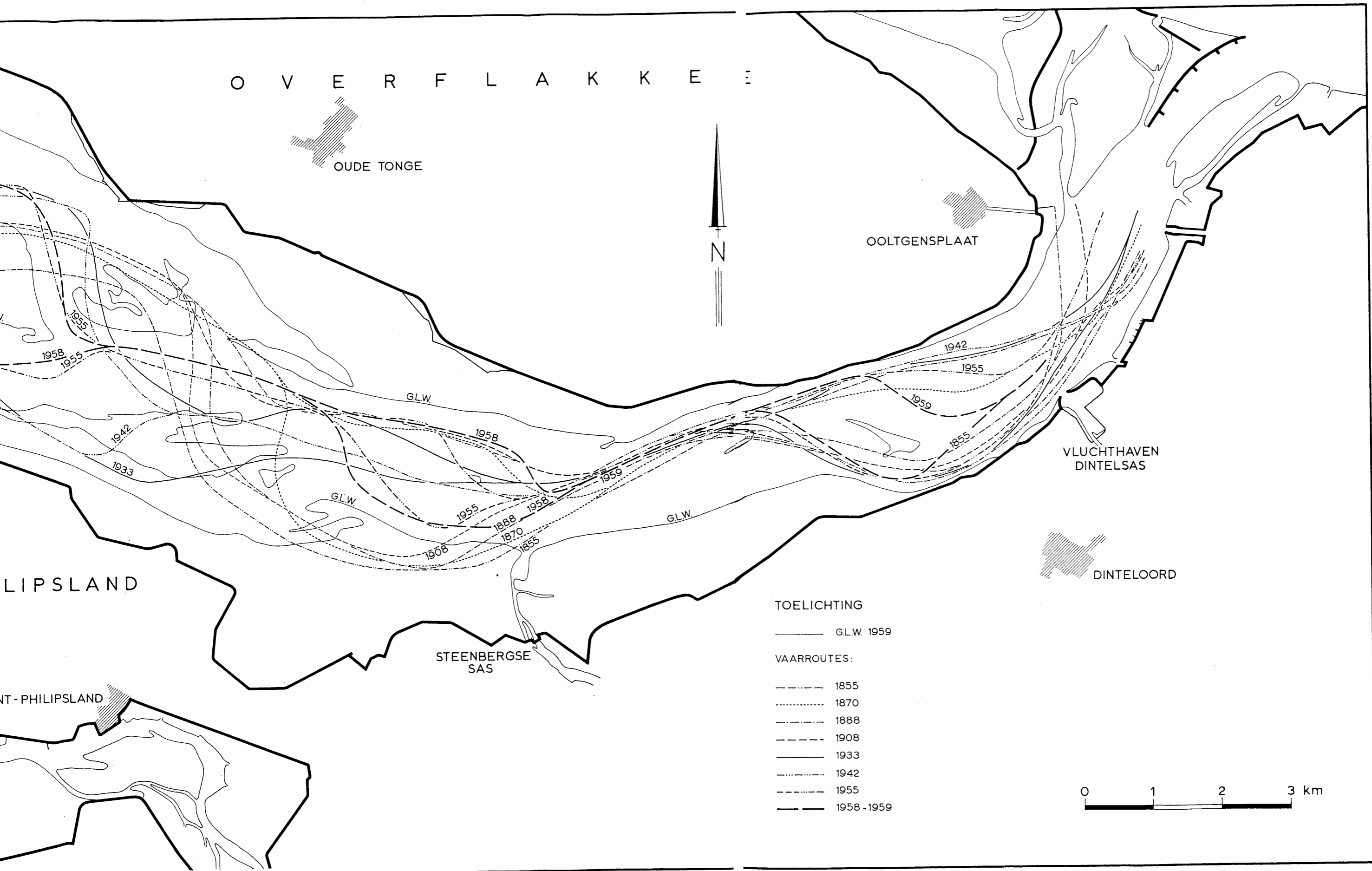
TOELICHTING

GLW. 19

VAARROUTES:

- 1855
- ..... 1870
- 1888
- 1908
- 1933
- ..... 1942
- 1955
- 1958-19

O V E R F L A K K E E



OUDE TONGE

OOLTGENSPLAAT

VLUCHTHAVEN  
DINTELSAS

DINTELOORD

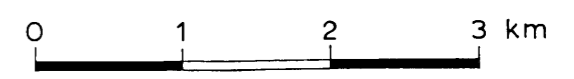
STEEBERGSE  
SAS

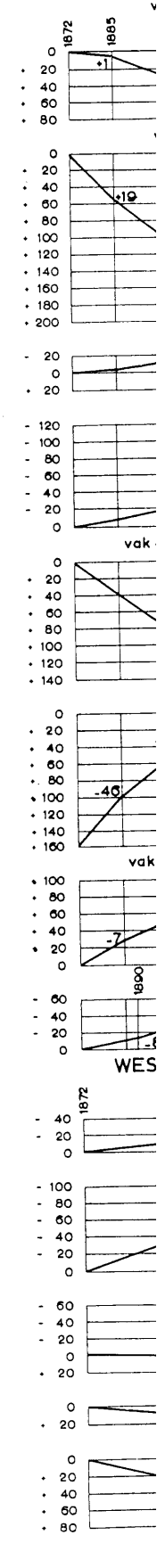
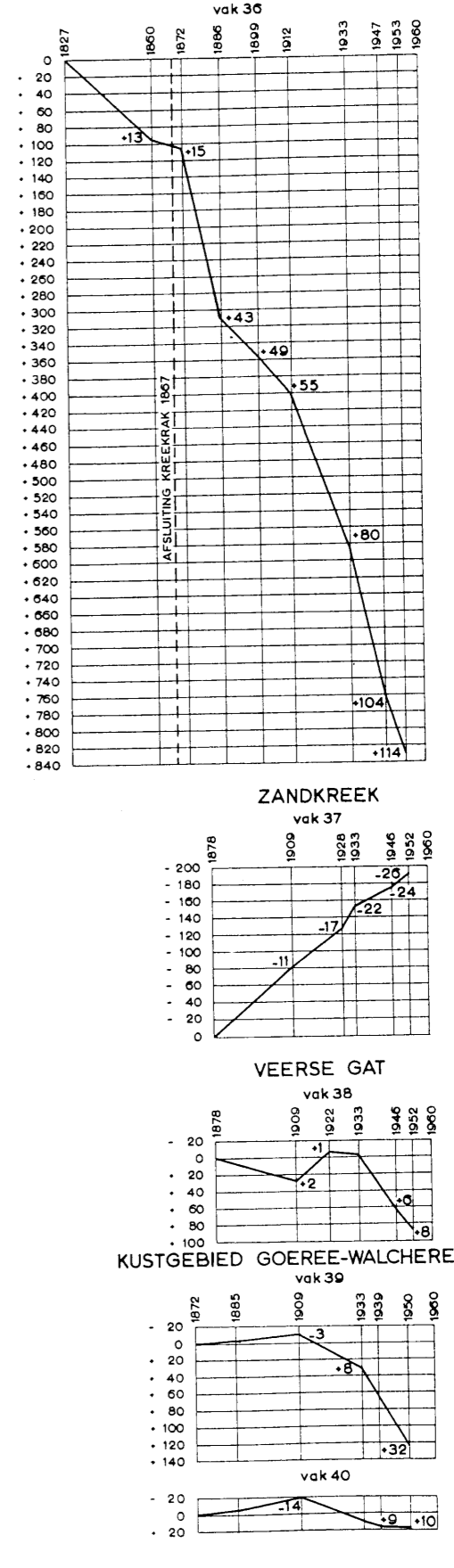
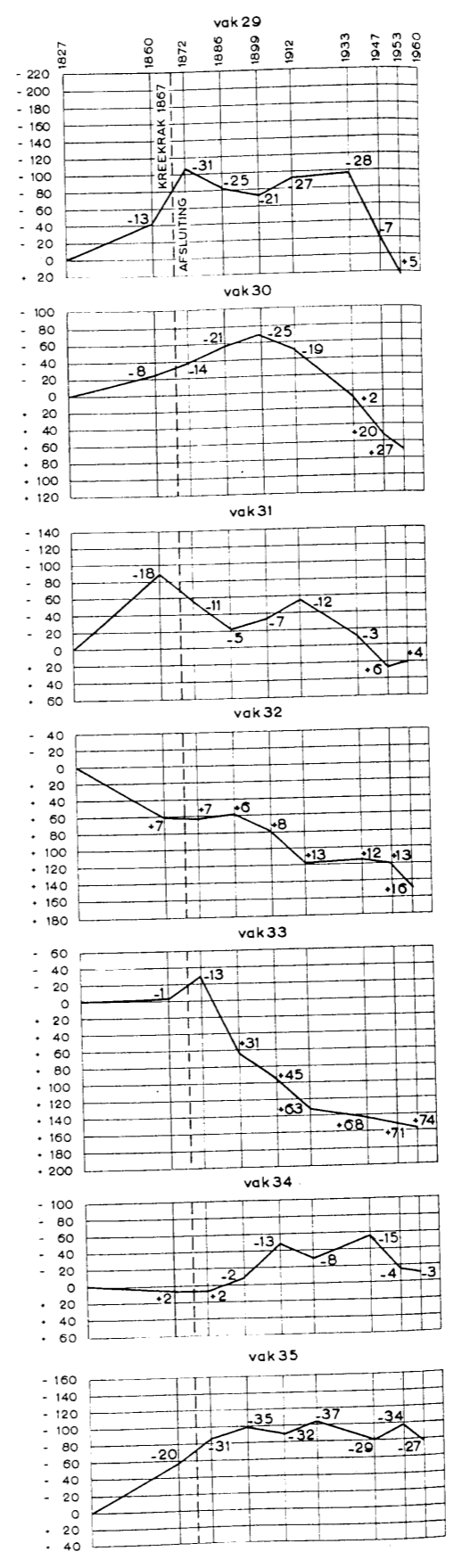
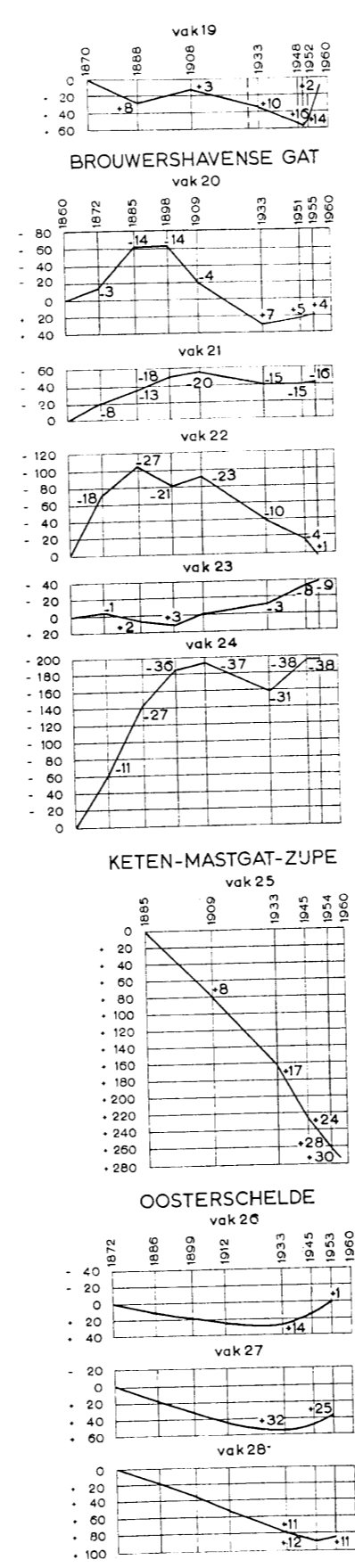
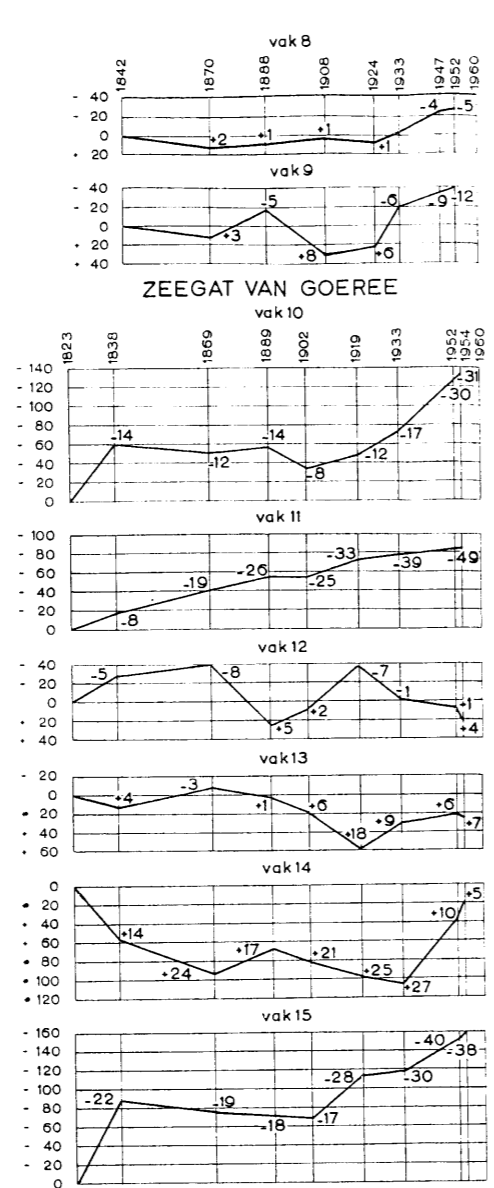
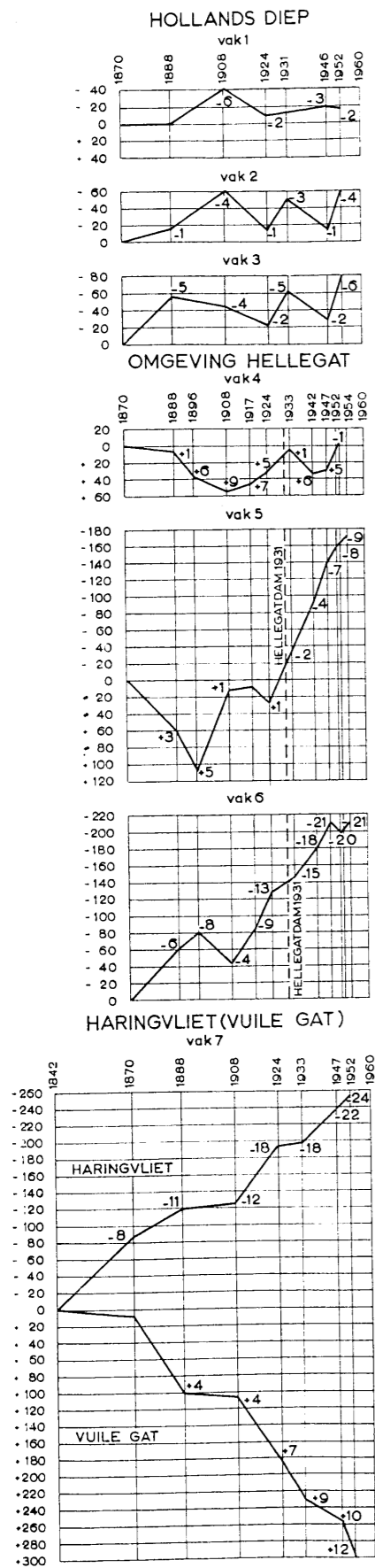
LIPSLAND

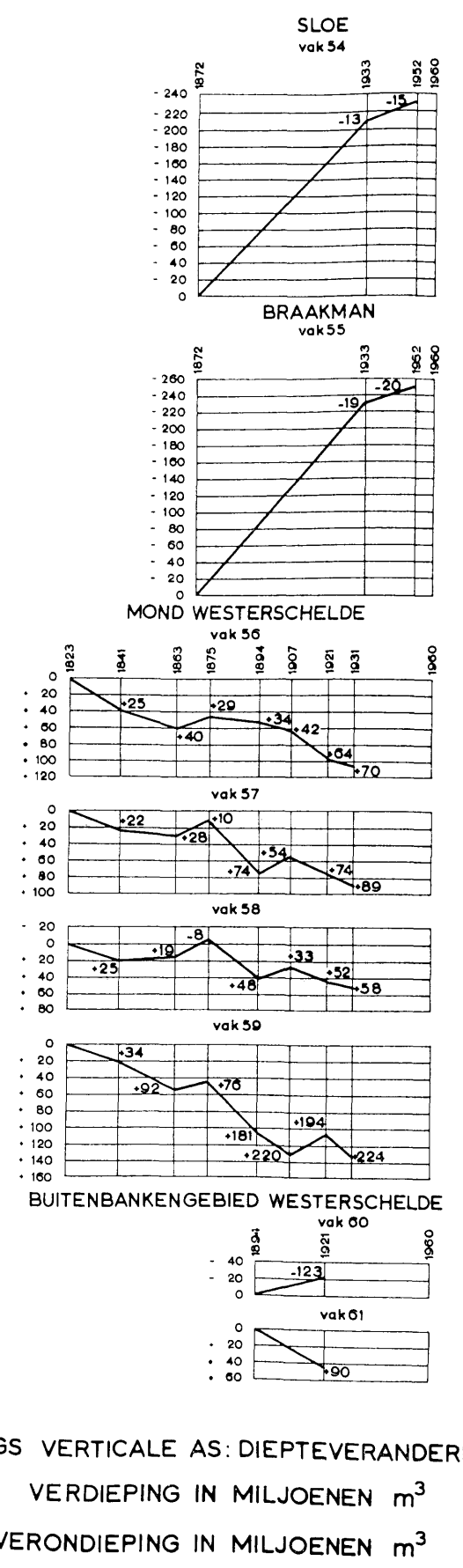
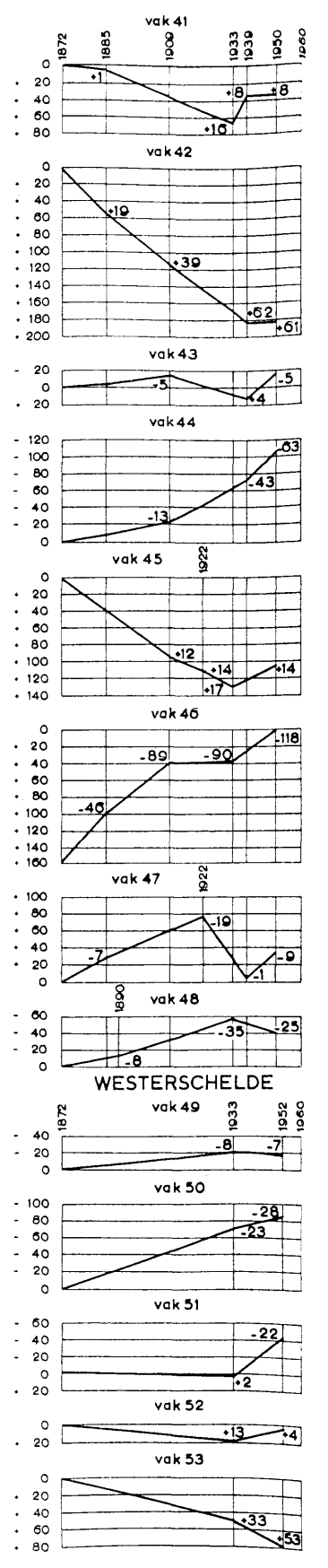
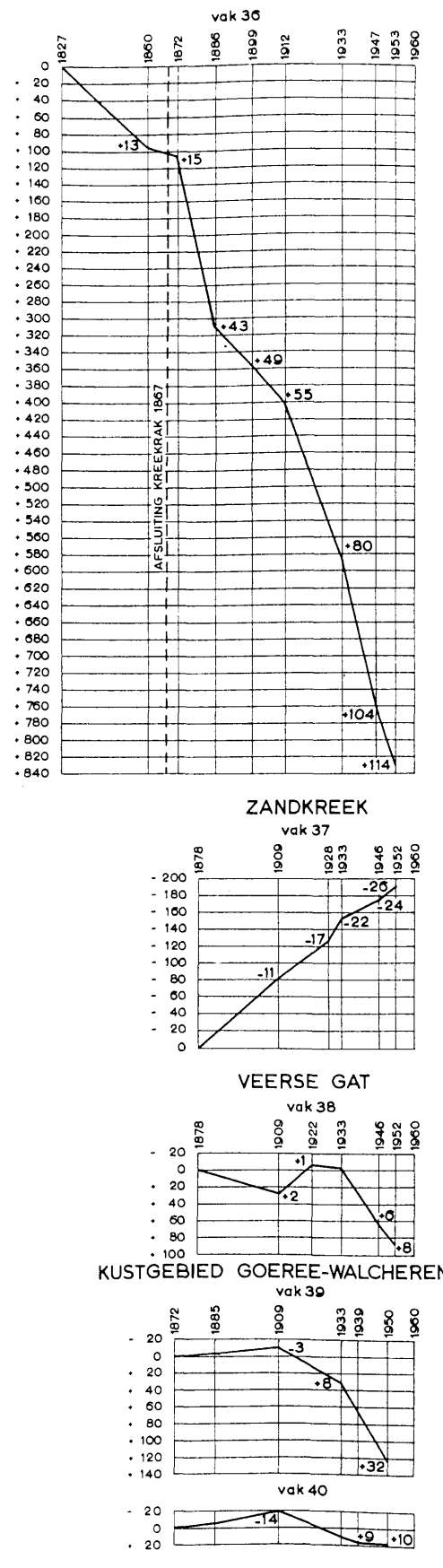
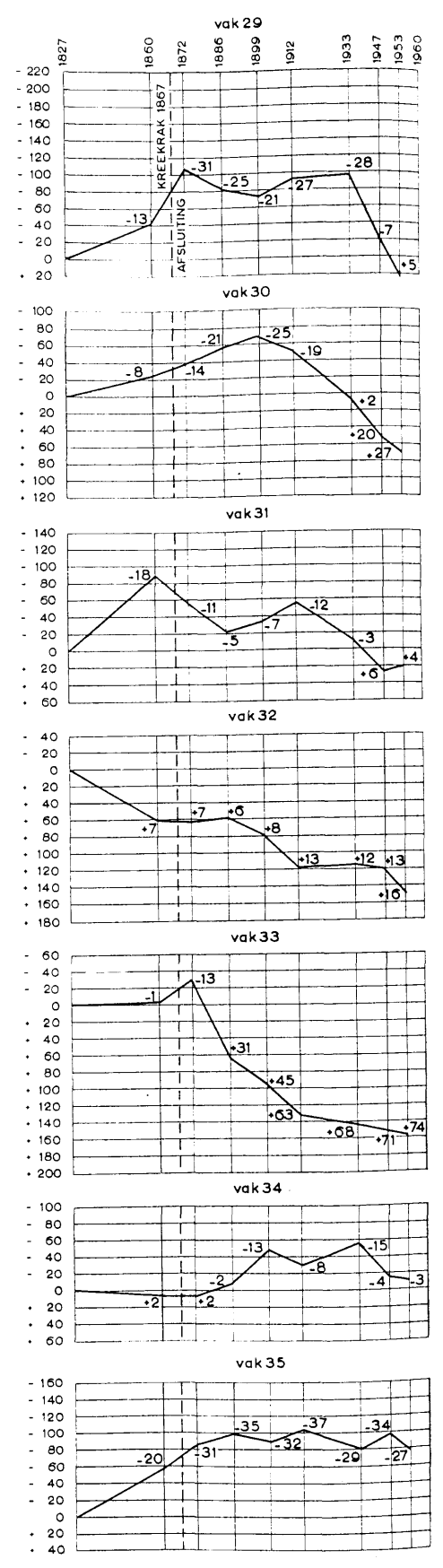
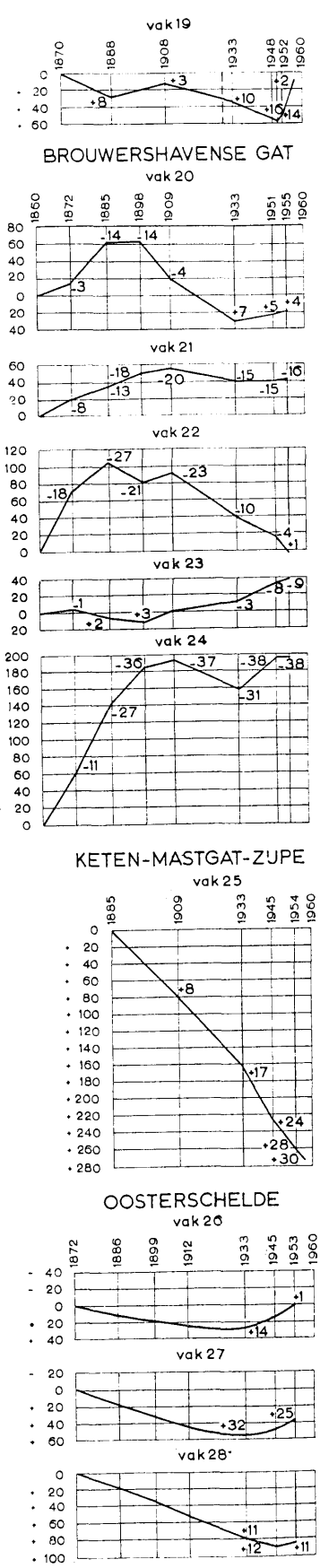
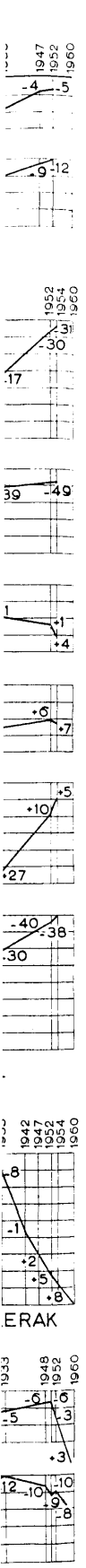
SINT-PHILIPSLAND

TOELICHTING

- GL.W. 1959
- VAARROUTES:
- 1855
- ..... 1870
- - - 1888
- - - 1908
- 1933
- ..... 1942
- - - 1955
- 1958 - 1959







LANGS VERTICALE AS: DIEPTEVERANDERING IN cm  
 +6 = VERDIEPING IN MILJOENEN m<sup>3</sup>  
 -6 = VERONDIEPING IN MILJOENEN m<sup>3</sup>