

BIJDRAGE III.2

RIJKSWATERSTAAT

DE OVERSCHRIJDINGSLIJNEN VAN DE
HOOGWATERSTANDEN
IN HET NEDERLANDSE GETIJGEBIED

INHOUDSOVERZICHT

0.1	<i>Inhoudsoverzicht</i>	57
0.2	Overzicht van de tabellen	58
0.3	Overzicht van de figuren	58
0.4	Literatuur	58
0.5	Summary	59
0.6	Résumé	59
1.0	Samenstelling van de bijdrage	60
1.1	Inleiding.	60
1.2	Inhoud van de bijdrage	60
1.3	Auteur	60
2.0	Algemene bespreking van het beschikbare materiaal.	60
2.1	Inleiding.	60
2.2	Het beschouwde materiaal	63
2.3	Algemene opmerkingen over de bewerking van het materiaal	63
3.0	De samengestelde overschrijdingslijnen	64
3.1	Overzicht der overschrijdingslijnen	64
3.2	Algemene opmerkingen over de overschrijdingslijnen.	73
4.0	Het karakteristieke beloop van de overschrijdingslijnen aan de vrije kust	73
5.0	De steilheid der overschrijdingslijnen in de omgeving van het grenspeil	74
6.0	Extrapolatie van de overschrijdingslijnen boven het grenspeil	76
6.1	Het verloop van de overschrijdingsfrequenties van de stormvloed 1953 langs de kust	76
6.2	Het verloop van de overschrijdingslijnen langs de zeearmen in landwaartse richting	77
6.3	Divergentie van de overschrijdingslijnen boven het grenspeil	78
6.4	Convergentie van de overschrijdingslijnen voor de zeer hoge standen	79
6.5	Gestrekt verloop van de overschrijdingslijnen in de monding	80
6.6	De invloed van de stormvloedstanden van 1953 op de vorm van de overschrijdingslijnen voor de zeearmen en het Waddengebied	80
7.0	De overschrijdingslijnen voor de westelijke Waddenzee	81
8.0	Rechtvaardiging van de extrapolatie	72
9.0	Aequivalente stormvloedstanden	83

0.2 OVERZICHT VAN DE TABELLEN

2.2.1 Gegevens, waarop de constructie van de overschrijdingslijnen beneden het grenspeil berust	63
9.0.1 Aequivalente waterhoogten	84
9.0.2 Vergelijking van O'53 met de in 1953 waargenomen standen	85

0.3 OVERZICHT VAN DE FIGUREN

2.1.1 De overschrijdingslijn van de hoogwaterstanden 1889–1950 te Hoek van Holland . . .	61
3.1.1 Waarnemingsstations, waarop de overschrijdingslijnen betrekking hebben.	64
3.1.2 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1901–1950 langs de Westerschelde . .	65
3.1.3 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1901–1950 langs de Oosterschelde . .	66
3.1.4 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1901–1950 langs de Grevelingen . . .	67
3.1.5 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1901–1950 langs het Haringvliet en het Hollands Diep.	68
3.1.6 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1862–1950 langs de Rotterdamse Waterweg.	69
3.1.7 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden langs de Noordzeekust I.	70
3.1.8 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden langs de Noordzeekust II	71
3.1.9 Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1862–1950 in het Waddengebied . . .	72
5.0.1 Overschrijdingslijnen van hoogwaterstanden ten opzichte van het grenspeil langs de kust	75
5.0.2 De steilheid van de overschrijdingslijnen in de omgeving van het grenspeil	76
6.1.1 De overschrijdingsfrequentie van de stormvloed 1953 langs de kust	77
7.0.1 Het verloop van de waterhoogten met gelijke overschrijdingswaarde langs de kust .	82

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

1. *J. J. Dronkers* Over de hoogste waterstanden langs de Nederlandse kust. Voorlopig rapport Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, 1953.
2. *J. Hemelrijk* Over de extrapolatie van de hoogwateroverschrijdingslijn van Hoek van Holland. Mathematisch Centrum 1954–11 (2), Amsterdam.
3. *Rijkswaterstaat* Tienjarig Overzicht der Waterhoogten 1941–1950 (Afdeling V, Stormvloeden). 's-Gravenhage, 1954.
4. *J. B. Schijf* Frequenties van waterstanden in en om de Waddenzee. Nota Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, 1959.
5. *P. J. Wemelsfelder* Wetmatigheden in het optreden van stormvloeden. De Ingenieur, nr. 9, 1939.
6. *P. J. Wemelsfelder* De overstromingsramp 1953: Waterstanden. De Ingenieur, nr. 33, 1953.
7. *P. J. Wemelsfelder* De stormvloed van 1 februari 1953 op de Noordzee: Nadere beschouwing van internationale gegevens. De Ingenieur, nr. 22, 1954.
8. *P. J. Wemelsfelder* Reducerende wisselwerking tussen astronomisch getij en stormvloed. Rapport Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, 1954.
9. *P. J. Wemelsfelder* Frequentielijnen Waddenzee. Nota Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, 1956.

0.5 SUMMARY

The frequency curves of high water in the tidal area of the Netherlands

Observations made over periods of fifty up to one hundred and fifty years have been used to construct frequency curves of high water on the coast of the Netherlands (figs. 3.1.2–3.1.9). These curves show many particularities which are described and explained. Each estuary shows an individual pattern and there is marked analogy between the various estuaries. These analogies and the general character of the frequency curves along the coast are discussed at length (figs. 5.0.1–5.0.2).

The frequencies of excess of the 1953 elevation values are treated separately (fig. 6.1.1).

A special method has been developed for the coastal area which was radically changed by the closing of the Zuiderzee in 1932 in order to establish frequency curves of the same reliability as those for the unaffected parts of the coast.

After careful investigations all frequency curves have been extrapolated to $N = 10^{-5}$, special attention being given to the 1953 values.

A table of equivalent heights derived from the frequency curves facilitates the use of the results of the present study.

This contribution has been prepared by Ir. P. J. Wemelsfelder.

0.6 RÉSUMÉ

Les courbes de transgression des niveaux de marée haute dans la région des marées aux Pays-Bas

En se basant sur des observations faites pendant 50 à 150 ans on a tracé les courbes de fréquence des marées hautes sur la côte des Pays-Bas (fig. 3.1.2–3.1.9). Ces courbes montrent plusieurs particularités qui ont été décrites et expliquées. Chaque estuaire présente sa propre configuration ayant une grande analogie avec celle des autres estuaires. On a apporté la plus grande attention à cette analogie, ainsi qu'au caractère général des courbes de fréquence le long de la côte (fig. 5.0.1 et 5.0.2).

Les fréquences de dépassement des hauteurs atteintes en 1953 sont traitées séparément (fig. 6.1.1). Pour la partie de la côte qui fut radicalement transformée par suite de la fermeture du Zuiderzee en 1932, une méthode particulière a été appliquée afin d'établir des courbes de fréquence aussi exactes que celles qui ont été établies pour la partie de la côte n'ayant pas subi de modifications.

A la suite de considérations très minutieuses, toutes les courbes de fréquence ont été extrapolées à $N = 10^{-5}$. A ce sujet, une attention toute particulière a été apportée aux valeurs de 1953.

Une table de hauteurs équivalentes, déduite des courbes de fréquence, facilite l'utilisation des résultats de la présente étude.

Cette contribution est due à l'ingénieur P. J. Wemelsfelder.

1.0 SAMENSTELLING VAN DE BIJDRAGE

1.1 Inleiding

Tot voor enige jaren richtte men zich voor het vaststellen van ontwerppeilen voor kunstwerken, waarmede verdediging tegen stormvloed werd beoogd, geheel naar de hoogten der stormvloedstanden, zoals die uit de waarnemingen ter plaatse of in de nabijheid bekend waren.

Deze werkwijze is verlaten. Tegenwoordig neemt men als richtsnoer voor het vaststellen van ontwerppeilen stormvloedhoogten, die een vooraf aanvaardbaar gestelde kans hebben, in een bepaalde termijn te worden overschreden. Men wil dus weten, welke waterstand behoort bij een tevoren vastgestelde overschrijdingsfrequentie. Omgekeerd doet zich de behoefte voor, te weten hoe groot de overschrijdingskans is bij de verschillende waterstanden.

Dergelijke vragen kunnen niet worden beantwoord door een eenvoudige raadpleging der waarnemingscijfers zonder meer. De in het oog te nemen waterstanden liggen namelijk aanzienlijk hoger dan de betrouwbaar gemeten stormvloedhoogten der laatste 1 à 2 eeuwen.

Om in de genoemde behoeften te kunnen voorzien, is voor één enkel waarnemingsstation, namelijk Hoek van Holland, uitvoerig onderzocht hoe een overschrijdingslijn van hoogwaterstanden diende te worden geconstrueerd en wat haar eigenschappen zijn (zie hiervoor [2,5]).

In aansluiting op deze studie zijn voor het gehele Nederlandse getijgebied overschrijdingslijnen geconstrueerd. Zij worden in deze bijdrage overgelegd en besproken. Met behulp van deze lijnen kan voor elke plaats in het getijgebied worden afgelezen, welke stormvloedhoogte een tevoren gestelde overschrijdingskans heeft. Of ook: hoe groot de kans is op overschrijding van een gegeven stormvloedhoogte.

1.2 Inhoud van de bijdrage

De bijdrage geeft de overschrijdingslijnen van hoogwater voor 28 stations en de mondingen van 5 zeearmen, het gehele Nederlandse getijgebied bestrijkende.

Bij de opbouw van dit stelsel van overschrijdingslijnen is bijzondere waarde toegekend aan de goede onderlinge samenhang van de lijnen voor de stations langs de kust, langs elk van de zeearmen en tussen analoge gebieden.

Aan de hoogte van de stormvloed van 1 februari 1953 is afzonderlijk aandacht geschonken.

In 2.0 worden de beschikbare gegevens besproken.

In 3.0 worden de opgestelde overschrijdingslijnen gepresenteerd.

In 4.0, 5.0 en 6.0 wordt behandeld op welke wijze de opstelling van de overschrijdingslijnen tot stand is gekomen.

In 7.0 wordt besproken hoe de overschrijdingslijnen zijn geconstrueerd voor de westelijke Waddenzee, waar de afsluiting van de Zuiderzee een grote invloed heeft gehad op de stormvloedstanden.

In 8.0 wordt een rechtvaardiging van de toegepaste extrapolatie gegeven.

In 9.0 volgt ten slotte een overzicht van equivalente stormvloedstanden voor alle Nederlandse peilschalen in het getijgebied, die overeenkomen met negen welgekozen stormvloedstanden te Hoek van Holland. Hieronder bevindt zich het basispeil te Hoek van Holland, zijnde N.A.P. + 5,00 m.

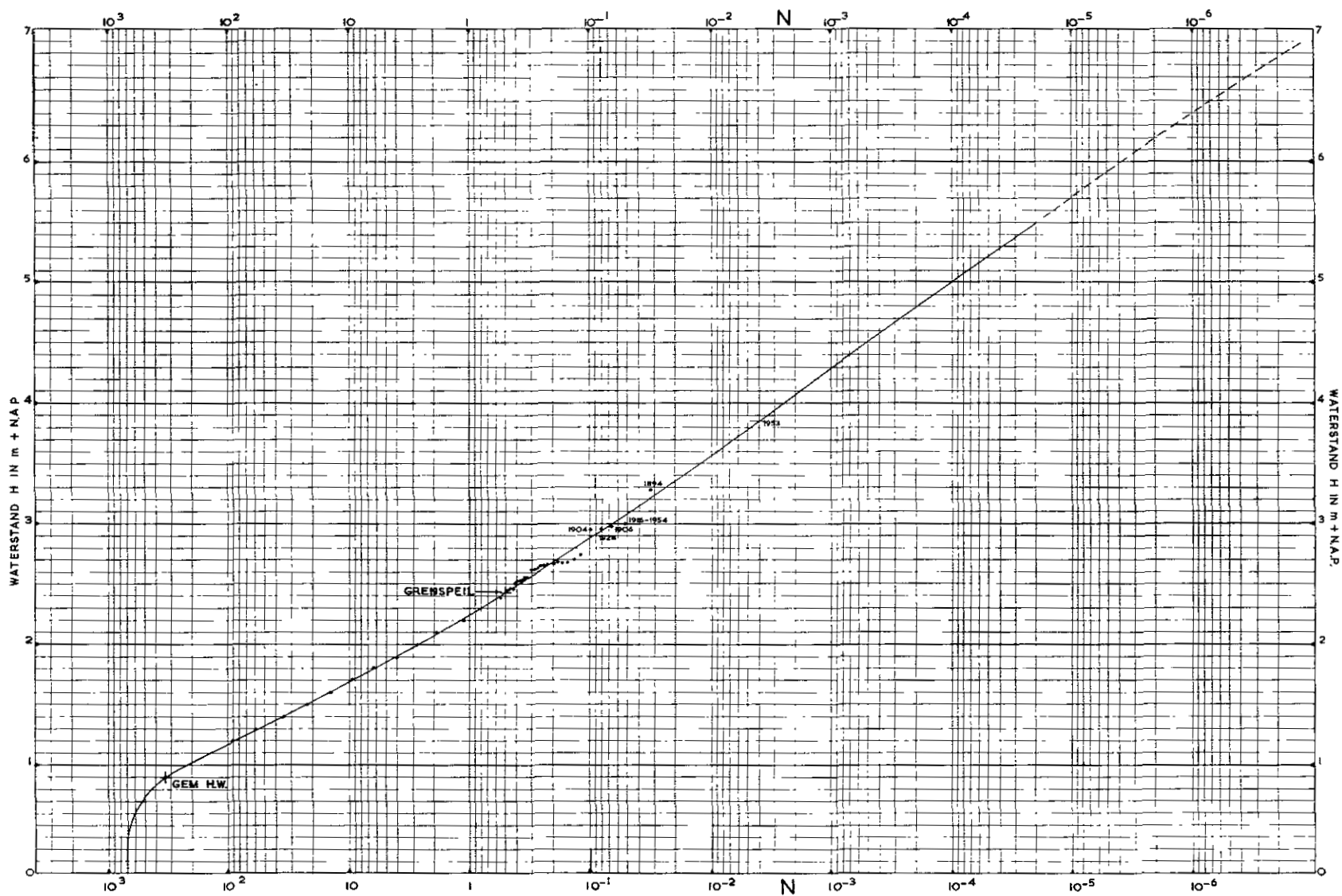
1.3 Auteur

De bijdrage is samengesteld door Ir. P. J. Wemelsfelder.

2.0 ALGEMENE BESPREKING VAN HET BESCHIKBARE MATERIAAL

2.1 Inleiding

Het is gebruikelijk het aantal malen, dat een gegeven peil in een bepaalde periode door een stormvloed wordt overschreden, uit te zetten en op een overschrijdingslijn af te lezen. Zulk een lijn geeft het verband aan tussen de hoogwaterstand en het aantal malen, dat deze stand per gegeven tijdsduur wordt



Figuur 2.1.1. De overschrijdingslijn van de hoogwaterstanden 1889–1950 te Hoek van Holland

overschreden. Voor de overzichtelijkheid en met het oog op eventuele extrapolatie wordt de hoogte H van de waterstand verticaal op lineaire schaal getekend en het aantal overschrijdingen van die waterstand, omgerekend tot gemiddeld aantal N per jaar, horizontaal op logaritmische schaal [5].

De stormvloed 1953 en de uitvoering van belangrijke werken aan de kust maakten het nodig om overschrijdingslijnen voor het gehele getijgebied te bepalen.

Het verloop van de overschrijdingslijn voor de H.W.-standen van de peilschaal te Hoek van Holland is mede ten behoeve daarvan opnieuw uitvoerig bestudeerd¹⁾. Daarbij is gebleken, dat dit verloop voor de hogere stormvloed op enkel-logaritmische schaal zeer gestrekt, nagenoeg rechte lijnig is. De op grond van deze inzichten opgestelde kromme is weergegeven in figuur 2.1.1.

De overschrijdingslijnen voor de andere peilschaalstations langs de Nederlandse kust blijken een verloop te hebben, analoog aan dat te Hoek van Holland. Dit is ook wel te verwachten, daar de afmetingen van het zuidelijke bekken van de Noordzee, waaraan de westkust van Nederland is gelogen, relatief zo gering zijn, dat de windvelden van een bepaalde storm voor bijna alle plaatsen langs dit kustgedeelte het stormvloedverloop beheersen. Wel varieert de grootte van het astronomisch getij langs de Nederlandse westkust in belangrijke mate en uit dien hoofde zullen de overschrijdingslijnen voor de verschillende plaatsen een analoge variatie vertonen. Verder noordwaarts langs de Waddencilanden tot aan de mond van de Eems doet zich ook de invloed gelden van de zich continu wijzigende ligging van deze kust ten opzichte van het Noordzeebekken, dat zich daar tot in de Duitse Bocht verbreedt.

Daar de uitgebreidheid van het waarnemingsmateriaal voor de verschillende kuststations nogal uiteenloopt, is deze samenhang van de overschrijdingslijnen een welkome steun om toch voor alle plaatsen langs de kust betrouwbare overschrijdingskrommen te kunnen bepalen.

Voor de overschrijdingslijnen van de plaatsen aan de zeearmen en in het Waddengebied zijn er nog enige bijkomende aspecten. De wijze van voortplanting en de hoogte van de hoogwaterstand in deze gebieden is niet alleen afhankelijk van het getij in de monden van de zeearmen, maar ook van de figuratie van deze gebieden, nl. diepte en uitgebreidheid van de geulen en van de omvang van het banken- of platengebied en de hoogteligging. Voor de rivieren heeft voorts de grootte van de afvoer, die aan voortdurende wisselingen onderhevig is, enige invloed op de vorm van de overschrijdingslijnen. Van betekenis is daarbij, dat bij de hogere waterstanden, zoals die bij de stormvloed optreden, de figuratie van het gebied belangrijk verandert. De profielen van de geulen zijn veel groter, terwijl de diepte op de banken en platen van het gebied zo groot kan worden, dat over de platen een belangrijke stroming kan voorkomen ten opzichte van die in de geulen. Ook kan het voorkomen, dat gebieden, die bij normaal getij niet onder water lopen, bij stormvloed overstroomd. Ten gevolge hiervan zullen snelheden, weerstandskrachten en traagheidskrachten vrij ingrijpend veranderen, naarmate de stormvloed hogere eindwaarden bereikt. De belangrijkste additieve invloed bij zwaardere stormen betreft echter wel de toenemende betekenis van de opwaaiing op de zeearmen.

Uit het voorgaande volgt, dat de overschrijdingslijnen voor een bepaalde zeearm een sterk analoog verloop hebben, doch voor plaatsen aan verschillende zeearmen van elkaar afwijken.

Alle overschrijdingslijnen vertonen steeds een monotone stijging, beginnend bij gemiddeld H.W., tot in het gebied der hoge stormvloed. Van H.W. tot aan het grenspeil (zie 3.2) zijn de lijnen volkomen bepaald door de waarnemingspunten. Voor hogere peilen liggen de punten meer en meer verspreid. Voorbij de hoogste standen zijn de overschrijdingslijnen geëxtrapoleerd volgens overwegingen, die nader worden behandeld.

Belangrijk voor de bepaling van de overschrijdingslijnen is de stormvloed 1953. Dit is niet alleen de hoogst voorgekomen stormvloed in de waarnemingsperiode, maar ook in de laatste 150 jaar. Toch is het onjuist te beweren, dat de overschrijdingsfrequentie van deze stormvloed $1/150$ bedraagt.

Ook zal de overschrijdingsfrequentie van het voorkomen van de topstanden van deze stormvloed voor de verschillende plaatsen langs de kust verschillend zijn, afhankelijk van hun ligging ten opzichte van het voorgekomen stormveld en van de fase van het getij ter plaatse. In het verloop van deze frequenties langs de kust moet echter een zekere continuïteit optreden. Door onderlinge vergelijking is het mogelijk gebleken, een inzicht te verkrijgen in de grootte van deze frequenties. De 1953-standen zijn dan ook op indirecte wijze van grote betekenis geweest voor de extrapolatie van de overschrijdingskrommen. Zij hebben de betrouwbaarheid daarvan verhoogd.

¹⁾ Zie de Bijdragen I en II.1.

De stormvloed 1953 heeft voor het noordelijke kustgebied – Waddenkust en Eemsmonding – geen hoge stormvloedstanden veroorzaakt. Hier konden de standen van 1953 dus geen dienst doen als hulpmiddel bij de extrapolatie van de overschrijdingskrommen. In verband hiermede werd getracht de vraag te beantwoorden, welke stormvloedstanden op de Waddenzee en in de Eemsmond zouden optreden, indien daar een stormvloed voorkomt met analoge overschrijdingsfrequenties als de stormvloed 1953 voor de kust van het zuidwestelijke deltagebied had.

2.2 Het beschouwde materiaal

Er is verschil in de wijze van afleiding der lijnen beneden het grenspeil met die boven het grenspeil. *Beneden het grenspeil* zijn voor het tijdvak 1901–1950 de overschrijdingsfrequenties van het hoogwater bepaald voor de ronde decimeterwaarden.

Tabel 2.2.1 vermeldt de gegevens, op grond waarvan de lijnen beneden het grenspeil zijn samengesteld.

Tabel 2.2.1
Gegevens, waarop de constructie der overschrijdingslijnen beneden het grenspeil berust

Waarnemingsstation	Tijdvak overschrijdings- frequentie H.W.	Met betrekkinglijnen afgeleid uit de in kolom 1 genoemde stations
1	2	3
Vlissingen	1901–1950	Terneuzen, Hansweert, Bath Bergen op Zoom Burghsluis Repart, Bruinisse, Steenbergse Sas Moerdijk
Wemeldinge	1901–1950	
Zierikzee	1901–1950	
Brouwershaven	1901–1950	
Willemstad	1901–1950	
Hellevoetsluis	1901–1950	
Hoek van Holland	1901–1950	Maassluis, Vlaardingen, Rotterdam Scheveningen, Katwijk
IJmuiden	1901–1950	
Den Helder	zie 7.0	Zoutkamp, Nieuwe Statenzijl
Terschelling		
Harlingen		
Delfzijl	1901–1950	

Voor de constructie der overschrijdingslijnen boven het grenspeil zijn alle stormvloeden als punten in de diagrammen getekend. De perioden zijn van ongelijke duur, variërend van 50 tot 90 jaar.

Met behulp van de betrekkinglijnen zijn toegevoegd Bath, Vlaardingen, Maassluis en Rotterdam en door evenwijdige verschuiving van de lijn van het meest zeewaarts gelegen station de lijnen voor Mond Westerschelde, Mond Oosterschelde, Mond Grevelingen en Mond Haringvliet. Deze verschoven lijnen zijn getekend door het grenspeil in de Mond van de zeearmen, waarvan de plaats is bepaald met behulp van verhanglijnen voor de as van de betreffende zeearm.

Voor de stations in de westelijke Waddenzee, die de invloed van de afsluiting der Zuiderzee hebben ondergaan en waarvan dus te weinig gegevens beschikbaar waren, zijn de overschrijdingslijnen bepaald volgens de methode, die in 7.0 wordt behandeld. Daarbij is van mede van de twee belangrijke stormvloeden van december 1954 gebruik gemaakt.

2.3 Algemene opmerkingen over de bewerking van het materiaal

- De hoogten van de stormvloeden van vóór 1900 zijn gecorrigeerd voor relatieve *bodemdaling*. Voor deze bodemdaling is aangehouden de stijging der tienjarige gemiddelden van hoogwater. Met dat bedrag zijn de hoogten van de oudere stormvloeden verhoogd alvorens in de overschrijdingsgrafiek te zijn verwerkt.

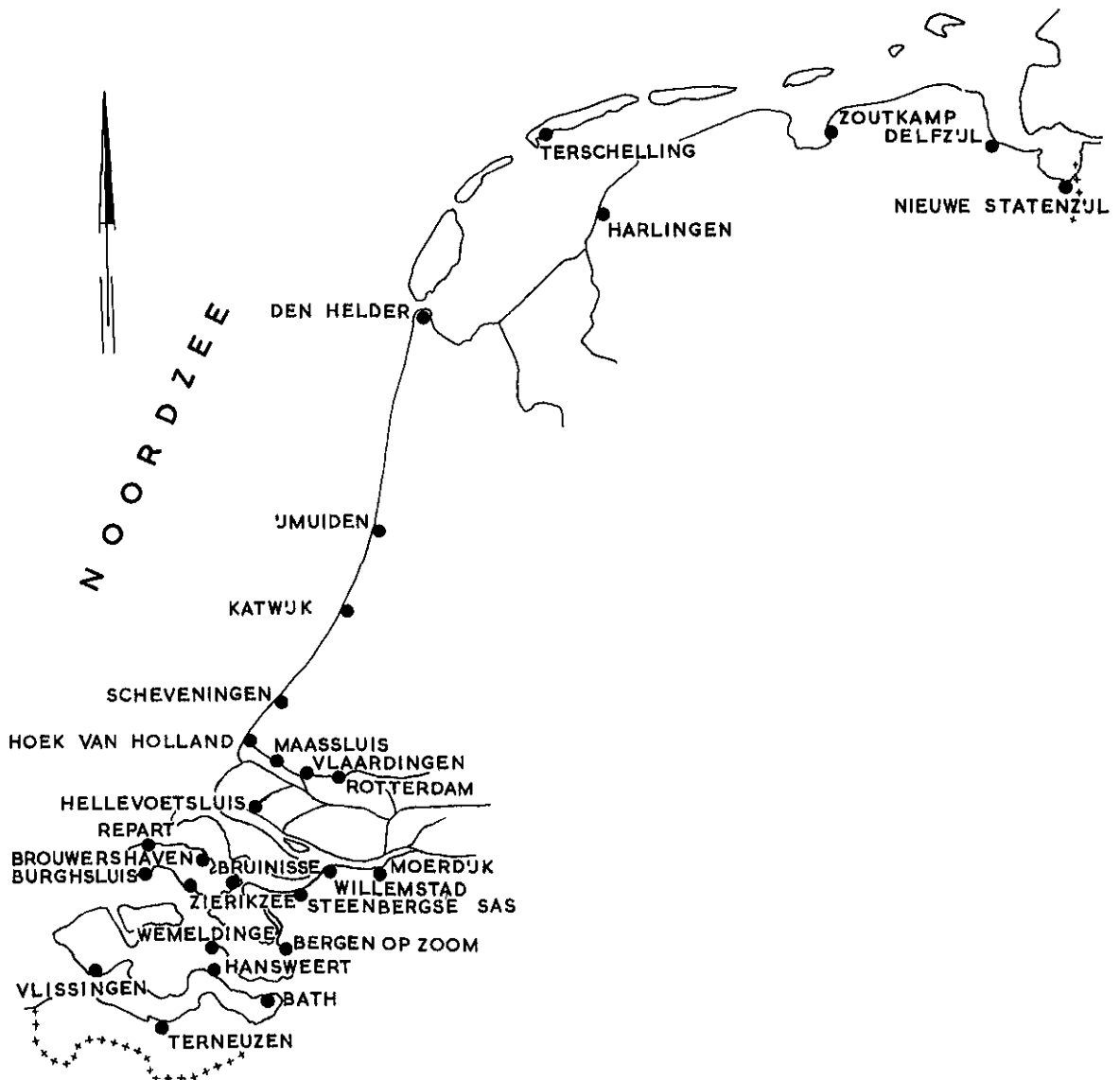
- b. In de Zeeuwse wateren is het aandeel van de *astronomische variatie in H.W.*, o.a. het verschil in hoogte van het H.W. bij springtij en bij doortij, voor de hogere stormvloedden aanzienlijk groter dan elders in Nederland. Om een meer homogene bewerking van het materiaal te verkrijgen, zijn de stormvloedden van de stations van de Belgische grens tot en met het Haringvliet herleid tot gemiddeld H.W.

3.0 DE SAMENGESTELDE OVERSCHRIJDINGSLIJNEN

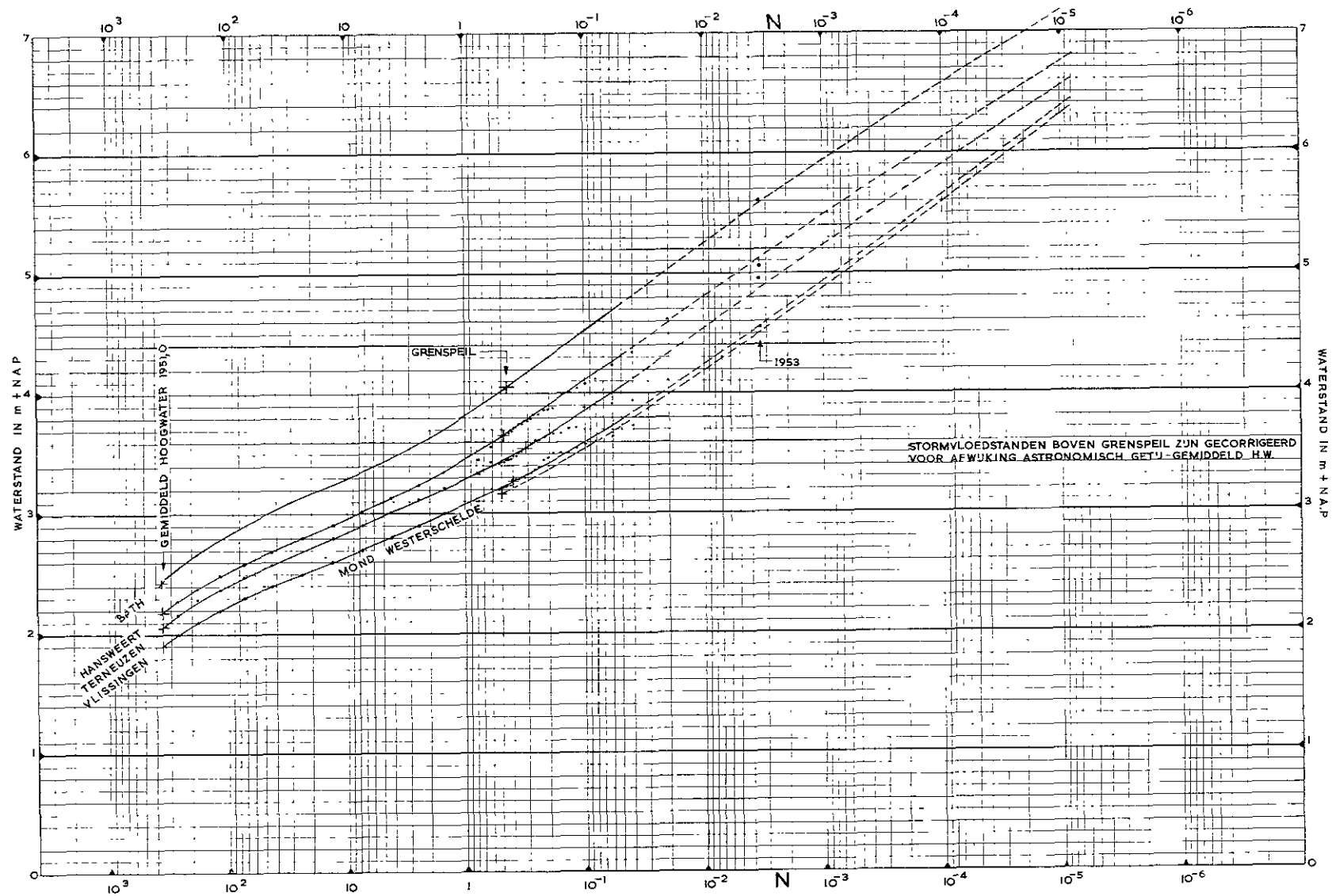
3.1 Overzicht der overschrijdingslijnen

De in totaal 33 samengestelde overschrijdingslijnen hebben betrekking op de in figuur 3.1.1. aangegeven waarnemingsstations en de mondingen van 5 zeearmen. Ze zijn samengenomen in acht groepen (figuren 3.1.2 tm 3.1.9).

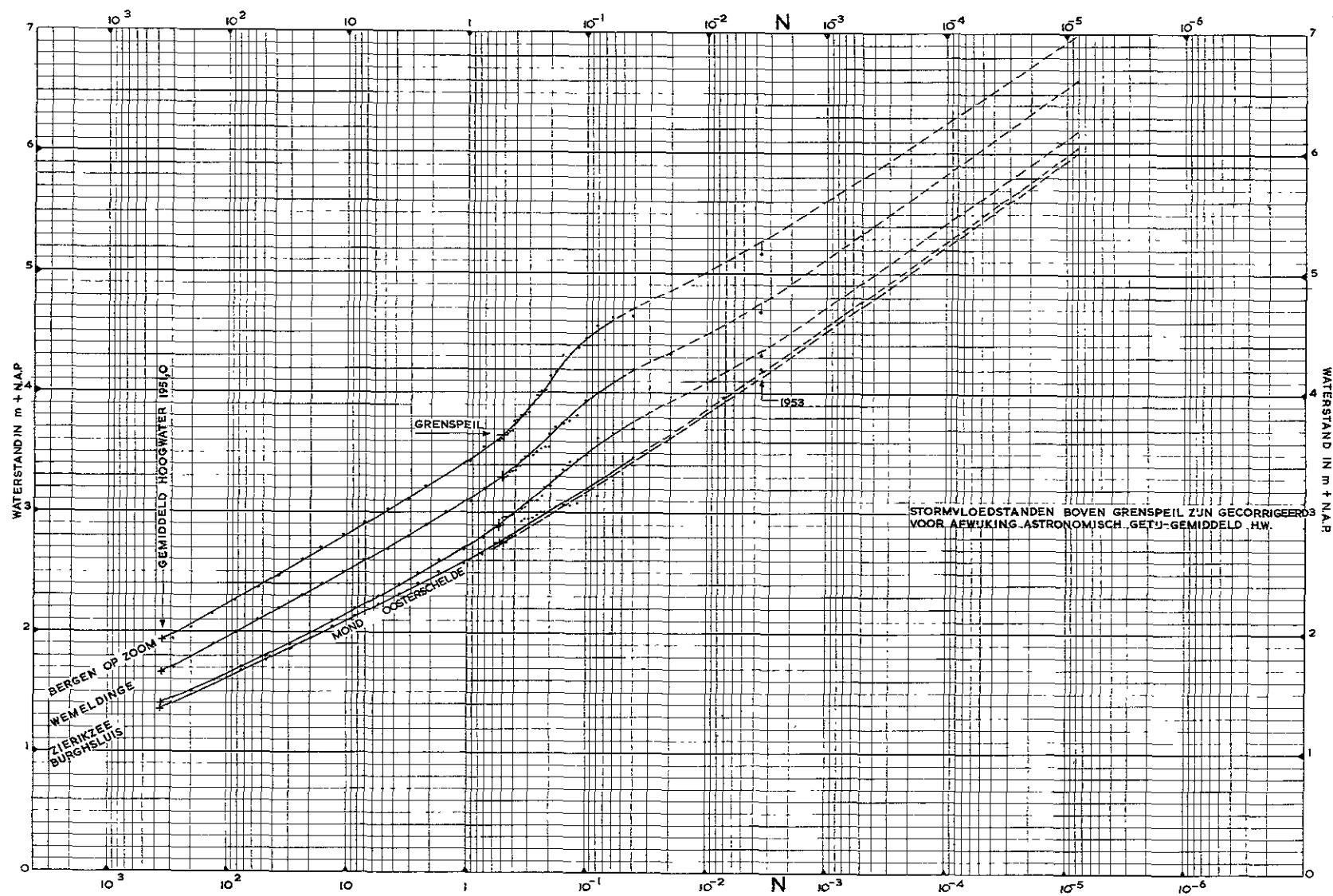
De lijnen zijn in deze groepen samengenomen in verband met de onderlinge samenhang der lijnen. Een bespreking vindt plaats naar verschillende gezichtspunten.



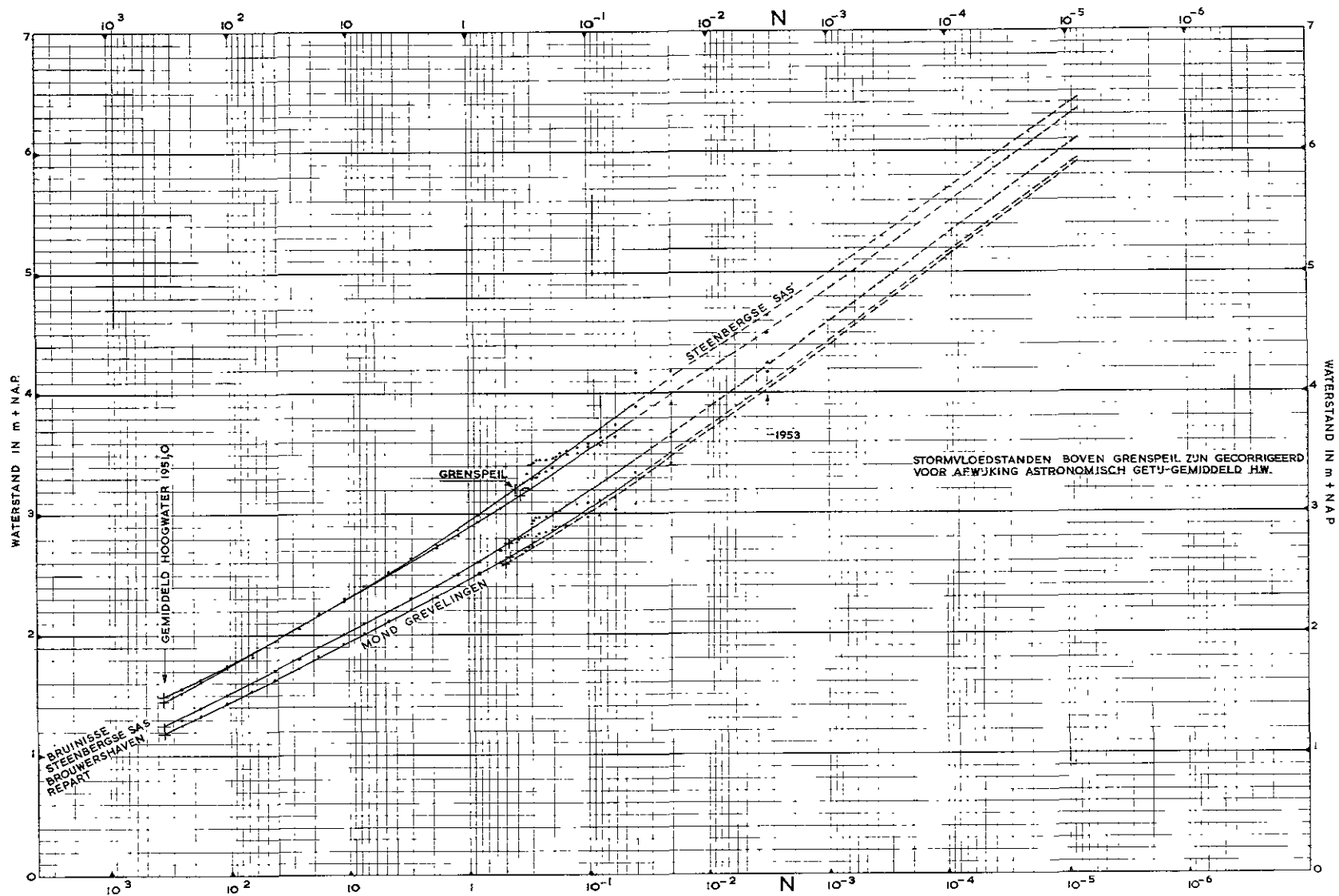
Figuur 3.1.1. Waarnemingsstations, waarop de overschrijdingslijnen betrekking hebben



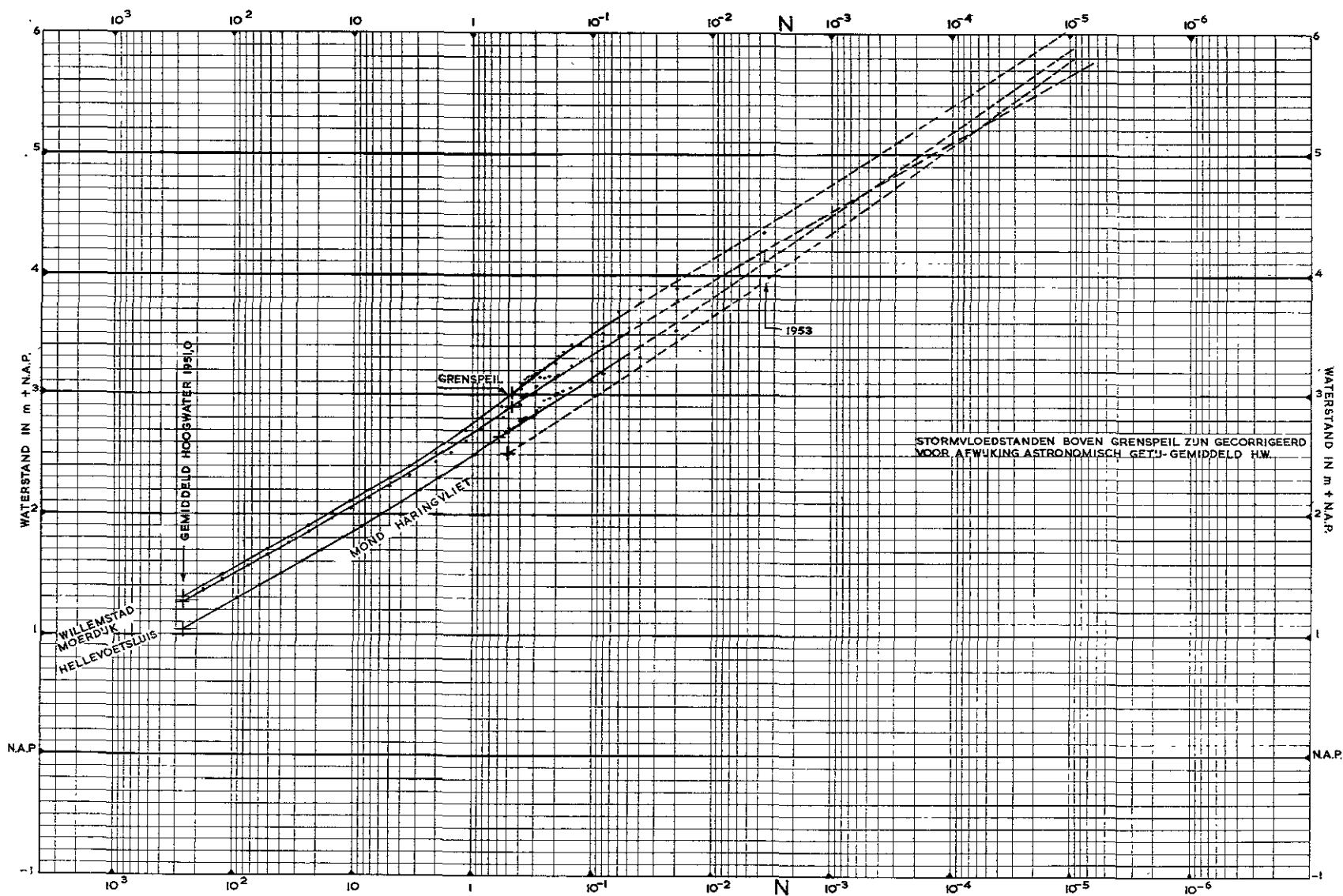
Figuur 3.1.2. Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1901-1950 langs de Westerschelde: Mond, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert, Bath



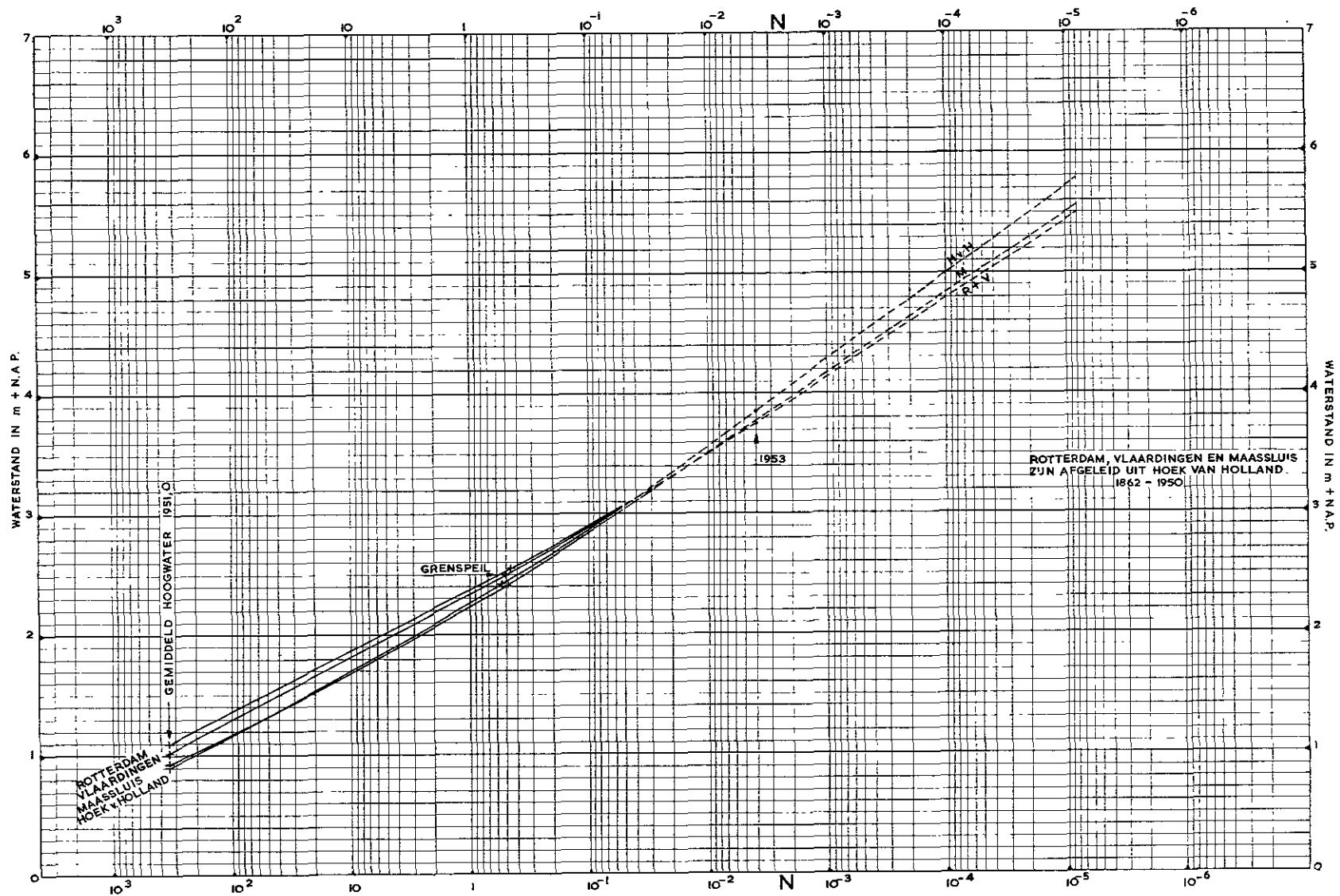
Figuur 3.1.3. Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1901-1950 langs de Oosterschelde: Mond, Burghsluis, Zierikzee, Wemeldinge, Bergen op Zoom



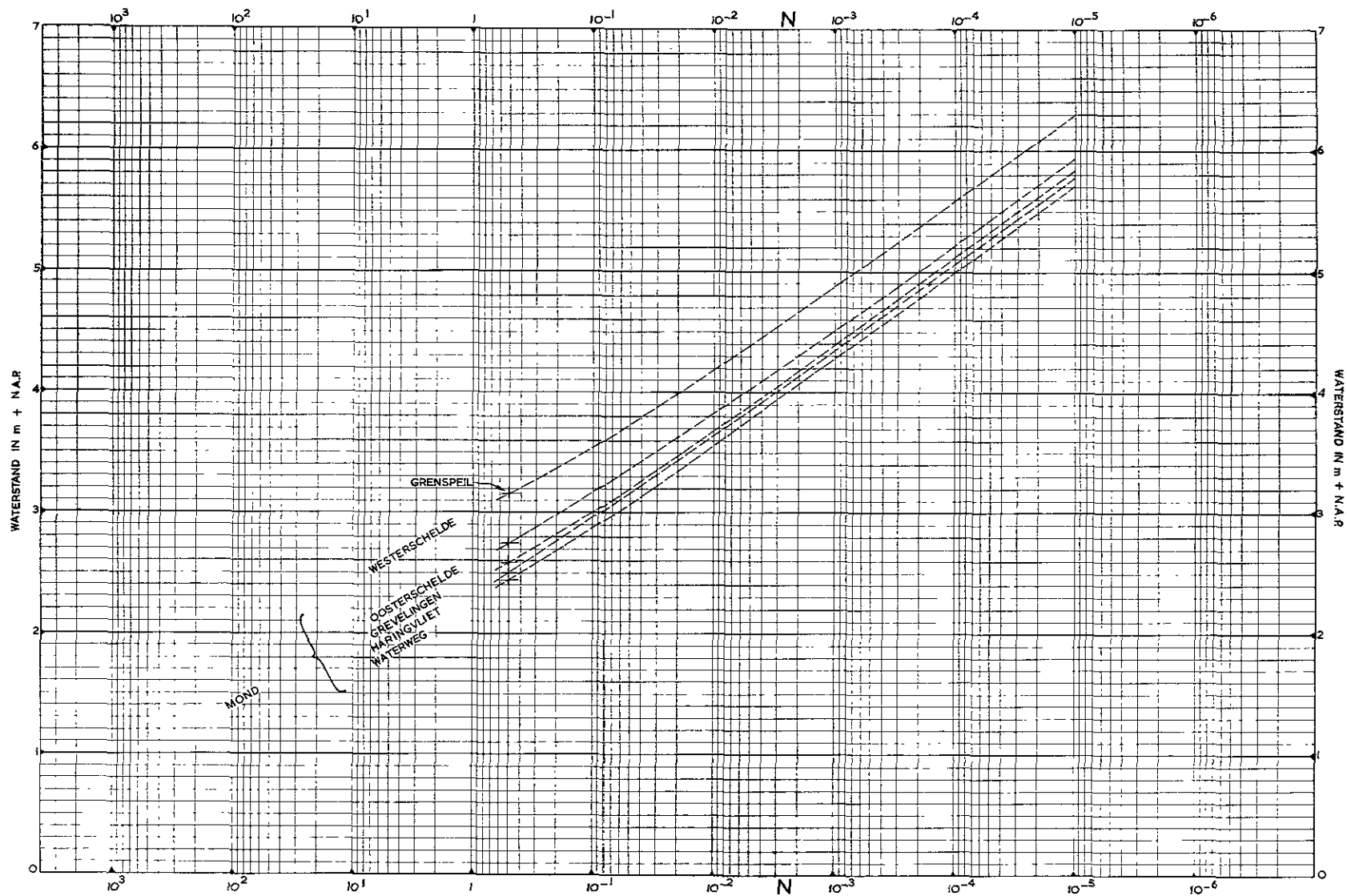
Figuur 3.1.4. Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1901–1950 langs de *Grevelingen*. Mond, Repart, Brouwershaven, Steenbergse Sas, Bruinisse



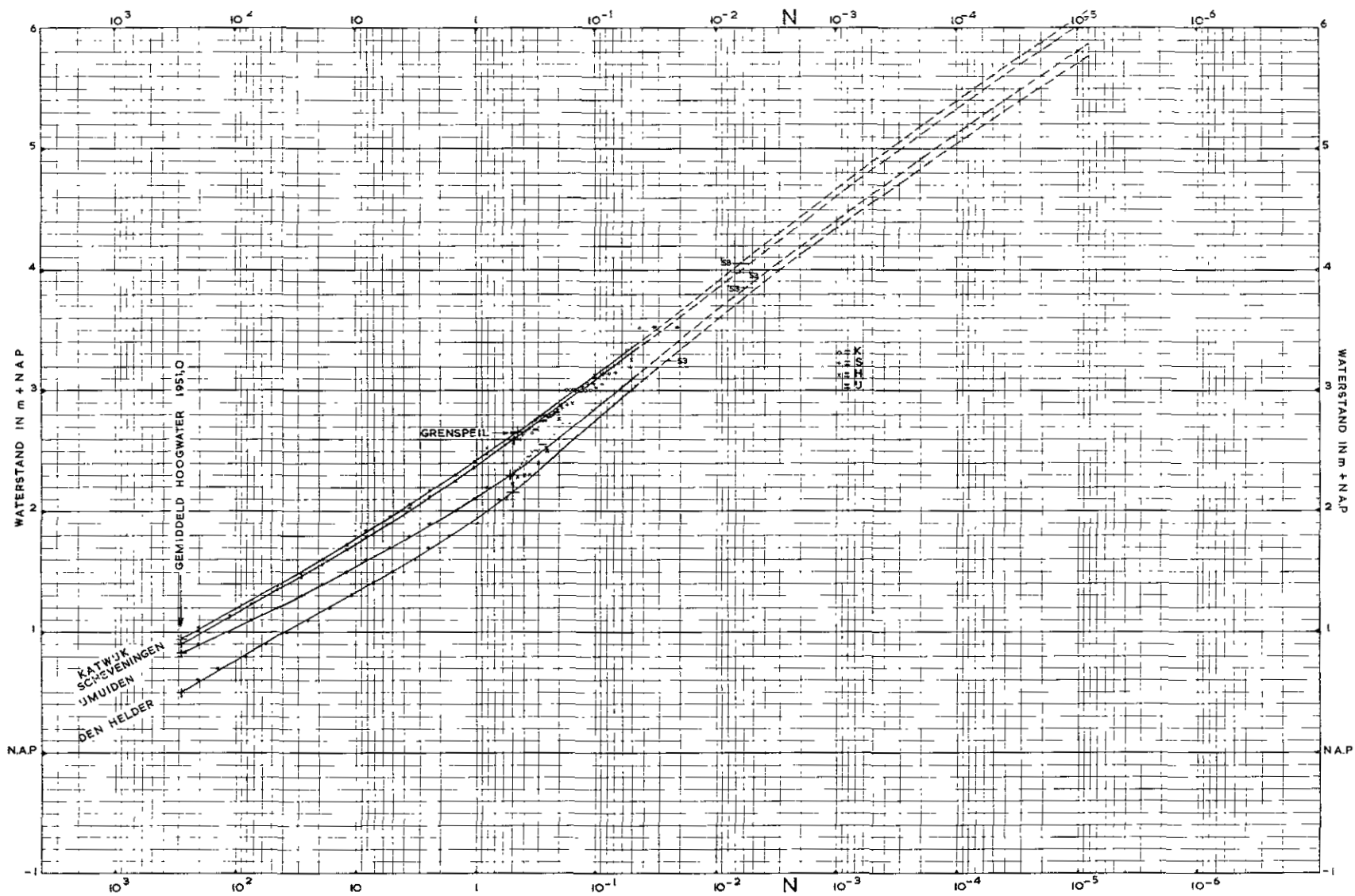
Figuur 3.1.5. Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1901-1950 langs *Haringvliet* en *Hollands Diep*: Mond, Hellevoetsluis, Moerdijk, Willemstad



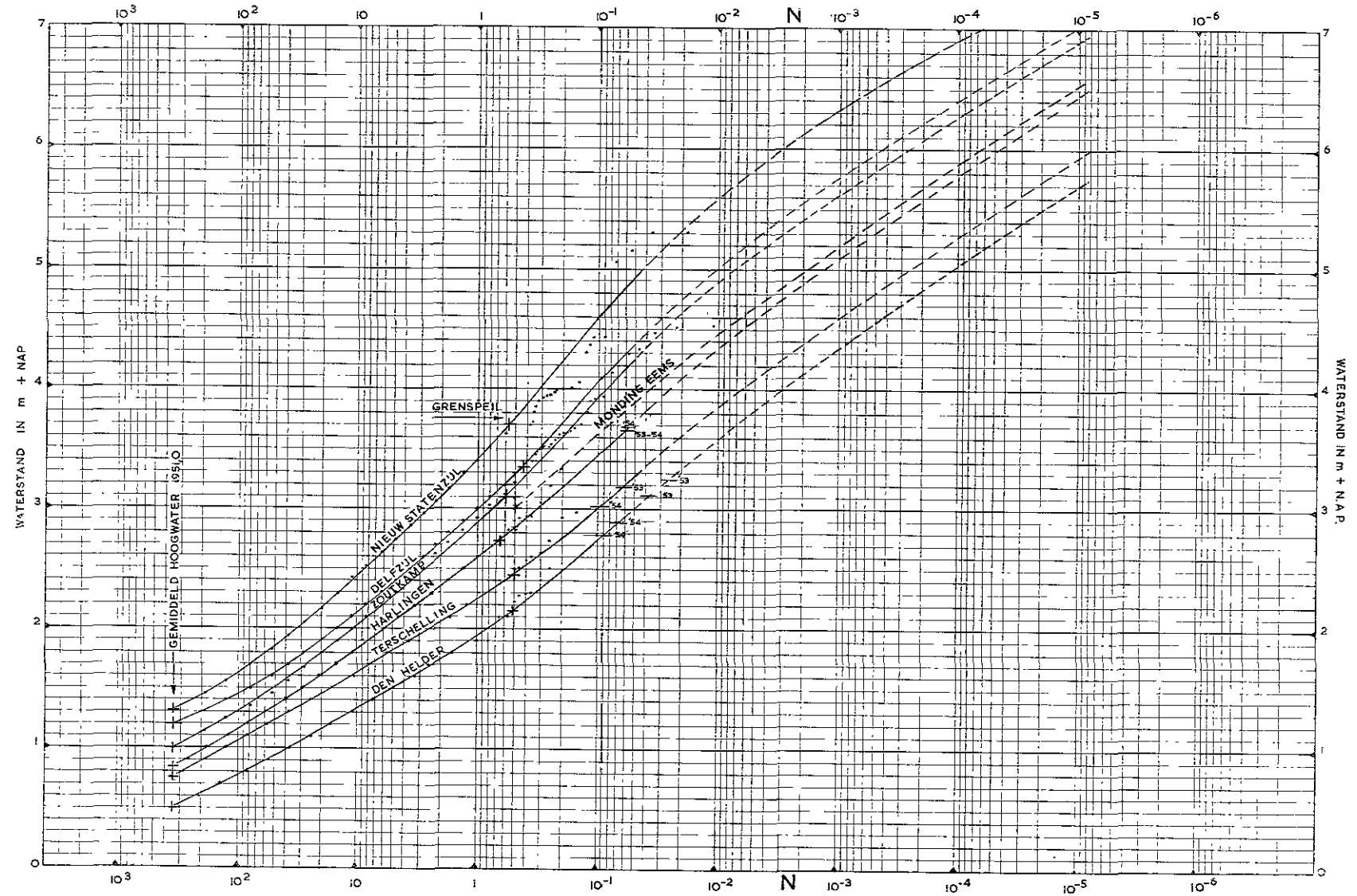
Figuur 3.1.6. Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1862-1950 langs de *Rotterdamse Waterweg*: Hoek van Holland, Maassluis, Vlaardingen, Rotterdam



Figuur 3.1.7. Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden langs de Noordzeekust I: Mond Westerschelde, Mond Oosterschelde, Mond Grevelingen, Mond Haringvliet, Hoek van Holland



Figuur 3.1.8. Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden langs de *Noordzeekust II*: Scheveningen, Katwijk, IJmuiden, Den Helder



Figuur 3.1.9. Overschrijdingslijnen van de hoogwaterstanden 1862-1950 in het *Waddengebied*: Den Helder, Terschelling, Harlingen, Zoutkamp, Mond Eems, Delfzijl, Nieuwe Statenzijl

3.2 Algemene opmerkingen over de overschrijdingslijnen

- In de figuren is gemiddeld *H.W. 1951.0* aangegeven. Dit is de hoogte van H.W. op het moment 1 januari 1951, afgelezen op een kromme van het gemiddeld H.W., welke is getekend door de jaargemiddelden van H.W., van een voorafgaand meerjarig tijdvak.
- Voorts is aangegeven het *grenspeil*. Bij definitie is dit het peil, dat 0,5 maal per jaar wordt overschreden. Alleen de hogere hoogwaters worden stormvloed genoemd. De betreffende punten liggen niet alle nauwkeurig op de lijn $N = 0,5$. Dit komt, doordat de waarden van het grenspeil zijn afgerond op 5 cm en kleine afwijkingen vooralsnog geen aanleiding gaven om de als zodanig vastgestelde peilen te herzien.
- De gebruikte waarnemingspunten zijn in het algemeen in de diagrammen vermeld: beneden het grenspeil de overschrijdingsfrequentie voor hoogten, die onderling een dm verschillen, boven het grenspeil de individuele stormvloeden.
- Langs de abscis der grafieken is vermeld het getal N , zijnde het gemiddelde aantal overschrijdingen per jaar. Een gemiddelde overschrijdingsfrequentie N komt overeen met een overschrijdingskans $1 - e^{-N}$ (Poisson), zie [5]¹⁾. Voor waarden van N , kleiner dan 0,1 komt dit vrijwel overeen met N . Dit betekent, dat men kan zeggen, dat (bij benadering) geldt, dat een overschrijdingsfrequentie, gelijk aan $N/100$, N % kans van voorkomen heeft. In deze zin wordt in deze bijdrage gesproken van bijvoorbeeld 15 % kans per eeuw e.d.
- In de hierna te behandelen diagrammen komen, behalve voor de stations, waarvoor waarnemingen beschikbaar zijn, ook overschrijdingslijnen voor de monding der zeearmen voor. Plaats en helling dezer lijnen zijn gevonden door voor elke zeearm lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie op te stellen en deze zeewaarts te extrapoleren tot aan het snijpunt van de zeearmen met de lijn van de kust.

4.0 HET KARAKTERISTIEKE BELOOP VAN DE OVERSCHRIJDINGSLIJNEN AAN DE VRIJE KUST

Voor de constructie van de overschrijdingslijnen is er van de lagere vloed, vanwege de rustige zomermaanden en vanwege de vele rustige dagen in herfst- en wintermaanden, een grote overmaat.

Wordt uitsluitend gebruik gemaakt van de hoogwaterstanden in de wintermaanden, bijvoorbeeld november, december, januari en februari, dan worden de aantallen in de lage zone in de verhouding 12 tot 4 verminderd, doch in de hoge zone is dat niet het geval. Hierdoor wordt het verloop van laag tot hoog meer gestrekt en steiler. In [5] werd er voorts op gewezen, dat als men bij elke stormvloed slechts het hoogste hoogwater neemt en men laat de eveneens hoge voorafgaande of volgende vloed buiten beschouwing, de overschrijdingslijn in de lagere zone steiler wordt en meer conform aan de steilheid van de lijn der hogere stormvloeden.

De waarnemingen, met behulp waarvan de overschrijdingslijn wordt opgebouwd, moeten voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Zij moeten „homogeen” zijn, d.w.z. afwijkingen, die de H.W.-standen van hun astronomische waarden verkrijgen, moeten alleen veroorzaakt worden door éénduidig en éénvormig geclassificeerde meteorologische omstandigheden.
- Zij moeten onderling onafhankelijk zijn.

Een selectie, die aan de voorwaarden a en b voldoet, is uitgewerkt door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut in samenwerking met het Mathematisch Centrum ²⁾.

De met behulp van het geselecteerde waarnemingsmateriaal gevonden overschrijdingslijn bleek aanmerkelijk steiler te lopen dan die, welke uit alle waarnemingen werd bepaald, nl. ongeveer 30%. Voorts bleek deze lijn over een groter bereik recht te zijn.

¹⁾ Zie ook Bijdrage III.3.

²⁾ Zie de Bijdragen I en II.1.

Het is evident, dat de statistische wetmatigheid in het optreden van de stormvloed en meer wordt gekarakteriseerd door deze steilere lijn dan door de vlakkere, bepaald uit alle hoogwaterstanden. Voorts geeft dit onderzoek een sterke steun aan de geldigheid van de min of meer rechtlijnige extrapolatie van de overschrijdingslijn. Hierbij moet echter rekening worden gehouden met de eis, dat de extrapolatie aan beide typen overschrijdingslijnen (nl. zowel aan die van de totale populatie, als aan die van de geselecteerde populatie) soepel moet aansluiten. Deze eis heeft geleid tot een extrapolatie als thans wordt toegepast in deze bijdrage. De extrapolatie is hierdoor gekenmerkt, dat de opwaartse buiging van de overschrijdingslijn, die door de volledige serie waarnemingspunten is getrokken, is voortgezet tot de zone van de hoogst waargenomen hoogwaterstanden en daar de steilheid benadert, die werd aangegeven door de lijn van de geselecteerde populatie.

De overschrijdingslijnen van alle stations, aan of nabij de kust gelegen, zijn getekend en geëxtrapoleerd op analoge wijze, zodat, langs de kust genomen, een logisch samenhangend systeem van lijnen werd verkregen, waarop in de volgende paragraaf nog nader wordt teruggekomen.

De lijnen voor de mondingen van de zeearmen, bepaald volgens de methode, als aangegeven in 3.2 onder e, moeten ook onderling aansluiten in de lijn van de kust. De op deze wijze bepaalde lijnen voor de vijf mondingen van de zeearmen in het zuidwesten zijn tezamen aangegeven in figuur 3.1.7, waarbij onderlinge overeenstemming blijkt. Op het onderlinge verband met de overschrijdingslijnen in de zeearm wordt in 6.2 en 6.5 nog nader teruggekomen.

5.0 DE STEILHEID DER OVERSCHRIJDINGSLIJNEN IN DE OMGEVING VAN HET GRENSPEIL

Zoals in 2.1 reeds is gezegd, werd een goede samenhang gevonden tussen de overschrijdingslijnen langs de kustlijn van zuid naar noord gaande. Om deze samenhang nog beter te doen uitkomen, dient te worden geabstraheerd van de hoogteverschillen als gevolg van de astronomische getijden. Dit geschiedt door alle overschrijdingslijnen bij het grenspeil op elkaar te leggen, hetgeen in figuur 5.0.1 is weergegeven. Duidelijk blijkt uit deze figuur de regelmaat in het verloop der steilheid langs de kust, die van zuid naar noord geleidelijk toeneemt.

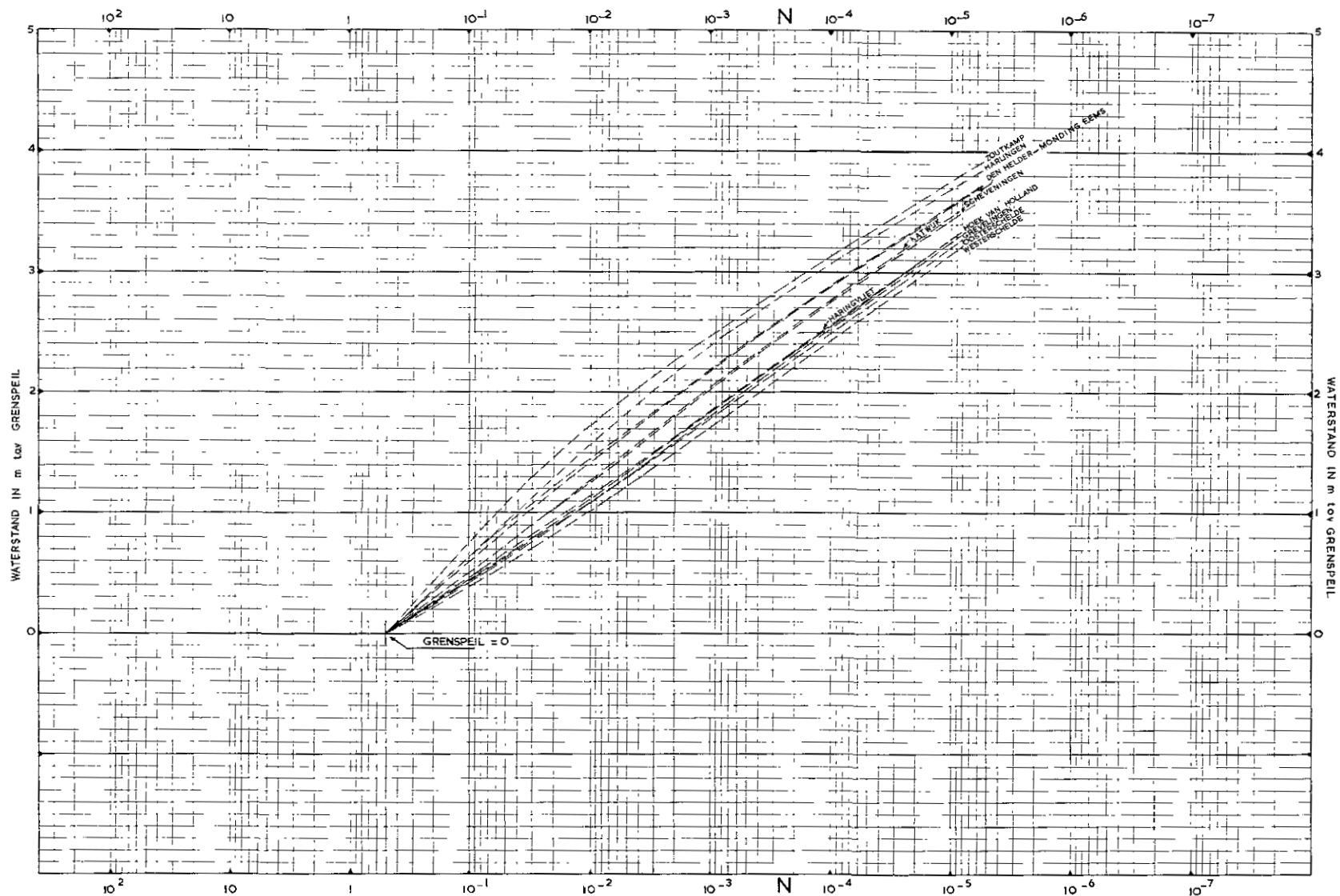
Bij de omgeving van het grenspeil zelf is de steilheid nog volkomen bepaald door de ligging der waarnemingspunten. Meet men in de figuren 3.1.2 tot 3.1.9 het hoogteverschil op tussen $N = 1$ en $N = 10^{-1}$, dit is de decimeringshoogte ¹⁾, en zet men deze waarden grafisch uit, dan worden de punten van figuur 5.0.2 gevonden. In de zeearmen hebben de onderste punten betrekking op de overschrijdingslijnen in het hart der zeegaten.

Door de gevonden punten zijn de volgende gestyleerde lijnen getrokken:

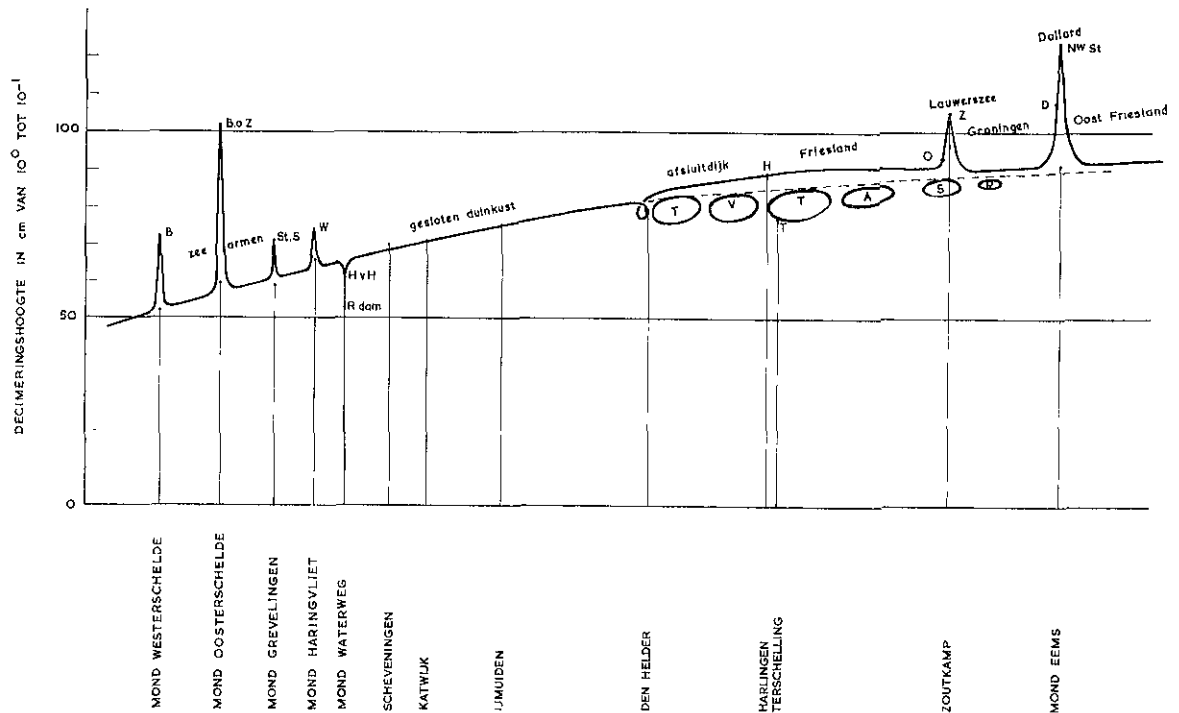
1. Voor de gesloten duinkust een rechte lijn, langzaam oplopend in noordelijke richting.
2. Door de punten van het zuidwesten, aangevende de steilheid der overschrijdingslijnen in het hart der zeegaten, een lijn, die naar de Westerschelde toe nog wat sterker naar beneden loopt. Naar zich laat aanzien, is dit een gevolg van de afzuigende werking van het Kanaal ²⁾.
3. De lijn voor de gesloten duinkust kan flauw gebogen als geblokte lijn doorgetrokken worden naar het punt voor de Eemsmond, waarbij verondersteld is, dat de duinkust der Waddeneilanden in deze geblokte lijn is gelegen.
4. Voor de waddenzijde der eilanden geeft Terschelling een waarde. Deze waarde is kleiner dan die, welke wordt aangegeven door de geblokte lijn voor de buitenzijde der eilanden. Dit is aldus verklaarbaar: voor noordwestelijke stormen liggen de Waddeneilanden boven de wind en hebben dus een relatieve afwaaiing.
5. Door dezelfde oorzaak hebben de stations aan de zuidoostelijke oever van de Waddenzee een additionele opwaaiing. Vandaar een grotere steilheid der overschrijdingslijnen. De figuur geeft grond voor het vermoeden, dat daardoor de steilheid te Harlingen groter is dan de steilheid aan de buitenzijde der eilanden. Dit houdt in, dat de additionele opwaaiing op de Waddenzee groter is dan het verlies, dat ontstaat doordat de zeegaten te nauw zijn om het gehele bekken te vullen.

¹⁾ Zie ook Bijdrage II.1.

²⁾ Zie Bijdrage III.1.



Figuur 5.0.1. Overschrijdingslijnen van hoogwaterstanden ten opzichte van het grenspeil langs de kust



Figuur 5.0.2. De steilheid van de overschrijdingslijnen in de omgeving van het grenspeil

6. Lauwerszee en Dollard takken van de lijn langs de vaste kust opwaarts af op een wijze als overeenkomt met de aftakking opwaarts van de zeearmen in het zuidwesten.

De hier naar voren gebrachte samenhang voor wat betreft de steilheid der overschrijdingslijnen in de omgeving van het grenspeil ondersteunt het totaalbeeld der overschrijdingslijnen. Het is niet mogelijk de overschrijdingslijn boven het grenspeil voor een enkel station ingrijpend te wijzigen zonder ook alle overschrijdingslijnen in diezelfde zin te wijzigen.

6.0 EXTRAPOLATIE VAN DE OVERSCHRIJDINGSLIJNEN BOVEN HET GRENSPEIL

6.1 Het verloop van de overschrijdingsfrequenties van de stormvloed 1953 langs de kust

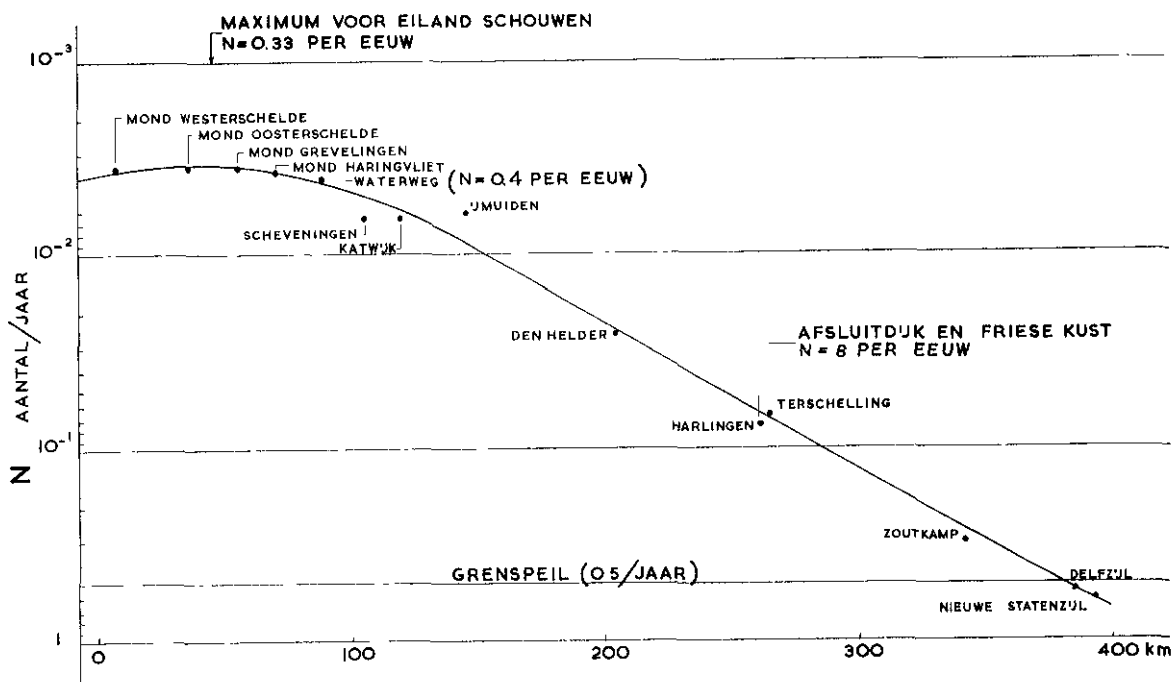
De stormvloed 1953 is van belangrijke betekenis geweest voor de bepaling van de vorm van de overschrijdingskrommen. Het is namelijk duidelijk, dat de ligging van de corresponderende punten voor 1953 op de overschrijdingslijnen een min of meer samenhangend beeld zal moeten geven.

Er is als volgt te werk gegaan. De hoogten, die zijn waargenomen bij de stormvloed 1953 voor verschillende plaatsen langs de kust, zijn aangegeven op de desbetreffende geëxtrapoleerde overschrijdingslijnen, bepaald volgens de gegevens uit de waarnemingsperiode tot 1950. Daarna werd nagegaan in hoeverre de hieruit volgende overschrijdingsfrequenties voor 1953 gelijkmatig en continu verliepen. Op grond van de eventuele afwijkingen werden de extrapolaties gewijzigd tot dit verloop gelijkmatig en continu was.

Leest men ten slotte de respectieve overschrijdingsfrequenties van deze stormvloed af voor de meest zeewaarts gelegen peilschalen en zet men die grafisch uit op een lengteprofiel van de kust, dan wordt figuur 6.1.1 verkregen.

Men ziet uit deze figuur het volgende:

1. De spreiding der afzonderlijke punten is niet groot.
2. De door de punten getrokken gemiddelde lijn heeft een gelijkmatig continu verloop.



Figuur 6.1.1. De overschrijdingsfrequentie van de stormvloed 1953 langs de kust

3. Er is een uitgesproken top ongeveer voor de kop van Schouwen. Dit is in overeenstemming met de ervaring, dat de ramp het eiland Schouwen-Duiveland het zwaarst getroffen heeft. De kans van voorkomen is daar 0,0033 of ongeveer 33% per eeuw.
4. De overschrijdingsfrequentie voor Hoek van Holland kan gesteld worden op 0,004 of 40% kans per eeuw.
5. In noordelijke richting neemt de overschrijdingsfrequentie geleidelijk toe. Zij is te Den Helder reeds 2 keer per 100 jaar. Voor Terschelling, dat meer aan de waddenzijde van het eiland is gelegen, is de overschrijdingsfrequentie 0,05. Dat wil zeggen 5 keer per 100 jaar is een stormvloed te verwachten, die in dit gebied dezelfde hoogte bereikt als de stormvloed van 1 februari 1953, of deze waarde overschrijdt ¹⁾.
6. De overschrijdingsfrequentie loopt verder naar het noordoosten regelmatig op en passeert nabij de Eemsmond de lijn voor het grenspeil. In Delfzijl is er dan ook geen sprake meer van een stormvloed.

6.2 Het verloop van de overschrijdingslijnen langs de zeearmen in landwaartse richting

Vergelijkt men de figuren 3.1.2, 3.1.3 en 3.1.4 dan blijkt, dat er tussen de overschrijdingslijnen van de zeearmen een zekere regelmaat bestaat, in die zin, dat de overschrijdingslijnen der meer binnenwaarts gelegen achtereenvolgende stations vanaf de monding hoger liggen.

Voor het Haringvliet (figuur 3.1.5) geldt hetzelfde, echter slechts tot Willemstad. De lijn voor Moerdijk ligt lager. Bovendien is de helling kleiner, zodat deze lijn zelfs de lijnen van andere plaatsen langs deze zeearm snijdt. Bij zeer hoge stormvloeden zullen dus de waterstanden te Moerdijk (en ook die, verder oostelijk daarvan) achterblijven bij die in de mond van deze zeearm. Dit afwijkend verloop wordt uiteraard veroorzaakt doordat de Biesbos een uitgestrekt gebied vormt, waarvan de vulling reeds bij het normale getij een relatieve verlaging van de H.W.-standen langs Hollands Diep en Amer tot gevolg heeft. Bij hogere waterstanden neemt deze relatieve verlaging toe, doordat dan de toeneming van de profielen in deze rivieren kleiner is dan de toeneming aan kombergend vermogen van de Biesbos.

¹⁾ Dit is intussen in december 1954 tweemaal geschied, zodat er in de 25 jaar, verstreken na 1932, drie zijn voorgekomen.

De voor de zuidelijke zeearmen geldende regelmaat wordt ook op de Dollard gevonden (figuur 3.1.9). De lijnen Delfzijl en Nieuwe Statenzijl hebben onderling een analoog verloop als Zierikzee en Bergen op Zoom.

Voor de Rotterdamse Waterweg (figuur 3.1.6) geldt de voor de vijf grote zeearmen geldende regelmaat in het verloop van de lijn eveneens, doch slechts tot een peil van omstreeks N.A.P. + 3 à 3,5 m. Op de Rotterdamse Waterweg komt dus de situatie van de hogere stormvloed overeen met de situatie, zoals die boven Willemstad voor het Hollands Diep geldt. Deze situaties hebben dit gemeen: een relatief smal kanaal met geringe additionele opwaaiing en daarachter een relatief groot kombergingsgebied.

De zes gebieden vertonen dus alle hetzelfde beeld: hogere ligging der meer naar binnen gelegen overschrijdingslijnen. De twee partiële uitzonderingen (het Hollands Diep en de Rotterdamse Waterweg) voor de hogere stormvloedstanden komen met elkaar overeen en wijken op dit punt beide in dezelfde zin af van de grote zeearmen.

6.3 Divergentie van de overschrijdingslijnen boven het grenspeil

Uit figuur 3.1.3 voor de Oosterschelde blijkt, dat even voorbij het grenspeil de overschrijdingslijnen sterker omhoog lopen, en wel te meer naarmate het station meer landwaarts is gelegen. Dit opbuigen naar boven wordt door de waarnemingspunten dwingend aangegeven. Opvallend is ook de regelmatige toeneming van de helling in landwaartse richting. De oorzaak hiervan is gelegen in de topografie van de zeearm. Tot aan de matig hoge vloed worden wel alle platen en slikken overstroomd, doch de gehele vullingsstroom gaat door de geulen. Voor hogere vloed neemt de diepte op de platen zo toe, dat een merkbare en snel toenemende vergroting van het effectieve doorstromingsprofiel optreedt. Dit betekent een zwakker worden der weerstandskrachten. Ten gevolge daarvan zullen, bij gelijk blijvende verhangen, de hoeveelheden toestromend vloedwater toenemen, hetgeen een verhoging van de stormvloedhoogte in landwaartse richting ten gevolge heeft.

Dit verschijnsel wordt bij hogere waterstanden regelmatig belangrijker. Het blijkt echter, dat juist boven het grenspeil de overschrijdingslijnen veel sterker gaan stijgen dan beneden het grenspeil. Dit verschijnsel moet worden toegeschreven aan de dan belangrijk toenemende invloed van de verhoging van de waterstanden door de opwaaiing door de windkrachten op de zeearmen zelf. Bij stormen van relatief geringe betekenis, waarbij de hoogwaterstand niet hoger komt dan het grenspeil, is deze opwaaiing meestal niet belangrijk, doordat en de windkracht en de duur hiervan niet groot is. Er is een bepaalde tijdsperiode nodig, vóórdat de windeffecten zich volledig op de watermassa doen gevoelen.

Bij zware stormvloed is de windkracht belangrijk groter en ook de duur van de wind. Daar de opwaaiing evenredig is met het kwadraat van de windkracht, neemt het effect belangrijk in betekenis toe. Weliswaar is de diepte groter, hetgeen tot lineair evenredige verkleining van de opwaaiing leidt, maar de eerstgenoemde effecten, die tot verhoging leiden, zijn veel belangrijker. De opwaaiing, welke zich evenredig ontwikkelt aan de strijklengte (dus aan de afstand van de monding), neemt in landwaartse richting toe, zoals figuur 3.1.3 duidelijk doet zien. Wij vinden een oplopen van de vloedhoogte van Burghsluis tot Bergen op Zoom:

bij gemiddeld H.W.	met 60 cm;
bij het grenspeil	met 90 cm;
bij een stormvloed als 1906	met 125 cm;
bij de stormvloed 1953	met 120 cm;
bij het basispeil ¹⁾	met 100 cm.

Voor al het sterker oplopen van de lijnen tussen Wemeldinge en Bergen op Zoom is opvallend. Door de uitgebreidheid van het wateroppervlak en de geringe luwwerking van de dijken tussen beide stations kunnen de windkrachten hier een belangrijke opwaaiing veroorzaken.

Wij zien dit verschijnsel in wat zwakkere mate ook op de Westerschelde (figuur 3.1.2), de Grevelingen (figuur 3.1.4) en het Haringvliet (figuur 3.1.5). Het wordt niet geconstateerd op de Rotterdamse

¹⁾ Dit is per definitie het peil met overschrijdingsfrequentie 10^{-4} . Zie verder deel 1.

Waterweg, doordat hier geen opwaaiing van betekenis optreedt. Hier zien wij een ononderbroken convergentie van de lijnen. Immers, de Rotterdamse Waterweg is een bankenloze, diepe, relatief smalle geul.

In het licht van het voorgaande kan de steeds toenemende steilheid van de overschrijdingslijn van Delfzijl (en daarbij aansluitende die van Nieuwe Statenzijl) van hoogwater tot iets voorbij het grenspeil ook aan dezelfde oorzaak worden toegeschreven.

Er is dus in dit opzicht tussen deze vijf groepen van overschrijdingslijnen overeenstemming. Overal krijgt, door de invloed van de opwaaiing, de overschrijdingslijn in de zone boven het grenspeil een opwaarts gebogen verloop.

Nu vertoont ook het Waddenzeestation Harlingen een overeenkomstig toenemend oplopen omstreeks het grenspeil. Het is aannemelijk, dat ook hier de additieve opwaaiing in het Waddengebied als oorzaak moet worden gezien. In verband hiermede wordt in figuur 5.0.2 de kromme, die verloopt langs de kustlijn (namelijk de Afsluitdijk en de dijken van Friesland, waaraan Harlingen is gelegen, en Groningen), wat hoger getekend dan de lijn langs de buitenzijde der eilanden.

Door de invloed van de afwaaiing aan de luwzijde van het eiland moet de steilheid van de lijnen te Terschelling iets geringer zijn dan die aan de zeezijde van het eiland. Hiermede is bij de constructie van de lijnen van figuur 5.0.2. rekening gehouden.

Als aanvullend bewijs voor de gegeven verklaring voor het opbuigen van de lijnen op de zeearmen zij gewezen op het afwezig zijn van dit versterkt oplopen bij de stations aan de gesloten duinkust, Scheveningen, Katwijk en IJmuiden (figuur 3.1.8). Voor Den Helder, waar de waterstanden gedeeltelijk afhankelijk zijn van die van het Waddengebied, is het versterkt omhoogbuigen weer duidelijk aanwijsbaar. De oorzaak zal wel dezelfde zijn als voor Terschelling, nl. het snel groter worden van het toestromingsprofiel vanuit de Noordzee, terwijl de ligging van Den Helder zodanig is, dat hier eerder opwaaiing dan afwaaiing zal optreden. De overschrijdingslijn van Den Helder zal dan ook steiler moeten verlopen dan die van Terschelling.

Toch gaat de divergentie van de overschrijdingslijnen voor opvolgende plaatsen langs de zeearmen niet onbeperkt voort bij toenemende waterstanden. Dit wordt in de volgende paragraaf behandeld.

6.4 Convergentie van de overschrijdingslijnen voor de zeer hoge standen

Het in de vorige paragraaf beschreven versterkte oplopen van stormvloed op de zeearmen met uitzondering van de Rotterdamse Waterweg, vindt een begrenzing. Het duidelijkst is ook hier weer de toestand op de Oosterschelde (figuur 3.1.3). De overschrijdingslijnen divergeren hier tot ongeveer $N = 5 \cdot 10^{-2}$. Voor nog hogere stormvloed zullen de overschrijdingslijnen minder sterk gaan oplopen, doordat door de steeds toenemende diepte de invloed van de opwaaiing relatief zwakker wordt. Weliswaar zullen bij nog zwaardere stormen de windkrachten groter kunnen zijn, maar het blijkt, dat de frequentie van het optreden van hogere snelheden op de zeearmen zeer klein wordt, o.a. doordat de wind toch in mindere of meerdere mate landoppervlak moet passeren. Deze zeer hoge stormvloed worden eerder veroorzaakt doordat de storm op zee langduriger wordt, terwijl de windkrachten niet belangrijk groter behoeven te zijn. Zo was bij de stormvloed 1953 de windsnelheid zelfs geringer dan bij andere stormvloed, die in de laatste 50 jaar zijn voorgekomen. Voorts moet worden opgemerkt, dat ook de krachten, die de voortplanting van de stormvloed bij zeer hoge waterstanden beheersen, meestal zwakker worden. Doordat alle ondiepe delen van de zeearm, van dijk tot dijk, onder water staan, neemt de komberging niet meer toe en worden bij de meeste stormen de snelheden in de omgeving van hoogwater door de toegenomen doorstromingsprofielen zelfs kleiner. Hierdoor worden ook de weerstandskrachten en traagheidskrachten kleiner. De invloed van de traagheidskrachten bij de hoogste waterstanden is echter veel groter dan die van de weerstandskrachten. Daar de traagheidskrachten de waterstanden verhogten en de weerstandskrachten deze verlagen, zal dus bij het kleiner worden van deze krachten de verlaging ten gevolge van de verkleining van de traagheidskrachten groter zijn dan de verhoging, die ontstaat door het kleiner worden van de weerstandskrachten. Het resultaat is, dat de hoogste waterstanden lager worden. Het analoge verschijnsel is aanwezig op Westerschelde, Grevelingen en Haringvliet, eveneens bij $N = 5 \cdot 10^{-2}$.

Zoals reeds gezegd, divergeren de lijnen voor de Rotterdamse Waterweg door de geringe additionele opwaaiing voor geen enkel interval. Doordat langs deze rivier opperwaterafvoer plaats heeft, wordt

het verloop van de overschrijdingslijnen mede hierdoor bepaald, hoewel voor hogere stormvloedstanden in mindere mate. Hetzelfde geldt voor het Haringvliet. Doordat hier evenwel de additionele opwaaiing van betekenis is, treedt het verschijnsel van de divergentie voor een beperkt interval wel op, hoewel in wat zwakkere mate dan op de andere zeearmen.

6.5 Gestrekt verloop van de overschrijdingslijnen in de monding

Bij de bespreking van de verzameling overschrijdingslijnen der zeearmen is reeds gebleken, dat de neiging tot opwaarts opbuigen voor bepaalde intervallen van de bovenwaterstanden een gevolg is van de additionele opwaaiing op de zeearm. Naar de monding toe neemt dit verschijnsel in grootte af. Derhalve zullen de nabij de monding gelegen plaatsen de meest gestrekte overschrijdingslijnen hebben. Daarom komen, ter wille van een goed inzicht, op de figuren 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5 en 3.1.9 ook de lijnen voor, welke geacht kunnen worden te gelden voor het hart van de monding. Deze lijnen blijken in algehele overeenstemming te zijn met de overschrijdingslijnen voor de vaste kust te Scheveningen, Katwijk en IJmuiden (figuur 3.1.8 en 5.0.1).

6.6 De invloed van de stormvloedstanden van 1953 op de vorm van de overschrijdingslijnen voor de zeearmen en het Waddengebied

De betekenis van de stormvloed 1953 voor de bepaling van de vorm van de overschrijdingslijnen berust op de aanvaardbare veronderstelling, dat de overschrijdingsfrequenties van de stormvloedstanden van 1953 voor alle stations op die zeearm ongeveer gelijk zijn aan die in de mondingen, welke zijn aangegeven in figuur 6.1.1.

Aangezien de windsnelheden, die voorgekomen zijn bij de stormvloed 1953, relatief laag waren in vergelijking met windsnelheden bij andere voorgekomen lagere stormvloedstanden, is het geoorloofd om te veronderstellen, dat de overschrijdingsfrequenties van 1953 voor meer landwaarts gelegen stations wat groter zullen zijn dan aan de mondingen het geval is geweest. Immers, een wat lagere stormvloed aan de kust en hogere windkrachten kunnen binnenwaarts dezelfde stormvloedstanden als in 1953 veroorzaken.

Op de figuren 3.1.2 tot en met 3.1.6 zijn de overschrijdingsfrequenties van 1953 uit figuur 6.1.1 op de overschrijdingslijnen voor de respectieve mondingen van de zeegaten aangegeven. In de desbetreffende verticaal zijn de waargenomen stormvloedhoogten uitgezet. De overschrijdingslijnen zijn vervolgens op zodanige wijze geëxtrapoleerd, dat de ingetekende stormvloedhoogten t.o.v. de overschrijdingslijnen goed gelegen zijn. (Nadere opmerkingen hierover komen hieronder ter sprake.) Door deze werkwijze worden de overschrijdingslijnen op elke zeearm reeds tot $N = 10^{-2}$ à 10^{-3} ten opzichte van de overschrijdingslijnen in de mondingen nader bepaald. Dit betekent:

voor de *Westerschelde* (figuur 3.1.2), dat de divergentie van de overschrijdingslijnen, die in 6.3 besproken is, zich bij een stormvloedhoogte als 1953 niet verder voortzet. Voor hogere stormvloedstanden zal geleidelijk weer convergentie optreden (zie 6.4);

voor de *Oosterschelde* (figuur 3.1.3) is de overschrijdingsfrequentie van de hoogwaterstanden 1953 gesteld op 0,0035.

De overschrijdingslijn van Burghsluis heeft dan een zeer gestrekt verloop, een weinig omhoog gebogen in overeenstemming met het behandelde in 4.0. Noodzakelijk moet volgens 6.5 de lijn van Bergen op Zoom weer gaan convergeren naar die van Burghsluis, zodat dan de divergentie van de lijnen, besproken in 6.3, zich niet verder voortzet. Voor Wemeldinge geldt hetzelfde in evenredig zwakkere mate.

In verband met de relatief lage windsnelheid, die bij de stormvloed van 1953 is voorgekomen, is de hoogwaterstand te Bergen op Zoom bij de aangehouden overschrijdingsfrequentie voor 1953, ongeveer 10 cm hoger gesteld en te Wemeldinge ongeveer 5 cm. Immers, in 6.3 is gebleken, dat de opwaaiing op het grote wateroppervlak van de Oosterschelde van belangrijke betekenis is. Op de Westerschelde en de andere zeearmen is deze van minder betekenis.

Het verloop van de overschrijdingslijnen voor nog lagere overschrijdingswaarden is zo getekend, dat zij evenwijdig lopen. De convergentie kan wat sterker of zwakker verlopen, doch hieromtrent bestaat vooralsnog geen aanwijzing. Doch een sterk afwijkend beloop leidt al spoedig tot fysisch onbestaanbare verhoudingen.

Voor de *Grevelingen* worden de overschrijdingslijnen nader bepaald door waterstanden van 1953 met de overschrijdingswaarde 0,035 (figuur 6.1.1). Ook hier vormen deze punten het einde van de divergentie en het begin van de convergentie van de overschrijdingslijnen.

Voor het *Haringvliet* kunnen de lijnen van Hellevoetsluis en Willemstad door het punt 1953 gaan. Op deze zeearm moeten de overschrijdingslijnen eveneens een weinig convergerend worden getekend om 1953 te doen passen. Daar het corresponderende punt voor 1953 te Moerdijk laag ligt, moet de lijn van Moerdijk vrij sterk naar rechts afbuigen om aan het punt 1953 aan te sluiten. Dit voert tot een kruising van de lijnen van Moerdijk en Hellevoetsluis, analoog aan de kruising der lijnen in figuur 3.1.6 voor de Rotterdamse Waterweg.

Volgens 6.2 is het verloop te Moerdijk een gevolg van de komvulling van de Biesbos en van het Hollands Diep, dat een karakter heeft analoog aan dat van de Rotterdamse Waterweg. Voorts is de opwaaiing op het Hollands Diep van minder betekenis dan op het Haringvliet.

Op de *Rotterdamse Waterweg* lopen de standen naar binnen toe omlaag. Daarvoor zijn, naast de zojuist genoemde, twee oorzaken aan te wijzen. De stormvloed op de Rotterdamse Waterweg ondervindt bij haar voortplanting de invloed van de oppervlaktewaterafvoer en mede hierdoor is er een relatieve verlaging van de hoogwaterstanden, zoals ook bij het getij het geval is. Voorts is de opwaaiing op de Rotterdamse Waterweg zelf van geringe betekenis. Beide factoren tezamen veroorzaken het geschetste verloop van de overschrijdingslijnen op de Rotterdamse Waterweg.

Langs de *Hollandse kust* gaat de lijn van Hoek van Holland precies door het punt 1953. De lijnen van Scheveningen, Katwijk, IJmuiden en Den Helder vertonen in figuur 6.1.1 geringe afwijkingen naar verschillende richtingen. De bedragen zijn echter te gering om er nadere conclusies ten aanzien van de extrapolatie aan te kunnen verbinden.

Verder naar het noorden hebben de hoogten 1953 geen betekenis meer voor de constructie van de overschrijdingslijnen bij hogere waarden.

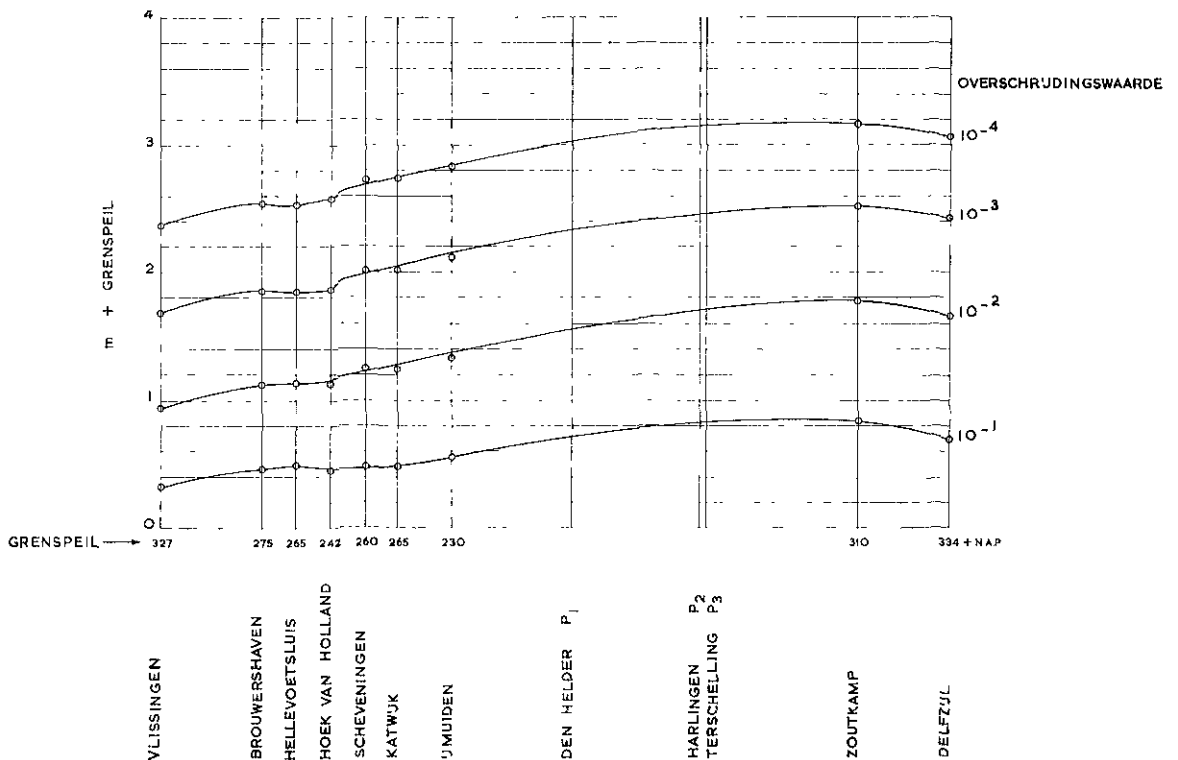
De overschrijdingslijnen op elke zeearm zijn hier opgebouwd en gepresenteerd als een bundel lijnen, die in ordelijk verband staan. Dit is uiteraard niet geheel conform de werkelijkheid. Zo zal een station als Vlissingen of Hansweert, aan de bovenwindse wal gelegen, een flauwere overschrijdingslijn moeten hebben dan Terneuzen. De „ware” overschrijdingslijnen zullen daardoor wat onregelmatiger ten opzichte van elkaar lopen. Er bestaan echter hoegenaamd geen aanwijzingen omtrent de getalsgrootte dezer plaatselijke verschillen en daarom is er van afgezien om ze in de lijnen tot uitdrukking te brengen.

Dat de waarnemingen van 1953 niet alle op de lijnen vallen, kan dus aan zes mogelijke oorzaken worden toegeschreven:

1. Het verloop van de hoogwaterstanden bij een peilschaalstation wordt ook beïnvloed door de plaatselijke topografie. (De overschrijdingslijnen zijn uiteraard „gestyleerde lijnen”).
2. In sommige hoogtecijfers kan een waarnemingsfout voorkomen.
3. De waterstanden zijn plaatselijk mede beïnvloed door buien, translaties en terugkaatsingen.
4. De gelijkheid van de overschrijdingswaarde van de stormvloed 1953 voor een zeearm is een werkhypothese.
5. Ongelijke grootte van de kracht van Coriolis.
6. Ongelijke waarden van de additionele opwaaiing overdwars.

7.0 DE OVERSCHRIJDINGSLIJNEN VOOR DE WESTELIJKE WADDENZEE

De afsluiting van de Zuiderzee in 1932 heeft een aanzienlijke wijziging teweeggebracht in de hoogten van het hoogwater en in het bijzonder van de stormvloeden in de westelijke Waddenzee. Voor de thans geldende toestand staan slechts waarnemingen ter beschikking van 1932 af. Deze termijn is te kort om betrouwbare overschrijdingslijnen te kunnen bepalen. Daarom werd voor dit gedeelte een andere werkwijze toegepast. Uitgaande van de onveranderde stations aan de kust ten zuiden en ten noordoosten van de Waddenzee, werden voor de hoogten met de overschrijdingsfrequentie 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} en 10^{-4} vloeiend verlopende lijnen langs de kust vastgesteld (figuur 7.0.1). Voor de Waddenzeestations Den Helder, Harlingen en Terschelling werden daarna op dit diagram geïnterpoleerde hulphoogten afgelezen.



Figuur 7.0.1. Verloop van de waterhoogten met gelijke overschrijdingswaarde langs de kust

Hetzelfde procédé werd toegepast op alle stormvloed na 1932. De hierbij gevonden hulphoogten werden rechtstreeks vergeleken met waargenomen hoogten. Aldus kon voor iedere storm het verschil tussen hulphoogten en waargenomen hoogten worden vastgesteld. Met het hieruit bepaalde gemiddelde verschil werden de voor de frequenties 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} en 10^{-4} bepaalde hulphoogten gecorrigeerd. De aldus gecorrigeerde hoogten konden worden geacht gelijkwaardig te zijn aan de voor de peilschaal zelf geldende hoogten met frequenties 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} en 10^{-4} . Van deze punten is gebruik gemaakt om de overschrijdingslijnen voor de drie voornoemde Waddenzee stations te construeren. Van de overige Waddenzee stations zijn de vereiste gegevens afgeleid uit de drie hoofdstations door middel van interpolaties en betrekkinglijnen. Voor een uitvoeriger beschrijving van de gevolgde werkwijze en de hicraan voorafgaande studies wordt verwezen naar [4] en [9].

Het karakteristieke van de hier toegepaste methode is, dat geen gebruik is gemaakt van de stormvloed van vóór 1932, zodat geen correctie behoefde te worden toegepast. Voorts is niet gewerkt met een te korte periode om overschrijdingswaarden te berekenen, doch is door interpolatie langs de kust de termijn van 88 jaar, die voor de andere stations beschikbaar was, van kracht geworden.

8.0 RECHTVAARDIGING VAN DE EXTRAPOLATIE

Bij het extrapoleren van de overschrijdingslijnen worden belangrijk hogere waterstanden in beschouwing genomen dan tot nu toe zijn waargenomen. Ter ondersteuning van de stelling, dat met de mogelijkheid van voorkomen van dergelijke hogere standen wel degelijk rekening moet worden gehouden, kunnen de volgende overwegingen dienen.

De hoogste tot nu toe waargenomen stormvloedhoogte te Hoek van Holland is die van 1 februari 1953 met N.A.P. $+ 385$ cm.

De voorspelde hoogte van het astronomisch getij was N.A.P. $+ 90$ cm. Er was dus een opzet van 295 cm. Op andere plaatsen langs de kust is op 1 februari 1953 een stormeffect bere-

kend van 340 cm. Er is geen reden om te veronderstellen, dat een zelfde waarde niet te Hoek van Holland zou kunnen optreden. Evenmin is er grond om het samenvallen van een dergelijk stormeffect met een hoger astronomisch getij uit te sluiten.

Op 18 januari 1953 was bijvoorbeeld de hoogte van het astronomisch getij N.A.P. + 125 cm. Een combinatie hiervan met het hoogste voor 1 februari 1953 berekende stormeffect zou leiden tot een vloedhoogte te Hoek van Holland van N.A.P. + 465 cm, dus 80 cm hoger dan de waargenomen stand.

In de meteorologie zijn windvelden bekend, die sterker en langduriger stormen boven de Noordzee hebben veroorzaakt dan in 1953 het geval was. Zij zijn zeldzaam en zijn tot nu toe of te zuidelijk of te noordelijk over de Noordzee getrokken om tot een maximale verhoging van de waterstanden voor onze kust te leiden. Bij een ongunstiger baan van een dergelijk windveld – en er is wederom geen grond om dit uit te sluiten – moet een stormeffect van 500 cm mogelijk worden geacht ¹⁾.

Bij het samentreffen van een dergelijk uitzonderlijk stormeffect met het astronomische hoogwater kan door wisselwerking enige reductie ontstaan, waardoor de waterstand lager blijft dan uit de sommeer zou volgen. Dit is blijkens de waarnemingen het geval in het landwaartse gedeelte van de zeearmen. Het is echter ook mogelijk, dat een versterking optreedt, zoals het geval is in de Waddenzee.

Voor de aan de eigenlijke kust gelegen stations is de invloed van de wisselwerking bijna overal gering, zodat deze voor de onderhavige globale oriëntering buiten beschouwing kan worden gelaten. In dat geval kan de combinatie van een astronomisch hoogwater van N.A.P. + 125 cm en een stormeffect van 500 cm leiden tot een stormvloedhoogte te Hoek van Holland van N.A.P. + 625 cm. Dit is reeds 125 cm hoger dan de stand met een overschrijdingswaarde van 10^{-4} (figuur 3.1.6).

Er moet dus zeker worden aangenomen, dat de waterstanden in het in beschouwing genomen geëxtrapoleerde gedeelte van de overschrijdingslijn in het gebied van de fysische mogelijkheden liggen.

Wat betreft het verloop van de overschrijdingslijnen in het geëxtrapoleerde gedeelte zij aanvullend nog opgemerkt, dat een licht naar rechts ombuigen voor de meer landwaarts gelegen stations onvermijdelijk is te achten. Immers, indien standen van meer dan N.A.P. + 5 m in de Oosterschelde en van N.A.P. + 6 m in de Dollard een voorkomen zouden hebben van meer dan eens per eeuw, dan zouden er sinds de middeleeuwen verscheidene rampen van onvoorstelbare omvang moeten zijn opgetreden in genoemde gebieden. Dit is niet het geval, zodat uit dien hoofde een gebogen overschrijdingslijn moet worden aangenomen voor standen met een frequentie, hoger dan 10^{-1} à 10^{-2} . Wat voor Oosterschelde en Eems sterk geprononceerd is, geldt min of meer ook voor de westelijke Waddenzee en voor de andere zeearmen in het zuidwesten.

De voorgaande beschouwingen bevatten dus elementen, die een veel steiler lopen van de overschrijdingslijnen min of meer uitsluiten, en anderzijds elementen, die een aanmerkelijk vlakker verloop uitsluiten. Juist door de noodzakelijke onderlinge samenhang, die er tussen de 33 geproduceerde overschrijdingslijnen bestaat, is de vrijheid van extrapolatie van elke lijn afzonderlijk beperkter geworden. Dienovereenkomstig is de waarschijnlijkheid, dat de extrapolatie van dit complex van overschrijdingslijnen in grote trekken juist is, groter dan voor de extrapolatie van slechts één enkele overschrijdingslijn.

Dat de extrapolatie van de overschrijdingslijn van Hoek van Holland, die als solitair geval tot uitgangspunt van het gehele complex lijnen heeft gediend, daarin op zo ongekunstelde wijze zijn plaats kan innemen en handhaven, verhoogt ongetwijfeld de waarde, die men aan deze lijn kan toekennen ²⁾.

9.0 AEQUIVALENTE STORMVLOEDSTANDEN

In 6.1 werd een onderzoek ingesteld naar het verloop van de stormvloed van 1 februari 1953 langs de Nederlandse kust. Aan de hand van figuur 7.0.1 werd aangetoond, dat deze stormvloed zijn relatief grootste hoogte bereikte omstreeks Schouwen. Naar het noorden gaande, nam de stormvloedhoogte relatief af. Ter plaatse van zijn grootste relatieve hoogte was de overschrijdingsfrequentie aan de kustlijn $3,3 \cdot 10^{-3}$. Men kan nu met behulp van de overschrijdingslijnen gemakkelijk aangeven, welke storm-

¹⁾ Zie ook Bijdrage I.

²⁾ Op de noodzaak van extrapolatie en het rekenen met kleine kansen wordt in Bijdrage III.3 uitvoeriger ingegaan.

vloedhoogten aan andere delen van de kust een zelfde overschrijdingsfrequentie hebben. Deze stormvloedhoogten zijn opgenomen in kolom 9 van tabel 9.0.1 en aangeduid als „overeenkomstige stormvloedstanden 1953” of afgekort O'53. De betekenis van deze cijfers is, dat zij ons een inzicht verschaffen in de stormvloedhoogten, die zullen worden bereikt aan andere delen van de kust, indien een stormvloed met een zelfde kans van optreden als die van 1 februari 1953 aldaar zijn aanval doet. Tabel 9.0.2 geeft de desbetreffende cijfers voor enige hoofdpunten.

Tabel 9.0.1
Aequivalente waterhoogten

Overeenkomstige stand te Hoek van Holland. .	530 +	515 +	500 +	485 +	470 +	455 +	440 +	Grens- peil	O'53	Storm- vloed 1953
Overschrijdingswaarde .	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	0,5	$3,3 \cdot 10^{-3}$	voorge- komen
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mond Westerschelde. F	590	575	560	545	530	515	500	315	450	—
Cadzand	610	595	580	565	550	535	520	340	470	475
Breskens	615	600	585	570	555	540	525	335	475	480
Vlissingen F	595	580	565	550	535	520	505	327	455	455
Zuid-Kraaijert	605	590	575	560	545	530	515	340	470	470
Hoofdplaat	620	605	590	575	560	545	530	345	485	485
Borsele	610	595	580	565	550	535	520	335	470	470
Ellewoutsdijk	615	600	585	570	555	540	525	345	475	475
Terneuzen F	620	605	590	575	560	545	535	355	485	496
Hoedekenskerke	635	620	605	590	575	560	545	355	495	490
Hansweert F	640	625	615	600	585	570	555	365	515	507
Waarde	650	635	625	610	595	580	565	370	520	515
Walsoorden	665	650	640	625	610	595	580	375	530	525
Bath F	680	670	660	645	630	615	605	405	560	560
Hedwigpolder	675	665	655	640	625	610	595	395	545	543
Antwerpen	685	675	665	650	635	620	605	420	555	553
Westkapelle	575	560	545	530	515	500	485	305	435	435
Mond Oosterschelde. F	550	535	520	505	490	475	460	275	415	—
Burghsluis F	555	540	525	510	495	480	465	275	420	420
Vere	580	565	550	535	520	505	490	300	445	450
Vlietepolder	565	550	535	520	505	490	475	285	430	435
Colijnsplaat	570	555	540	525	510	495	480	285	435	445
Zierikzee F	570	555	540	525	510	495	480	290	435	432
Kortgene	580	565	550	535	520	505	490	300	445	454
Goese Sas	595	580	565	550	535	525	510	315	465	465
Stavenisse	585	570	555	540	525	510	495	305	450	450
Gorishoek	615	600	585	570	555	540	525	340	475	470
Wemeldinge F	615	600	585	570	555	540	525	330	475	468
Bergen op Zoom . . . F	655	640	625	615	600	585	570	365	530	517
Tholen	640	625	610	600	585	570	555	360	515	481
Mond Grevelingen . F	540	525	510	495	480	465	450	260	400	—
Oude Hoeve	540	525	510	495	480	465	450	250	400	410
Repart	545	530	515	500	485	470	455	265	405	418
Ouddorp	555	540	525	510	495	480	465	275	415	420
Brouwershaven . . . F	560	545	530	515	500	485	470	275	425	425
Bruinisse F	585	570	555	540	525	510	495	315	450	450
Steenbergse Sas . . . F	600	585	570	555	540	525	510	320	465	465
Dintelsas	590	575	560	545	530	515	500	320	455	455
Ooltgensplaat	575	560	545	530	515	500	485	305	440	440
Mond Haringvliet . . F	535	520	505	490	475	460	445	250	400	—
Goederede	545	530	515	500	485	470	455	260	410	405
Hellevoetsluis F	550	535	520	505	490	475	460	265	415	410
Middelharnis	555	540	525	510	495	480	465	275	420	417
Tiengemeten	570	555	540	525	510	495	485	300	440	435
Numansdorp	565	550	535	520	505	490	480	295	435	430
Willemstad F	570	555	540	525	510	495	485	300	445	435
Moerdijk F	535	520	510	495	485	475	460	290	425	410

Overeenkomstige stand te Hoek van Holland . .	530 :	515 :	500 +	485 +	470 +	455 +	440 +	Grens- peil	O'53	Storm- vloed 1953
Overschrijdingswaarde .	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	0,5	$3,3 \cdot 10^{-3}$	voorge- komen
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dordrecht	495	480	470	455	440	425	410	275	375	373
Puttershoek	500	485	475	460	445	430	415	275	380	375
Goidschalxoord	505	490	480	465	450	435	420	265	385	380
Poortugaal	500	485	475	460	445	430	415	260	380	378
Spijkenisse	495	480	470	455	440	425	410	255	375	367
Oud-Beijerland	505	490	480	465	450	435	420	265	385	388
Zuidland	525	510	500	485	470	455	440	275	405	405
Alblasserdam	500	485	475	460	445	430	415	270	375	371
's-Gravendeel	510	495	485	470	460	445	425	275	390	385
Willemsdorp	525	510	500	485	475	465	450	285	415	405
Hoek van Holland . . . F	530	515	500	485	470	455	440	242	395	385
Maassluis F	510	495	485	470	455	440	430	240	385	375
Vlaardingen F	505	490	480	465	450	435	420	250	380	371
Rotterdam F	505	490	480	465	450	435	420	255	380	375
Krimpen aan de Lek . . .	505	490	480	465	450	430	415	260	375	371
Scheveningen F	565	550	535	520	505	485	470	260	420	397
Katwijk F	570	555	540	525	510	495	480	265	430	405
IJmuiden F	540	525	515	500	485	470	455	230	400	385
Den Helder F	535	520	505	490	475	460	445	215	395	325
Westerland	605	590	575	560	545	530	515	245	465	363
Den Oever	615	600	585	570	555	540	525	255	475	370
Kornwerderzand	620	605	590	575	560	545	530	275	480	373
Harlingen F	610	595	580	565	550	535	520	273	470	366
Nieuw-Bildt	595	580	565	550	535	520	505	270	455	360
Oostmahorn	605	595	580	570	555	545	530	300	485	420 ¹⁾
Nieuwe Zijlen	620	610	595	585	570	560	545	300	500	430 ²⁾
Zoutkamp F	655	640	625	615	600	585	570	310	525	445 ³⁾
Delfzijl F	665	655	640	625	615	600	585	334	540	460 ³⁾
Fiemel	680	670	660	650	640	630	615	360	570	350
Nieuwe Statenzijl . . . F	710	700	690	680	670	655	640	370	595	541 ⁴⁾
Oude Schild	550	535	520	505	490	475	460	230	410	332
Vlieland	550	535	520	505	495	480	465	250	420	316
Terschelling F	555	545	530	515	500	485	470	245	420	318
Nes	585	575	560	545	530	515	500	270	455	356 ¹⁾
Schiermonnikoog	590	580	565	550	535	525	510	280	465	400 ¹⁾
Rottumeroog	595	585	570	555	545	535	525	310	485	420 ⁵⁾
Monding Eems F	615	605	590	575	560	545	530	300	480	

F -- overschrijdingslijnen in de figuren 3.1 2 t/m 3.1.9. ¹⁾ In 1906. ²⁾ In 1944. ³⁾ In 1825. ⁴⁾ In 1877. ⁵⁾ In 1916

Tabel 9.0.2
Vergelijking van O'53 met de in 1953 waargenomen standen

Waarnemingsstations	In 1953 werkelijk opgetreden stormvloedhoogte in cm boven N.A.P.	O'53 in cm boven N.A.P.	Achtergebleven in 1953, in cm
Vlissingen	455	455	0
Brouwershaven	425	425	0
Hoek van Holland	385	395	— 10
Rotterdam	375	380	— 5
Den Helder	325	395	— 70
Harlingen	366	470	— 104
Delfzijl	460 ¹⁾	540	— 80 ¹⁾

¹⁾ Hoogst bekende stand aldaar (1825).

Uit de derde kolom van tabel 9.0.2 spreekt duidelijk hoezeer de waterstanden in het noorden des lands achterbleven bij die, welke, wat overschrijdingskans betreft, overeenkomen met die in het rampgebied.

Aflezings der overschrijdingslijnen voert tot de in tabel 9.0.1 weergegeven aequivalente hoogten. Als uitgangspunt heeft gediend Hoek van Holland, waar de peilen 530, 515, 500, 485, 470, 455 en 440 zijn genomen. Daarbij is de overschrijdingsfrequentie afgelezen en vervolgens is afgelezen welke hoogten bij deze overschrijdingsfrequenties behoren in alle overige stations. De overschrijdingsfrequenties hebben dus slechts gediend als parameter.

Het eventueel minder juist zijn dezer overschrijdingsfrequenties zal slechts in onbelangrijke mate invloed hebben op de in deze tabel weergegeven hoogten. Volledigheidshalve zijn in deze tabel in kolom 10 mede opgenomen de stormvloedstanden, opgetreden 1 februari 1953, en in kolom 9 de standen O'53, zijnde de standen, die aan de diverse peilmeetstations een zelfde overschrijdingswaarde hebben als die bij de stormvloed 1953 te Brouwershaven worden waargenomen, nl. $3,3 \cdot 10^{-3}$. Ten slotte is in kolom 8 het grenspeil, dat ook in alle figuren voorkomt weergegeven. De stations, waarvan overschrijdingslijnen zijn opgesteld, zijn in de tabel gemerkt met de letter F.