

Beschouwingen naar aanleiding van de "gekozen stormvloedstanden" in het voorloopig rapport van de commissie inzake stormvloeden op de benedenrivieren.

Bij een bespreking over de kruinhoogten, die de nieuwe dijken langs den zuidelijken oever van het Hollandsch Diep zouden moeten verkrijgen met het oog op de gekozen stormvloedstanden en de daarbij te verwachten golfoploop, werd mij door den Provincialen Waterstaat van Noordbrabant de vraag gesteld, welke veiligheid de dijken nog zouden bieden, wanneer op een lager stormvloedpeil zou worden gerekend.

Deze vraag kon niet worden beantwoord, zonder dat ik kennis had genomen van de wijze, waarop de "gekozen stormvloedstanden" waren berekend. Op mijn verzoek stelde de voorzitter van de stormvloedcommissie, ir. D.A. van Heyst, een exemplaar van het voorloopig rapport tot mijn beschikking.

Uit dit rapport blijkt, dat voor elke plaats een correctie wordt aangebracht voor eventueel uit te voeren waterstaatswerken (voornamelijk inpolderingen), die een verhoogenden invloed op den stormvloedstand uitoefenen. De grootte van deze correcties wijkt niet veel af van wat van andere zijde is berekend; zij worden in het volgende overgenomen.

Een tweede correctie is noodig voor de geleidelijke daling van het land ten opzichte van den zeespiegel. Ook deze correctie, gesteld op 0,2 cm per jaar, wordt in het volgende aangehouden. Het is de waarde die, volgens onze tegenwoordige kennis, als de meest waarschijnlijke geldt.

^{op een bepaalde plaats waar-}
Om de genomen stormvloedhoogten onderling te kunnen vergelijken, zijn ze herleid tot één bepaald jaar. Voor zoover mij bekend was deze, juiste, wijze van doen nog niet toegepast.

Welk jaar voor de reductie wordt gekozen is onverschillig; hier is gereduceerd op 1868, dat is het begin van het vijftigjarig tijdvak waarvoor de waarnemingen zijn beschouwd. Van iederen waargenomen stormvloedstand is dus voor elk jaar, dat hij na 1868 voorkwam, twee millimeter afgetrokken.

500 17

Omtrent de gekozen standen is in het rapport vermeld, dat als basis is genomen het peil, waarvoor een vijfde kans bestaat, dat het in een eeuw zal worden bereikt. Uit de waarnemingen moet worden afgeleid, welk peil dit is. Men kan het ook definieeren als het peil, dat gemiddeld eens in de 448 jaar wordt bereikt.

Om dit peil voor een plaats te vinden, worden de herleide stormvloedhoogten gerangschikt naar hun hoogte. Vervolgens wordt er een frequentiediagram van gemaakt. De eene coördinaat van een dergelijk diagram is de waterhoogte, de andere de frequentie per jaar. In een vijftigjarig tijdvak wordt de hoogst waargenomen waterstand uitgezet bij 1:50 per jaar = 0,02; de in hoogte daarop volgende bij 2:50 per jaar = 0,04, de derde bij 3:50 per jaar = 0,06 en zoo voorts. De lijn die de zoo verkregen punten verbindt is de frequentielijn.

Zou men geen bijzondere voorzorgen nemen, dan zou dit diagram onbruikbaar zijn, omdat de kleine frequenties zeer dicht bij elkander zouden liggen. Men zou dan geen gevolgtrekkingen kunnen maken over nog kleinere frequenties. Om dit te kunnen doen, moeten de frequenties worden uitgezet volgens een schaal, die het gebied van de kleine frequenties sterk vergroot weergeeft. Daarvoor komen vooral twee schalen in aanmerking: de waarschijnlijkheidschaal en de logarithmische.

Bij toepassing van de waarschijnlijkheidschaal wordt de frequentiekromme van een verschijnsel, dat wordt beheerscht door een groot aantal, van elkander onafhankelijke, oorzaken, een rechte lijn. Een stormvloedhoogte wordt veroorzaakt door een beperkt aantal oorzaken (bijv. ouderdom, declinatie, parallax van de maan, wind op onze kust en op grooten afstand, tijdsverschil tusschen astronomisch hoogwater en sterksten wind; voor de rivieren ook de opperwaterafvoer), die bovendien niet onafhankelijk van elkander zijn. Het is dus niet noodig dat de frequentielijn van stormvloedhoogten in een waarschijnlijkheidsdiagram recht wordt.

Evenmin is dit het geval bij een logarithmische schaal, die is gebruikt in het rapport van de stormvloedcommissie, evenals in het aangehaalde artikel van ir. Wemelsfelder.

Zelfs de frequentielijn van het door veel onafhankelijke oorzaken bepaalde verschijnsel is bij deze schaal niet recht, maar gekromd (bij de groote frequenties sterk, bij de kleine frequenties flauw).

De punten, waardoor de frequentielijn moet worden getrokken, gaan bij de vijftigjarige waarnemingsperiode niet verder dan tot de frequentie 1:50. De lijn moet zoo goed mogelijk door deze - uiteraard eenigszins gestrooide - punten worden getrokken en daarna geëxtrapoleerd naar 1:448.

Bij het trekken en extrapoleeren kan een zekere mate van willekeur niet worden vermeden. Het moet zorgvuldig geschieden en het resultaat zal dan nog voor den één iets afwijken van dat, wat door een ander wordt verkregen.

In het stormvloedrapport is door de punten een rechte lijn getrokken (bijlage 6); uit het verlengde van deze lijn zijn de peilen van het rapport afgeleid. Deze peilen wijken weinig af van die, welke in het rapport zijn aangegeven voor 20 % voorkomen (80 % veiligheid) per eeuw, n.l. in bijlage 7 en in de bovenste tabel op blz. 29. Vergelijkt men de getallen in de kolom voor 80 % van deze tabel met de uitkomst van de extrapolatie in bijlage 7 tot de frequentie van 0,00223 maal per jaar, dan vindt men:

	tabel	bijlage 6	
Hoek van Holland	+ 380	+ 375	cm
Krimpen a/d Lek	385	370	
Dordrecht	410	400	
Hellevoetsluis	415	410	
Willemstad	480	495	
Moerdijk	480	465	

De verschillen worden ten deele verklaard door de omstandigheid, dat de tabel voor 1935 geldt, dus 47 jaar later dan bijlage 6, zoodat de niveaus rond 10 cm hooger moeten zijn. Verder zijn voor sommige plaatsen kleine correcties voor tussehen 1888 en 1935 uitgevoerde waterstaatswerken aangebracht en de oorzaak van het overblijvende verschil is, dat de linker figuur van bijlage 7 niet volkomen overeenstemt

met bijlage 6, waaruit zij is afgeleid.

Hoe dit zij, de peilen, die een kans van een vijfde per eeuw zouden hebben, zijn gebaseerd op het feit, dat in bijlage 6, een logaritmisch frequentiediagram, rechte lijnen zijn getrokken. (Eenige lijnen in dit diagram vertoonen een knik, waarvan de beteekenis in het rapport niet wordt vermeld. Deze knikken komen voor bij tamelijk hoge frequenties en zijn daarom op de uitkomsten niet van invloed).

Beschouwt men de punten in het diagram nader, dan kan men zich niet onttrekken aan den indruk, dat zij systematische afwijkingen ten opzichte van de er doorheen getrokken lijnen vertoonen. Vooral voor Krimpen en Hellevoetsluis liggen tusschen de frequenties 0,05 en 0,5 per jaar de punten bijna alle boven (rechts van) de lijn. Ook voor Hoek van Holland en voor Dordrecht is dit, hoewel in mindere mate, het geval. De punten voor de kleinste waargenomen frequenties daarentegen liggen meestal onder (links van) de lijn. Het gevolg is dat de punten beter kunnen worden benaderd door een gebogen lijn dan door de getrokken rechte. Wordt deze gebogen lijn verlengd naar de kleinere frequenties, dan komt men daarvoor tot lagere waterstanden dan bij het volgen van de in het rapport geteekende rechten.

Dit is ook niet verwonderlijk.

De verschillende factoren, die een stormvloedpeil beheerschen zijn niet van elkander onafhankelijk: zij beïnvloeden elkander en wel zoodanig, dat zij elkander tegenwerken. Een voorbeeld daarvan is in het rapport reeds gegeven (blz. 15), daar vermeld is, dat de rijzing van het niveau tengevolge van hoog opperwater tijdens stormvloed kleiner is dan bij normale zeestanden. De reden, grootere profielen, ligt voor de hand.

Evenzeer zal het windeffect, vooral in binnenzeeën, zee-armen en benedenrivieren zich tijdens springtij niet zoo volledig kunnen ontwikkelen, als bij doodtij. Hier is de reden de grootere waterverplaatsing, die bij springtij reeds geschiedt en die de wrijvingsweerstand vermeerderd van de stroommen, die door den wind worden veroorzaakt. Hiermede in verband staat het feit, dat de waterstand bij een springtij

*hoe kan men
deze afwijkingen
verklaren?*

*Lege magnum
niets*

Lege niets

*deze punten zijn
gevoeliger vast.*

moes

sneller naar hoogwater stijgt en daarna weer sneller valt dan bij dooðtij. Er is dus minder tijd beschikbaar voor het zich ontwikkelen van een sterke opwaaiing.

Dit alles maakt, dat de kans op het bereiken van zeer hoge standen kleiner moet zijn dan het geval zou zijn, wanneer het stormvloedpeil zou worden veroorzaakt door een groot aantal onderling onafhankelijke oorzaken, m.a.w. in een frequentiediagram met waarschijnlijkheidschaal is de lijn gebogen. In een diagram met logaritmische schaal moet dit in nog iets sterker mate het geval zijn (dit volgt n.l. uit de eigenschappen van deze schaalverdelingen).

De extrapolatie in bijlage 6 van het rapport is dus vermoedelijk niet juist.

Om dit nader te onderzoeken heb ik de frequentielijnen van de zes beschouwde plaatsen in een diagram met waarschijnlijkheidschaal geteekend. De gedeelten met frequenties groter dan 0,1 per jaar zijn uit het rapport overgenomen; met de kleinere frequenties was dit niet mogelijk, omdat die niet volledig zijn aangegeven. Deze zijn ontleend aan het stormvloedverslag 1916; de allerhoogste standen na 1860 zijn daarin aangegeven. Bovendien is de eenige stormvloed van deze groep na 1916, namelijk die van 1928, opgenomen. De vijf hoogste zijn verzameld in onderstaande tabel; ook de in 1825 waargenomen peilen zijn daarin vermeld. De standen zijn voor de zeespiegelrijzing gereduceerd op 1888.

Volgnr.	Hoek van Holland		Krimpen a/d Lek		Dordrecht		Hellevoetsluis		Willemstad		Moerdijk	
	Hoogte	Jaar	Hoogte	Jaar	Hoogte	Jaar	Hoogte	Jaar	Hoogte	Jaar	Hoogte	Jaar
5	288	1928	297	1928	319	1928	315	1883	353	1906	347	1889
4	293	1906	298	1889	320	1894	321	1906	354	1911	352	1894
3	293	1877	300	1894	322	1889	322	1928	356	1916	353	1911
2	294	1916	311	1906	323	1906	327	1916	358	1928	354	1916
1	327	1894	329	1916	337	1916	345	1894	361	1894	363	1928
1825	-	-	-	-	341	-	319	-	366	-	347	-

Voor de grotere frequenties moet men op andere publicaties terugrijpen (V.O.W. of de jaarboeken der waterhoogten), doch de hoeveelheid daaraan verbonden werk is voor het doel te groot. Voor Dordrecht en Willemstad, waar de storm-

*in de opwaaiing
op de sande velden*

*N.B.!
Lage wel?*

*Over. May de andere
Stormvloed-rijzen
kiet bezogden met
de me mone*

vloedverslagen den storm van 1825 als hoogst bekende waterstand noemen, is bovendien het bij dien storm bereikte peil bij de frequentie 1:100 geplaatst. Wellicht is voor deze plaatsen de stand van 1825 voldoende nauwkeurig bekend om dit te rechtvaardigen.

Het resultaat is te zien op de hierbij gevoegde figuur, waarin ook de lijnen zijn aangegeven, die met die van bijlage 6 uit het rapport overeenkomen. Het verschil is duidelijk: voor de frequentie van 1/5 per eeuw zijn de waterstanden 30 tot 120 cm lager dan volgens het rapport. De stand van + 495 cm te Willemstad, die met behulp van de rechte lijn is gevonden (verder in het rapport wordt niet deze stand doch een 25 cm lagere aangehouden), zou een waarschijnlijkheid hebben van eens in vele miljoenen jaren.

Het valt op, dat de kromming van de frequentielijnen in de bijlage voor de meest zeewaarts gelegen stations het minst geprononceerd is. Voor Dordrecht en vooral voor den Moerdijk (evenals voor Willemstad) neemt de kromming, bij een peil van + 320, resp. + 340, bijna het karakter van een knik aan. Het overschrijden van deze peilen schijnt dus met moeilijkheden gepaard te gaan.

Wellicht komt hierin de invloed van overstroomingen van de dijken tot uitdrukking. Wanneer eenmaal het peil bereikt is, waarbij het overstroomen begint, dan zal bij het nog zwaarder worden van een stormvloed het water er nauwelijks meer rijzen: de frequentielijn gaat in het diagram bijna recht naar beneden loopen. Worden de dijken verhoogd, dan zullen de zware stormvloeden hooger oploopen en de frequentielijn wordt dus vlakker. Trekt men de lijn eerst door, zonder op de tegenwoordig geringe frequentie van de hoogste standen te letten, dan wordt het verhinderen van overstroomingen reeds tot uitdrukking gebracht. Telt men bij de dan verkregen peilen de verhooging voor het uitvoeren van de waterstaatswerken op, dan wordt deze verhooging dus tweemaal in rekening gebracht.

Een betere methode lijkt de volgende.

De in het rapport genoemde verhooging voor de waterstaatswerken, 10 à 25 cm voor Dordrecht en 35 à 40 cm bij

Wat een amin

*overal dijken
aangehouden*

*dit staat
als in het
Wool. Rapport*

*Verhinderen van
overstromingen
door waterstaats
werken dekken
elkaar niet.*

den Moerdijk, is voornamelijk gebaseerd op de stormvloeden van 1928 en 1916, dus op peilen van omstreeks + 340 te Dordrecht en + 365 aan den Moerdijk. Deze peilen hadden in 1888 de frequentie van 0,01 (eens per eeuw). Om de waterstaatswerken in rekening te brengen, moeten de frequentielijnen bij 0,01, dus resp. 10 à 25 en 35 à 40 cm naar de hogere standen worden verplaatst; zij blijven echter bij de sterke knik practisch ongewijzigd.

De nu verkregen lijn wordt doorgetrokken tot de frequentie, waarop men de dijkshoogten wil baseeren, dus volgens het rapport 1:448 (de horizontale stippellijn in het diagram). De scherpe bocht is verdwenen en het algemeene verloop komt nu overeen met de lijnen van Hoek van Holland, resp. Hellevoetsluis.

Voor Willemstad is niet gemakkelijk in te zien, waarom de frequentielijn zoo sterk ombuigt. De verlagende invloed van overloopen en doorbreken van dijken is hier op 10 à 15 cm gesteld en wanneer men de voor Dordrecht en Moerdijk gevolgde handelwijze ook hier toepast, blijft de lijn sterk gebogen. Wellicht moet de verklaring worden gezocht in den invloed van het Volkerak: bij een sterk geruimden wind (1916) kan het water uit het Haringvliet daarheen ontwijken: Bruijnisse heeft dan een lage waterstand. Omgekeerd wordt het bij minder ver geruimden wind in het Brouwershavensche gat veroorzaakte hoge peil door de aanwezigheid van lagere standen in het Haringvliet getemperd. Het optreden van zeer hoge stormvloeden in het Hollandsch Diep zou dientengevolge kunnen worden getemperd.

Wellicht is echter een plaatselijk effect in het spel en daarom zal het voorzichtig zijn voor het toepassen op een wijdere omgeving het peil voor Willemstad met bijvoorbeeld 10 cm te verhoogen.

Voor Krimpen ligt de zaak andersom. Hier is tengevolge van de zeer hoge in 1916 geregistreeerde stand de frequentielijn weinig gebogen. Dit is ongetwijfeld het gevolg van het feit, dat gedurende de waarnemingsperiode zich ingrijpende wijzigingen hebben voorgedaan (de ontwikkeling van den Rotterdamschen Waterweg), die in de laatste jaren hogere

standen hebben mogelijk gemaakt dan vroeger. Ook het dagelijksche hoogwater is meer gestegen dan met de algemeene zeespiegelrijzing overeenkomt, en wel vooral tussehen 1890 en 1910.. Voor den tegenwoordigen toestand van den Waterweg zijn de uit 1888-1938 berekende grootere frequenties daarom te laag. Zou het mogelijk zijn een correctie aan te brengen, dan zou toch het peil van 1916 ongetwijfeld niet zijn bereikt: deze storm, waarbij de omstandigheden in sterke mate medewerkten om een hoog peil op den Waterweg te veroorzaken, behoudt het rangnummer 1. Op grond hiervan is na het aanbrenge van de correctie voor de waterstaatswerken bij de frequentie 0,01 de lijn naar de kleinere frequenties doorgetrokken, ongeveer evenwijdig met Dordrecht en Hoek van Holland.

Voor deze plaats wordt de verhooging voor de waterstaatswerken niet veroorzaakt door het opheffen van overstroomingen, doch door verandering van den mond en afsluiten van de Brielsche Maas. Deze invloeden werken ook bij normale waterstanden en men zal dus hier de verhooging voor de waterstaatswerken het beste kunnen aanbrenge, door de geheele frequentielijn over het aangegeven bedrag (15 cm) op te schuiven.

Om het diagram toepasselijk te maken voor de in het jaar 2000 te verwachten toestanden, moet tenslotte de zeespiegelrijzing in rekening worden gebracht. Dit geschiedt, overeenkomstig het rapport, door de frequentielijnen in hun geheel 22 cm in de richting van de hoogere standen te verplaatsen.

Het resultaat van een en ander is, dat in 2000, nadat alle waterstaatswerken zijn voltooid, 80 procent bestaats, dat in een eeuw de volgende peilen niet worden bereikt:

Hoek van Holland: E.A.P. + 380 cm	
Krimpen a/d Lek -----	395
Dordrecht -----	400
Hellevoetsluis-----	385
Willemstad-----	420
Moerdijk-----	445

(incl: 10cm reserve).

Maas = voo

*Pijp dit alles is
geel waterbouwverhoging
te het jaar 2000
de hoogte gelinkt om
de maas hoogte stroom
de te verhoogde water
ondersteunende werken op de
kruisen worden. Het is
toch zeker wel 25 cm voor Dordrecht?
beveiligen buiten de
beveiliging van de
de maas in de verhoging
want het peil 1916 is 22 cm
voor de waterstaatswerken
dit is veel te verhoogde
met 22 cm. Het is
22 cm = 42 cm. Het is
van de verhoging van
de gronden van de
peil 1916 en V.R. van
peil 1916 42 cm = 10 cm
de verhoging van de
de verhoging van de
de verhoging van de
de verhoging van de*

Deze peilen komen overeen met die in de kolom voor 80 % van de onderste tabel op blz. 29 van het rapport. Zij zijn resp. 28, 28, 48, 43, 83 en 83 cm lager dan deze. Naar mijn meening moeten zij de grondslag vormen van de dijkwerken, tenzij men wil uitgaan van een nog kleinere kans. Verhoogt men de peilen met 10 cm, dan wordt de kans van overschrijden tusschen een tiende en een twintigste in een eeuw, of, wat nagenoeg hetzelfde is: eens in de duizend tot tweeduizend jaar.

In het verdere deel van het rapport zijn de op blz. 29 vermelde peilen nader beschouwd. In de eerste plaats is dit gedaan door de bij vier stormen (1894, 1906, 1916, 1928) bereikte peilen te vergelijken met die van Hoek van Holland, (tabel blz. 31). Daarbij blijkt, dat de verschillen bij de laatste stormen veel grooter zijn dan bij de eerste en daaruit wordt geconcludeerd (blz. 31, midden), dat de stijging der S.V.-standen voor alle stations aan de benedenrivieren ten opzichte van die in zee sinds den stormvloed van 1894 ^{ken} onmisbaar is.

Deze stelling is ongegrond. Men ziet dit in de eerste plaats aan de voor Willemstad gegeven cijfers: daar is het water in de vier vloed en achtereenvolgens 34, 60, 62 en 70 cm hooger gekomen dan te Hoek van Holland. Zelfs al laat men het eerste getal weg, dan is een stijging met 10 cm tusschen 1906 en 1928 toch moeilijk toe te schrijven aan de verandering van den waterstaatkundigen toestand gedurende dat tijdvak. Het rapport geeft immers voor het uitvoeren van alle werken een verhooging van 10 tot 15 cm.

De oorzaak van de hogere cijfers voor 1916 en 1928 ligt dan ook elders en wel in den langeren duur, die deze vloed en hebben gehad. Er was toen veel meer tijd beschikbaar om de benedenrivieren te vullen dan tijdens de kortere stormen van 1894 en 1906.

De stormvloed van 1936, waarbij (voor zoover mij bekend) geen overstromingen hebben plaats gevonden, geeft weer kleinere verschillen te zien, en wel ongeveer gelijk aan het gemiddelde van de op blz. 31 van het rapport vermelde. Dit is in overeenstemming met den duur van dezen vloed, doch

*Verduidelijking blz. 29
niet met die van
blz. 31.*

*dijken behoudt
tot 2000*

win

*Nogal duurt het,
dus dat de vloed
te laag was*

niet met de onderstelling, dat het verschil in den loop van de jaren groter zou worden.

Het heeft dus geen zin de op grond van een kansberekening verkregen cijfers nog te verhoogen, zooals voor Rotterdam, Krimpen en Dordrecht is gedaan. Immers bij de kansberekening wordt er automatisch rekening mede gehouden, dat sommige vloedden van langen duur zijn en dat andere in korten tijd afloopen.

De op blz. 32-35 ^{vergeven berekeningen} verrichte metingen toonen nog eens aan, dat men, met verschillende onderstellingen, tot uiteenlopende peilen kan komen. Echter wordt op deze wijze geen inzicht verkregen in de vraag hoe groot, of liever hoe klein, de kans is, dat een bepaald peil zal voorkomen.

Hetzelfde geldt voor de in par. 11 berekende maximum stormvloedhoogten. Men kan van meening verschillen, of de daar genoemde uitzonderlijk hooge opwaaiing kan voorkomen op het oogenblik van astronomisch hoogwater (onderling tegenwerken van de beide verschijnselen), maar, zelfs al neemt men dit aan, dan moet bedacht worden, dat de kans er op wel uitermate gering is. Uiteraard is een berekening van deze kans niet mogelijk, omdat de frequentie van de aangenomen ver boven de grootst waargenomen uitgaande opwaaiing onbekend is, doch men overtuigt zich door gebruik te maken van de formules in § 159 van het Zuiderzee-verslag-Lorentz, dat de orde van grootte eens in de millioenen jaren zal zijn.

Ook het afzonderlijk in rekening brengen van een coincidentie van een grooten rivierafvoer met een stormvloed is onnoodig. Een dergelijk samentreffen is denkbaar, doch de kans weer uiterst gering. In de kansberekening is de variabele rivierafvoer begrepen: bij de stormvloedden die de frequentielijnen bepalen zijn er zowel met lagen als met hoo-gen afvoer.

De conclusie van de voorafgaande beschouwingen moet dus blijven, dat de in het voorloopig rapport "gekozen" stormvloedhoogten kunnen worden vervangen door de hiervoor genoemde. Deze zullen in het jaar 2000 een vijfde kan per eeuw hebben.

DELFT, 8 October 1940.

de verschillen
tusschen de
verschillen en
hoe die rekening
moet worden
worden.

dit is de methode

daar gaat het
het niet om

daar gaat het
het niet om, wij
willen de afvoer
hebben

zijn afgeleid
theoretische
beschouwingen - wind
stand of toezicht

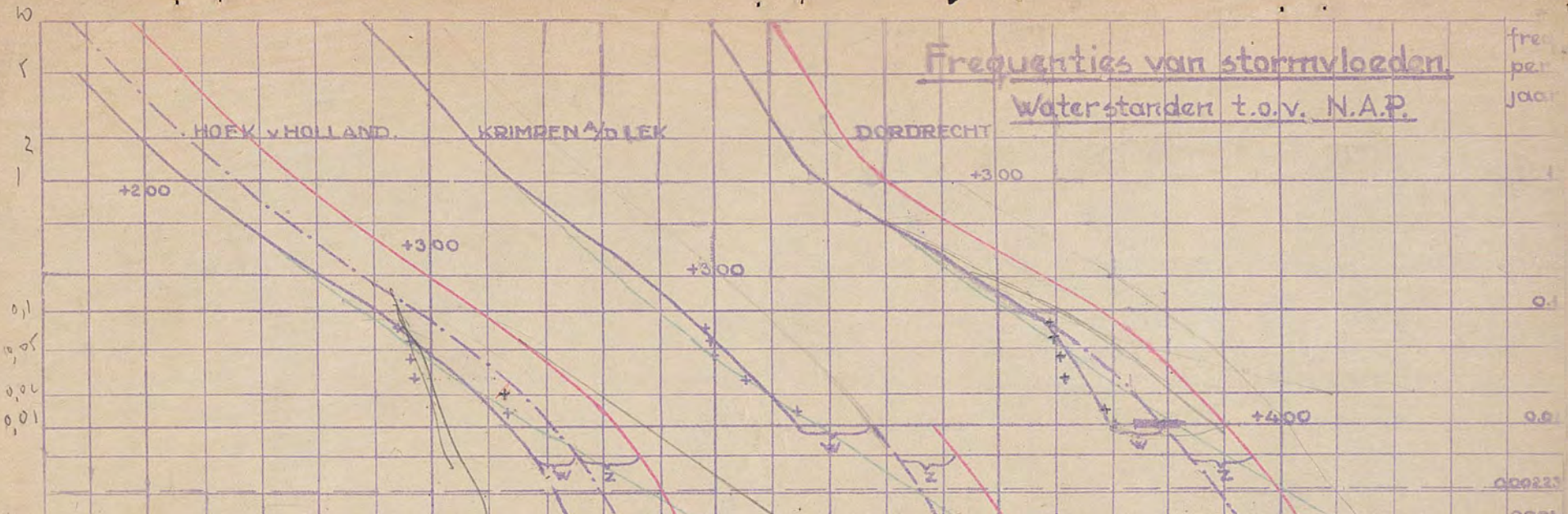
MS!
heeft links
1939.

M. Th. Th. 1939

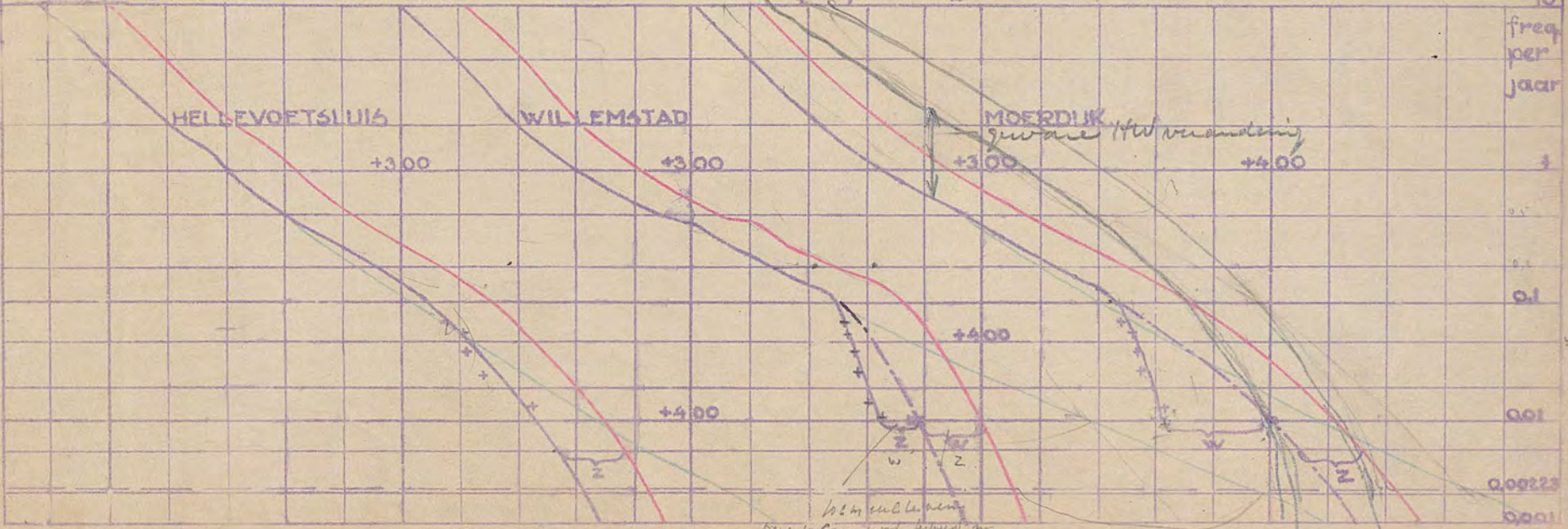
Frequenties van stormvloedén.

Waterstanden t.o.v. N.A.P.

freq.
per
jaar



+ = hoogste 5 stormvloedén, herleid tot 1885
 — = frequentielijn 1862, resp. 1885, -1938
 w. = correctie voor waterstaatswerken.
 - - - = frequentielijn na uitv. waterst. werken.
 z = zeespiegelrijzing 1885 - 2000
 — = frequentielijn voor 2000
 — = frequentielijn voorl: rapport.



De in de...
 De...
 De...