

MATHEMATISCH CENTRUM

2e BOERHAAVESTRAAT 49

AMSTERDAM

STATISTISCHE AFDELING

Leiding: Prof. Dr D. van Dantzig

Chef van de Statistische Consultatie: Prof. Dr J. Hemelrijk

1954-11(2)

Statistische analyse van waterstanden,
methoden en resultaten

IV. Over de extrapolatie van de hoogwateroverschrijdings-
lijn van Hoek van Holland

1954

1. Inleiding.¹⁾

Dit rapport is een vervolg op rapport nr. III uit deze reeks: "Splitsing van het jaar in groepen van maanden" en heeft evenals dat rapport uitsluitend betrekking op Hoek van Holland.

Er is reeds vaak opgemerkt, dat het experimenteel bepaalde deel van de hoogwateroverschrijdingslijn te Hoek van Holland zowel voor de waarnemingen van het gehele jaar als voor die van de 3 wintermaanden November, December en Januari sterk de indruk wekt rechtlijnig te zijn en dat het daarom voor de hand ligt een rechtlijnige extrapolatie te gebruiken. Tevens is er reeds vaak op gewezen, dat een dergelijke extrapolatie, zolang hiervoor geen fysische grondslag gevonden is, in zekere zin als een sprong in het duister beschouwd moet worden. Daar echter bij het probleem der hoge waterstanden extrapolatie niet vermeden kan worden, is men wel aangewezen op het gebruik van de meest voor de hand liggende methode, te meer daar er anderzijds geen reden is om deze methode onaannemelijk te achten.

Wij zullen dit rapport dus baseren op rechtlijnige extrapolatie van hoogwateroverschrijdingslijnen en ons bezighouden met de vraag, welke lijn wij dienen te extrapoleren. Daarvoor bestaan nl. verschillende mogelijkheden.

Zo kan men in de eerste plaats alle H.W.'s van het gehele jaar aan de hoogwateroverschrijdingslijn ten grondslag leggen, maar ook kan men zich b.v. beperken tot de H.W.'s van de wintermaanden November, December en Januari. Aansluitend op rapport III uit deze reeks kunnen wij opmerken, dat de gegevens der 3 wintermaanden apart zonder twijfel een homogener geheel vormen dan die van het gehele jaar, zodat het, statistisch gezien, meer voor de hand ligt, met deze homogenere groep van waarnemingen te werken dan met die van het gehele jaar. Binnen elk van deze beide groepen van waarnemingen bestaan echter afhankelijkheden tussen kort na elkaar verrichte waarnemingen, daar de meteorologische toestand van de atmosfeer en de beweging van het water in de Noordzee zich slechts langzaam wijzigen. Men kan daarom, behalve naar homogeniteit der waarnemingen, ook nog zoeken naar een middel om deze afhankelijkheden zo goed mogelijk te elimineren. Dit punt wordt in par. 4 verder besproken.

Verder kan men aansluiting zoeken bij bekende meteorologische en oceanografische feiten en een groep van waarnemingen uit-

1) Dit rapport is het resultaat van gemeenschappelijk onderzoek van een aantal leden van de Statistische Afdeling van het Mathematisch Centrum.

zoeken, die op grond van physische oorzaken als relevant voor het probleem der hoge waterstanden gezien moet worden. Hierop komen wij eveneens terug in par. 4.

De mogelijkheden zijn daarmee niet uitgeput. Naast de hier genoemde wordt b.v. ook nog een statistisch onderzoek ingesteld naar het al of niet aanwezig zijn van jaren, die systematisch gevaarlijker zijn dan de andere jaren en ook op grond van een dergelijk onderzoek kan men wellicht nog tot een nieuwe hoogwateroverschrijdingslijn komen. Enige voorlopige opmerkingen over dit nog niet afgedoten onderzoek vindt men in par. 5.

Zonder enige pretentie van volledigheid kan men, zodra men een aantal dergelijke groepen van waarnemingen heeft verzameld, de bijbehorende hoogwateroverschrijdingslijnen schatten en trachten op grond van statistische en physische overwegingen een keuze tussen deze lijnen te maken of, zo nodig, uit brokstukken van deze lijnen een gebroken hoogwateroverschrijdingslijn samen te stellen. De overwegingen, die wij hierbij laten gelden, worden in par. 2 besproken.

De conclusie, waartoe wij komen, is dat men bij de extrapolatie der hoogwateroverschrijdingslijn voor Hoek van Holland rekening moet houden met een kanshalverings- resp. -decimerings-verhoging van ongeveer 22 à 23 resp. 74 à 77 cm, waarden die aanzienlijk hoger zijn dan de tot nu toe gewoonlijk aanvaarde waarden van 18 resp. 60 cm. Een verder onderzoek van de groep gegevens, die tot deze uitkomsten geleid heeft, zal in een later rapport besproken worden. Enige opmerkingen hierover vindt men in par. 5.

2. De keuze tussen verschillende hoogwateroverschrijdingslijnen.

Indien wij twee hoogwateroverschrijdingslijnen, L_1 en L_2 , gebaseerd op verschillende groepen H.W.'s, tekenen, verkrijgen wij in het algemeen een beeld als in figuur 1 geschetst.

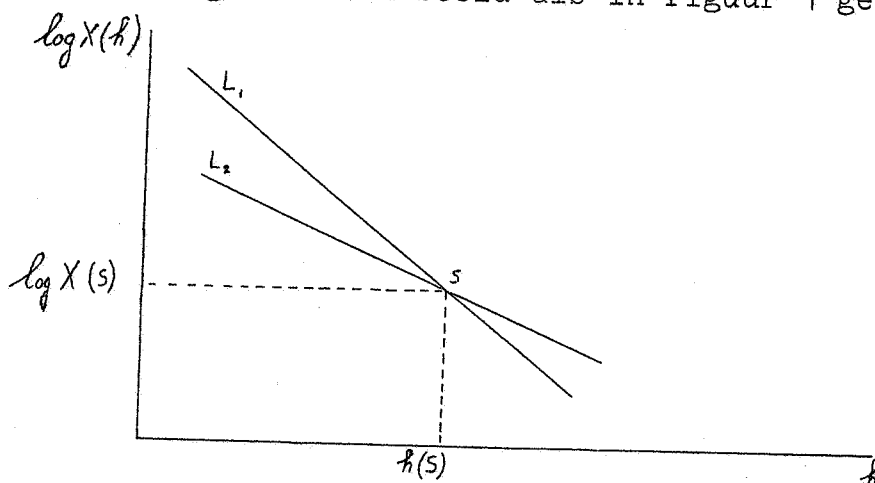


Fig. 1. Twee hoogwateroverschrijdingslijnen L_1 en L_2 .

In deze figuur stelt h de waterstand + N.A.P. voor en $X(h)$ het gemiddelde aantal overschrijdingen van h per jaar. De beide lijnen L_1 en L_2 berusten slechts voor een gedeelte (voor kleinere waarden van h) op waarnemingen en zijn verder geëxtrapoleerd. Een voorbeeld van een dergelijke figuur vindt men in fig. 1 van rapport nr. III uit deze reeks, waarbij dan L_1 gebaseerd is op de H.W.'s van het gehele jaar en L_2 op die van de drie wintermaanden November, December en Januari. Het is duidelijk, dat twee dergelijke lijnen bij vergaande extrapolatie tot verschillende conclusies over de wenselijke dijkhoogte zullen leiden en dat L_2 in figuur 1 tot een hogere dijkhoogte leidt dan L_1 , daar de dijkhoogte bepaald wordt door de waarden, die $X(h)$ voor grote h aanneemt. *is af. van plaats 24 en 25 punten gesteld.*

Daar er voor de rechtlijnigheid der extrapolatie geen fysieke basis gevonden is, valt niet uit te maken, welke van de beide lijnen men het beste rechtlijnig zou kunnen extrapoleren. In sommige gevallen kan men wel intuïtieve argumenten aanvoeren, om een bepaalde lijn boven andere lijnen te verkiezen. Zo kan men b.v. wel zeggen, dat rechtlijnige extrapolatie, statistisch gezien, aannemelijker is voor homogene dan voor inhomogene groepen van waarnemingen. Immers, indien men de inhomogene groep van waarnemingen samengesteld denkt uit kleinere homogene groepen, die ieder een rechte hoogwateroverschrijdingslijn bezitten, dan is de hoogwateroverschrijdingslijn van de gehele groep niet recht meer, ook al zal de afwijking van rechtlijnigheid wellicht te klein zijn om deze uit de waarnemingen af te leiden (vgl. rapport III, par. 4). Zijn anderzijds de lijnen van de homogene subgroepen niet recht, dan zou die van de gehele groep slechts "toevalligerwijze" recht kunnen zijn ten gevolge van de speciale samenstelling van deze groep. Intuïtief gezien is dit een minder aannemelijke onderstelling. Dit soort argumenten, hoewel plausibel, is niet sterk genoeg om tot een beslissing te leiden. Er is echter een ander argument, dat daar wel toe leidt en dat vooralsnog als dwingend moet worden beschouwd en dat is, dat het onverantwoord zou zijn, indien men voor waarden van h , die groter dan $h(s)$ zijn, geen rekening zou houden met de mogelijkheid, dat L_2 een betere schatting van de werkelijke gevarijde lijn is dan L_1 . Men is nl., bij gebrek aan grondiger kennis van de toestand, bij een probleem van dergelijke ernst als het onderhavige, wel genoodzaakt rekening te houden met de ongunstigste van alle plausibele schattingen, die men uit het waarnemingsmateriaal verkregen heeft.

Dit leidt ertoe, dat men, bij verdere beschouwingen omtrent

de uiteindelijke dijkhoogte, links van het snijpunt S van L_1 en rechts van S van L_2 gebruik dient te maken. Indien echter het snijpunt S ligt bij een waarde $h(S)$, die lager is dan de toekomstige hoogte van de dijk (verminderd met de marge voor golfoploop e.d.), is het gedeelte links van S voor deze verdere beschouwingen niet van belang en in dat geval kan men daarbij dus eenvoudigheidshalve L_2 als hoogwateroverschrijdingslijn gebruiken.

De keuze tussen meer dan twee lijnen of de samenstelling van een gebroken lijn uit meer dan twee lijnen geschiedt analoog. Wij zorgen er daarbij voor, dat lijnen, die met elkaar vergeleken worden ook steeds gebaseerd zijn op gegevens over eenzelfde tijdsperiode.

3. Keuze tussen: het gehele jaar of alleen drie wintermaanden.

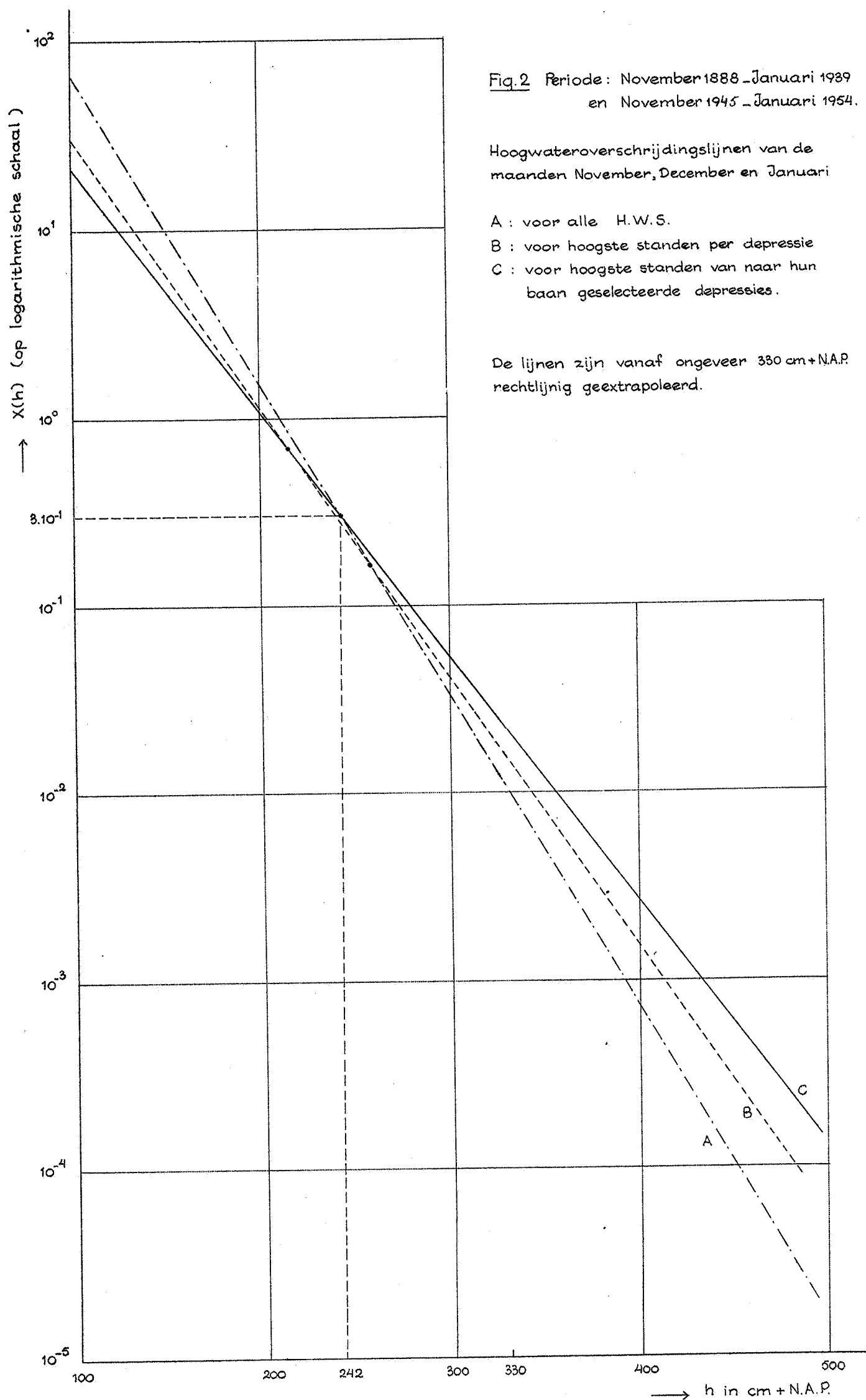
Wij vergelijken nu in de eerste plaats de twee hoogwateroverschrijdingslijnen, die verkregen worden door alle H.W.'s van het gehele jaar te gebruiken resp. alleen die van de drie wintermaanden November, December en Januari. Voor de periode 1888-1948 staan deze twee lijnen als lijn III resp. I uitgezet in figuur 1 van rapport nr. III van deze reeks. Lijn I (3 wintermaanden) blijkt daarbij - zoals ook te verwachten is - "gevaarlijker" te zijn dan III, dus in de positie van L_2 in fig. 1 van het huidige rapport te verkeren. Het snijpunt der twee lijnen ligt bij ongeveer 3.75 m, hetgeen zeker lager is dan de toekomstige dijkhoogte, en het boven uiteengezette principe leidt er dus toe om voor de extrapolatie de voorkeur te geven aan de lijn voor de 3 wintermaanden. De geschatte vergelijking van deze lijn luidt

$$(1) \quad X(h) = 3,2 \cdot 2^{-\frac{h-180}{18}} = 3,2 \cdot 10^{-\frac{h-180}{60,5}},$$

waarin de constante 3,2 het gemiddelde aantal overschrijdingen per jaar van de hoogte $h = 180$ cm + N.A.P. voorstelt (deze hoogte $h = 180$ cm is hier gekozen, omdat deze verderop in het rapport van belang zal zijn; zie par. 6), terwijl de constanten 18 resp. 60,5 de kanshalverings- resp.-decimeringsverhoging (in cm) voorstellen ²⁾.

Men kan zich afvragen of er nog veel verandering in deze uitkomsten zou komen, indien men niet de maanden November, December en Januari zou nemen, maar deze periode nog wat zou ver-

2) Het verband tussen deze beide grootheden, a_2 en a_{10} , wordt gegeven door $a_{10} = a_2 \cdot \log 10$; zie rapport III, formule (10).



verkregen wordt, die we de baan-selectie-lijn zullen noemen, is in figuur 2 te vinden als lijn C.

In verband met het resultaat van par. 3 zijn de lijnen B (de overeenkomstige lijn, gebaseerd op alle depressies) en C getekend voor de drie wintermaanden November, December en Januari van alle jaren, waarover de noodzakelijke gegevens beschikbaar waren, d.w.z. voor de periode November 1888 tot en met Januari 1939 en November 1945 tot en met Januari 1954. Voor de oorlogsperiode zijn de depressies niet bekend. Ter vergelijking met de gewone hoogwateroverschrijdingslijn, gebaseerd op alle H.W.'s van deze drie wintermaanden, werd deze laatste eveneens bepaald voor dezelfde periode en in figuur 2 als lijn A opgenomen. Uit de ligging der snijpunten van deze drie lijnen zien wij, dat voor grotere h dan 242 cm + N.A.P. lijn C het hoogst ligt, zodat wij volgens de beschouwingen van par. 2 deze lijn, de baan-selectie-lijn dus, voor de extrapolatie boven de beide andere verkiezen. De geschatte vergelijking van deze lijn luidt

$$(2) \quad X(h) = 2,2^{-\frac{h-180}{23}} = 2 \cdot 10^{-\frac{h-180}{77}},$$

zodat de kanshalverings- resp. -decimeringsverhoging gelijk is aan 23 resp. 77 cm. Voor lijn A (die overeenkomt met (1), lijn I uit rapport III) zijn deze cijfers 18 resp. 60,5.

5. Opmerkingen.

1. In par. 4 zijn, naar aanleiding van de resultaten van par. 3, alleen de gegevens van de maanden November, December en Januari gebruikt. Volledigheidshalve is ook de baan-selectie-lijn voor het gehele jaar bepaald. Deze bleek een kleinere halverings- en -decimeringsverhoging te hebben dan die voor de maanden November-Januari, nl. 21 resp. 70 cm. Het snijpunt der beide lijnen ligt ongeveer bij 320 cm + N.A.P., zodat, zoals ook te verwachten was, lijn (2) van alle in dit rapport vergeleken lijnen de meest aangewezen blijkt te zijn.

2. Hierbij is dus van iedere geselecteerde depressie alleen de hoogst bereikte waterstand gebruikt. De duur der depressie is in dit onderzoek nog niet betrokken en blijft dus een punt voor toekomstig onderzoek. Ook de vraag of men wellicht zou moeten werken met jaren, die systematisch gevaarlijker dan normaal zijn (als deze er zijn) wordt in dit rapport nog niet behandeld. Voorlopige onderzoeken daaromtrent doen vermoeden, dat een hoogwateroverschrijdingslijn, gebaseerd op dergelijke jaren, alleen bij zeer hoge waarden van h boven de door (2) gegeven lijn

uit zal komen. In een later rapport komen wij daarop terug.

3. In het onderhavige rapport zijn de hoogwateroverschrijdingslijnen volgens de bij dit probleem gebruikelijke wijze visueel aan de gegevens aangepast. Het ligt echter voor de hand ook te zoeken naar statistische schattingsmethoden, teneinde zo doeltreffend mogelijke schattingen te verkrijgen en subjectieve invloeden bij het schatten te vermijden. Dergelijke methoden zijn voor het schatten van de kanshalvering- en -decimeringsverhoging beschikbaar. Onderstelt men, dat de hoogste waterstanden bij de geselecteerde depressies stochastisch onafhankelijk zijn - een onderstelling, die nader onderzocht moet worden, maar die op het eerste gezicht plausibel lijkt - dan kan men ook een betrouwbaarheidsinterval voor deze grootheden geven, maar voor de eerste factor van $X(h)$ (dus 3,2 in (1) en 2 in (2) en (3)) beschikken wij alleen nog maar over een schattingsmethode. Om het verschijnen van dit rapport niet te vertragen volstaan wij voor het moment met het noemen van het resultaat van deze berekeningen, terwijl wij de beschrijving en de verdere uitwerking der gebruikte methode, waarbij nog een aantal wiskundige moeilijkheden overwonnen zullen moeten worden, voor een volgend rapport bewaren. De vergelijking van de geschatte baan-selectie-lijn luidt

$$(3) \quad X(h) = 2.2^{-\frac{h-100}{22}} = 2.10^{-\frac{h-100}{74}},$$

en heeft dus een iets lagere kanshalverings- en -decimeringsverhoging dan de visuele schatting gegeven heeft. Voor deze grootheden vindt men verder een bovenste betrouwbaarheidsgrens van 26 resp. 87 cm, met een onbetrouwbaarheid van 0,05; dit betekent dus, dat men, behoudens de genoemde onbetrouwbaarheid 0,05, kan zeggen, dat de kanshalverings- resp. -decimeringsverhoging van de onderzochte lijn niet groter dan 26 resp. 87 cm zijn. Indien men dus niet wil volstaan met een schatting, maar een getal wil hebben met een redelijke zekerheid, zou men van deze laatste cijfers gebruik kunnen maken.

4. In verband met de kort geleden verschenen nota van Ir P.J. WEMELSFELDER, "Frequentielijnen van hoogwater in het Nederlandse kustgebied 1954" valt op te merken, dat het onderhavige rapport gezien kan worden als een aanvulling van dat onderzoek. Ir WEMELSFELDER's onderzoekingen zijn gebaseerd op alle waarnemingen, niet alleen van Hoek van Holland, maar ook van vele andere plaatsen in het kustgebied. Zonder te dezer plaatse verder op deze nota in te gaan, kunnen wij op grond van onze resultaten voor Hoek van